



**Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет
Факультет горного дела и инженерной экологии
Кафедра “Инженерная экология”**

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

**Сборник материалов студенческой научно-технической
конференции
28–29 апреля 2026 г.**

**Минск
БНТУ
2026**

**Составители:
Хрипович А.А.
Макаревич Н.Ю.**

Редакционная коллегия:

**Председатель оргкомитета: Кологривко А.А. – декан
ФГДИЭ.**

**Заместитель председателя: Цыганова А.А. – заведующий
кафедрой «Инженерная экология»**

**Ответственный секретарь: Хрипович А.А. – заместитель
декана по НИР.**

**Технический секретарь: Макаревич Н.Ю. преподаватель
кафедры «Инженерная экология»**

**В сборник включены материалы докладов студенческой
научно-технической конференции «Инженерная экология»
проведенной в рамках Международного молодежного форума
«Креатив и инновации'2026»**

**© Белорусский национальный
технический университет, 2026**

СОДЕРЖАНИЕ

Азерская П.А., Пискурович Е.В. ОСАДОК ВОДОПОДГОТОВКИ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ КАК КОМПОНЕНТ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ	16
Акимир Шатёр ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	20
Акчурина А.Р. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЭЦ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	25
Анико Д.В., Аскерко Н.А. СНИЖЕНИЕ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ	28
Апанасович А. И., Алейников А. А., Лемешевский К. А. МОНИТОРИНГ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	32
Арнагылыджова А., Сердарова С. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ	35
Балцевич Е.Г., Леошко Д.А. ЭКОЛОГИЧНОЕ ОБЩЕНИЕ КАК РЕСУРС ГАРМОНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА	38
Белорусский Д.В., Шпаковский А.П. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ	41
Бердник В.И. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПУСТОТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ПРИМЕРЕ ЗАВОДА ПУСТОТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОАО «МИНСКЖЕЛЕЗОБЕТОН»	44
Берёзко Т.М. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВОДНОЙ АБСОРБЦИИ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА	48
Бобкова А.И. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ СПИРТОВЫХ НАСТОЕК ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ПО ОТНОШЕНИЮ К ГРАМПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ БАКТЕРИЯМ (НА ПРИМЕРЕ <i>BACILLUS SUBTILIS</i>)	52

Болибрух М.Д., Масловская Е.Л. ВЛИЯНИЕ ОТОЩАЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ НА СУШКУ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИКИ	56
Борисова П.С. БИОФИЛЬТРАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА	59
Бугаёва М.А. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИГЕСТАТА	62
Булышко М.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ, ТЕРМИЧЕСКИХ И КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ФОРМОВОЧНОГО ПЕСКА В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	65
Булычев Е.Ф., Жданко М.Р. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПРОБЛЕМ ПЕРЕРАБОТКИ КРУПНОТОННАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	70
Бурачевский Е.С. ПРИМЕНЕНИЕ CCUS-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ	75
Василевич С.А., Гринюшко Д.Г. БЕСПИЛОТНЫЕ СИСТЕМЫ КАК СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	78
Вершиловский В.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ QR-КОДОВ И СОЗДАНИЕ ОБЩЕЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАПИСИ ОШИБОК И НАРУШЕНИЙ	80
Вечера К.Г. СТАБИЛИЗАЦИЯ ГРУНТОВ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА	83
Вильчевский М.В. МОНИТОРИНГ И ОЧИСТКА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ТОННЕЛЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА	86
Виноградова К.Д. СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ: ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ, ИННОВАЦИИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ	90
Волоховская Е.М. КОЛИЧЕСТВО ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ НА ПОЛИГОНЕ ТКО	95
Гилязова А.И. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ	98
Головач К.А. ПОЛУЧЕНИЕ КУЛЬТУРЫ БАКТЕРИЙ <i>АСЕТОВАСТЕР</i>	102
Головач А. И. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ НА ПАХОТНЫХ ЗЕМЛЯХ БЕЛАРУСИ	106
Горбунова М.А. МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАЗМЫ	110
Грицев Т.В., Раинчик В.А. РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОКУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	115
Данилов К.О. РАСЧЕТ ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА НА УЧАСТКАХ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ (НА ПРИМЕРЕ ПРОСПЕКТА СТРОИТЕЛЕЙ, Г. НИЖНЕКАМСКА)	120
Данилов К.О. СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ АДСОРБЕНТОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ CU И NI ИЗ СТОЧНЫХ ВОД	127
Денисенко В.А. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕХИМИИ И ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ	132
Денисюк Д.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРЕДПРИЯТИЙ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	137
Денисюк Д.В. РАЦИОНАЛЬНОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ОАО "КОБРИНСКИЙ МАСЛОДЕЛЬНО-СЫРОДЕЛЬНЫЙ ЗАВОД	142
Дубанос Д.А. ОЦЕНКА УРОВНЯ НАКОПЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ЛАБОРАТОРИЯХ УНИВЕРСИТЕТА	147
Жданко М.Р. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИРОДООХРАННОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОДЕКС	150

Жерносек Д.К. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ	152
Иванчикова Д.И., Черных И.Д. ПРИНЦИПЫ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ	155
Исакова П.С. RDF-ТОПЛИВО: ТЕХНОЛОГИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ	160
Івашкевіч М.М., Сталярова С.А. ПЕРАВАГІ І НЕДАХОПЫ ВЫТВОРЧАСЦІ І ВЫКАРЫСТАННЯ БІЯПАЛІВА Ў СУЧАСНЫМ СВЕЦЕ	164
Калинина М.В., Теодорович С.Л. ПСИХОЛОГИЯ БЕЗОПАСНОСТИ: КАК ВОСПРИЯТИЕ РИСКА ВЛИЯЕТ НА ПОВЕДЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА	169
Картынник А.А., Перковский М.А. ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ САМОСВАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВО	173
Касатая У.Е., Столяр П.А. ЭКО-МОБИЛЬНОСТЬ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В БЕЛАРУСИ	176
Киндиренко З.С., Невинский И.В. МОНИТОРИНГ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	180
Клепча Р.А., Щурко М.А. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «НЕДРА НЕЖИН» НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ ЛЮБАНСКОГО РЕГИОНА	184
Козак Т.В. ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ	187
Козлович Д.А. СИСТЕМА ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА: ОПЫТ ГП «ПЕТРИКОВСКИЙ РАЙЖИЛКОМХОЗ»	190
Коленко Е. В., Побожный В. А. ИНСТИТУТ ЗАГОТОВКИ ОТХОДОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ПРОБЛЕМЫ КВАЛИФИКАЦИИ И ПРАВОПРИМЕНИТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКИ	194

Королик Е.А. ТЕХНОЛОГИЯ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ	198
Короткая А.А. РАЗНОГОДИЧНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ПОПУЛЯЦИИ <i>IMPATIENS</i> <i>GLANDULIFERA</i> В ДОЛИНЕ МАЛОЙ РЕКИ (ГОРОД ГРОДНО)	201
Короткая Е.С. ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ В ДОСТИЖЕНИИ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ	205
Корякин М.С. КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ НА ОСНОВЕ ГРАНИТНЫХ ОТСЕВОВ	209
Крапивин П.П. ПРОГНОЗ МИГРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ РАССОЛОВ И ОБОСНОВАНИЕ ДРЕНАЖНОЙ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНЕ СОЛЕОТВАЛА 2-ГО РУДОУПРАВЛЕНИЯ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»	212
Крук А.С., Алейников А.А. ОЧИСТКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ОТ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	216
Кубекин А.Ю. ECO-TOURISM AS A FACTOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF BELARUS	219
Куприянчик И. В., Янушкевич Е. Л. МИКРОПЛАСТИК ОТ ШИН И ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК: ПОЧЕМУ ДАЖЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛИ ЗАГРЯЗНЯЮТ ВОЗДУХ МЕЛКИМИ ЧАСТИЦАМИ	221
Кухарик А.М. ОЦЕНКА НИТРАТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ВОДОЗАБОРЕ «НОВИНКИ» Г. МИНСКА	225
Лазарук У.А., Чистякова К.С. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ	229
Лёгкая М.И. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МЕЛИОРАНТА НА ОСНОВЕ ВЕРХОВОГО ТОРФА И ТОРФЯНОЙ ЗОЛЫ	232
Лопатина Е.А, Алисейко М.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ В ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	236

Лукашенко М.Д. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЛИОРАНТОВ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ	240
Любимова А.А. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЛИТОВЫХ ОТХОДОВ КАЛИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ	245
Людчик А.Н. МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, РЕЗУЛЬТАТ	249
Майорчик В.С., Сакович Р.М. АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД НИТРАТАМИ	254
Макейчик В.А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ БЕТОННОГО ШЛАМА НА РАСТВОРОБЕТОННОМ УЗЛЕ	258
Маркович О.А., Самсонова Д.Д. МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	263
Маршкова С.А. ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЧИЩЕННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НУЖД	268
Махаров Э.И. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	271
Мельник И.А. ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ	276
Мельник И. А. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ И РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	279
Менделуц Н.А. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОЦЕССА ГИДРОКРЕКИНГА НЕФТИ ОТ ФЕНОЛА	283
Менделуц Н.А. РАЗРАБОТКА АДСОРБЕБРА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОЦЕССА ГИДРОКРЕКИНГА НЕФТИ ОТ ФЕНОЛА	286
Минвалиев И.А. ВЕРТИКАЛЬНЫЙ АЭРОТЕНК	291

Михалович А.Д., Потехина Ю.С. АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЖОМА СВЕКЛОВИЧНОГО В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ	296
Молчанова Ю.Е. СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА	301
Мурзина А.А. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ МОДЕЛЬНЫХ ВОД	303
Мурзина А.А. ОЦЕНКА ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЫБРОСОВ МАШИН В ПРИДОРОЖНЫХ ЗОНАХ ГОРОДА НИЖНЕКАМСКА (НА ПРИМЕРЕ УЛИЦЫ КОРАБЕЛЬНОЙ) ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ВОЗДУХА	307
Наривончик Е.С. МОНИТОРИНГ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	312
Невертович В.Д., Фалей П.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАНА И БЕНЗИНА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	316
Никитчук А.А., Радостовец А.В., Полещук Е.В. ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ ОМЕЛЫ БЕЛОЙ (VISCUM ALBUM) С ПОЛУЧЕНИЕМ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЭКСТРАКТОВ	319
Николаевич В.Л. ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ДИГЕСТАТА МЕТАНОВОГО БРОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ	325
Петрова К.И. МНОГОКАМЕРНЫЙ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОР ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ОТ СЕРОВОДОРОДА	329
Петрова К.И. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ОТ СЕРОВОДОРОДА	334
Петрова К.И. МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО УЛАВЛИВАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА	337

Пилипенко А.Ю. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ	347
Побожный В. А., Коленко Е. В. РАЗГРАНИЧЕНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И МЕТАЛЛОЛОМА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ КРИТЕРИЕВ END-OF-WASTE	352
Подлозная Д. С., Руденя Р. Д. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ	356
Подчашенко Я.Д., Кеть В.Д. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	359
Полторан А.А. ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЯМИ ФОСФОРА ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЙ	362
Поплавская О.Е. АТОМНО-АБСОРБЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА	365
Поплавская О.Е. ОЦЕНКА НЕКАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ВОДОЕМОВ ИОНАМИ ЖЕЛЕЗА ОТ ПРОИЗВОДСТВ СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА	370
Пригодский Г.В. РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ КАК ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	375
Рутковская Д.И., Шепель Д.М. ИСЧЕЗАЮЩИЕ ВИДЫ ФЛОРЫ И ФАУНЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: КРАСНАЯ КНИГА КАК ЗЕРКАЛО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	379
Рышкевич Я.В. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МУКОМОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	382
Рябова Т.А. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА АВТОТРАНСПОРТОМ В ПРИДОРОЖНОЙ ЗОНЕ Г. НИЖНЕКАМСКА (НА ПРИМЕРЕ ПРОСПЕКТА ХИМИКОВ)	385

Рябова Т.А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРОМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЯ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА И АКТИВИРОВАННОГО КОКОСОВОГО УГЛЯ	390
Савицкая А.Л., Трибух А.Я., ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИЗ ОБЩЕСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. ГРОДНО	393
Сакович Р.М., Смольский А.В. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РАВНОВЕСНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	398
Светлова Я.С. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	401
Свинцова Е.А. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ	406
Свислѣнок В.Г., Серегова Ю.Ю. ПОЛУЧЕНИЕ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ	409
Серова Д.Н., Мекин П.В. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЖИЗНЕСТОЙКОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ГОРОДОВ	412
Скобельский Г.Ф. ПРОБЛЕМА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОЗАМИ И ЕЕ РЕШЕНИЕ	417
Скобельский Г.Ф. КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ВСКРЫШНЫХ ПОРОД: ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ЗАМЕЩЕНИЮ ТЕХНОГЕННЫХ ПЕСКОВ И ГРАВИЯ	422
Слущкая А.М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ	426

Смольский А.В. АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	431
Соловей В.В. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ТОЛЕРАНТНОСТЬ И БРОДИЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЛАКТОЗОСБРАЖИВАЮЩИХ ДРОЖЖЕЙ	434
Старостенков Я.Н. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ТЕРРИТОРИЯХ ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ	437
Степанчикова А.Д. ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПЛАСТИКОМ	441
Степанчикова А.Д. ОТХОДЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, КАК ЦЕННЫЕ ВТОРИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ	443
Стёпочкин Е.А. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	446
Столяр М.А. СОХРАНЯЯ ПЛАНЕТУ: ПУТИ К ЭФФЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	451
Сулешко З.А., Чайковский Г.М. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА САХАРА	454
Супрон П.А. СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА ОАО «МИНСКИЙ ТРАКТОРНЫЙ ЗАВОД» НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ	457
Сурма Т.А. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ	461
Сырникова К.А. ВИДЫ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОГО ТОПЛИВА И СПОСОБЫ ЕГО АКТИВАЦИИ	464
Тихманович Е.Д. БЕЗОПАСНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ЖАРЫ: ВЫЗОВЫ И РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА	469

Третяк М.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «МИНСКИЙ ТРАКТОРНЫЙ ЗАВОД»)	473
Трухан Д.А. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ ТОРФА В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ	477
Урядникова Н.С. ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ТРУБОПРОВОДА	482
Фалей П.А., Невертович В.Д. ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ФАКТОРЫ ВНЕДРЕНИЯ ВОДОРОДА В ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ	487
Фарадж Н.А., Салюк Ю.Ю. ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ	490
Фоменкова С.Н., Шадурко В.К. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ (СВИНЦОМ, ЦИНКОМ) ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	494
Цзин Ч. АДАПТАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ К УСЛОВИЯМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	498
Шайхалиев И.Л. УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ	502
Шакаль В.В. ВЛИЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ВНИМАНИЯ ЛЮДЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ ОСНОВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ	506
Шарафутдинова Л.Ф. ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА К ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РАЗВЕДЕНИЮ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН	509
Шатило М.П., Петрашкевич Я.С. ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛИОРАНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО- БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	515

Шаяхметова В.А. ОЦЕНКА ДОЛГОСРОЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНОГО СБРОСА ФЕНОЛОВ В ВОДНУЮ ЭКОСИСТЕМУ	518
Шаяхметова В.А. КИСЛОТНАЯ АКТИВАЦИЯ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОДЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА СОРБЦИЮ ИОНОВ Ni(II) В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	523
Шевернёва К.А. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВНЕДРЕНИЯ RDF-ТОПЛИВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	528
Шикуть У.А. ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	532
Шиманская Е.С. ПРОБЛЕМА ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ УПАКОВКИ ИЗ ПЛАСТМАСС	537
Шинкарук Д.В., Синицкий Т.А. РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕШЕХОДОВ В ЗОНАХ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЁСТКОВ	541
Шкурганова М.А. ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫЙ СПОСОБ ДОБЫЧИ СЫРЬЯ	544
Шурпо Н.Р., Москаленко З.М. РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СВЕТЛОГОРСКОГО РАЙОНА	548
Яваева З.И. ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ Г. НИЖНЕКАМСК (НА ПРИМЕРЕ УЛ. СТРОИТЕЛЕЙ)	552
Яваева З.И. КОМБИНИРОВАННЫЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТА И ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ	557
Якименко У.Д., Вечер М.Э. МОНИТОРИНГ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ	561

Якуш В.Д. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УП «БОРИСОВСКИЙ КОМБИНАТ ХЛЕБОПРОДУКТОВ» И ЕЁ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	564
Янушкевич Е.Л., Куприянчик И.В. ПРОБЛЕМА ПЕРЕРАБОТКИ ШИН: ОТ «ЧЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ» К «ЧЕРНОМУ ЗОЛОТУ»	569
Яхимович Р.В. ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ МОДУЛЕЙ СТОКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЯХ	574

ОСАДОК ВОДОПОДГОТОВКИ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ КАК КОМПОНЕНТ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Азерская П.А., Пискурович Е.В., учащиеся УО «Национальный детский технопарк»

Научные руководители – Скуратович И.В., Зеленуха Е.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассмотрена возможность использования осадка водоподготовки теплоэлектростанций (ТЭС) в качестве компонента бетонных смесей. Экспериментально изучены образцы бетона с содержанием осадка 5, 10 и 15% в сравнении с контрольным образцом. Проведены микроскопический анализ, исследования на водопоглощение и прочностные испытания на гидравлическом прессе. Установлено, что оптимальное содержание осадка как компонента бетонной смеси составляет 5%.

Ключевые слова: отходы производства, осадок водоподготовки, теплоэлектростанция, бетонная смесь, водопоглощение, прочность бетона, строительные материалы, ресурсосбережение.

Современная строительная индустрия активно развивается в направлении повышения экологичности и ресурсосбережения. Одним из перспективных направлений является применение отходов производства в качестве компонентов строительных материалов. В частности, осадок водоподготовки теплоэлектростанций (ТЭС) представляет собой потенциально ценный ингредиент бетонных смесей, способный улучшить их свойства и снизить воздействие на окружающую среду.

Для проведения эксперимента были подготовлены бетонные образцы с различным содержанием осадка водоподготовки. Перед этим были проведены исследования, которые показали нам безопасность использования осадка водоподготовки в качестве компонента строительных материалов. В качестве контрольной пробы использовалась стандартная строительная смесь, состоящая из цемента, песка и извести.

Сначала цемент, песок и известь тщательно перемешиваются в сухом виде, чтобы добиться равномерного распределения компонентов. Постепенно вводится вода, чтобы обеспечить нужную консистенцию раствора. Важно добавлять воду небольшими порциями, тщательно перемешивая смесь, чтобы избежать образования комков. Все компоненты тщательно перемешиваются до получения однородной массы. Готовую бетонную смесь помещали в формы. Экспериментальные образцы бетона представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 - Экспериментальные образцы бетона

Экспериментальные образцы бетона были исследованы под микроскопом (рис. 2). Образец 1 - контрольный, образец 2 – содержит 5% осадка водоподготовки, образец 3 - 10%, образец 4 - 15%.

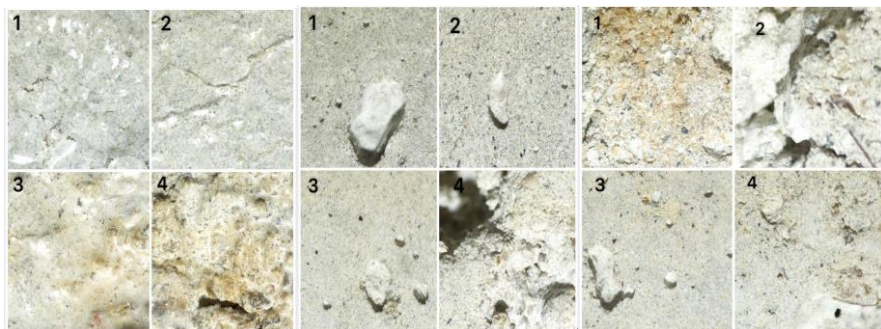


Рисунок 2 - Образцы бетонной смеси под микроскопом

В контрольной пробе мы видим относительно гладкую поверхность, с небольшими порами и несовершенствами. Вторая проба, с 5% содержанием осадка водоподготовки, характеризуется более шероховатой текстурой, видны трещины и неровности, которых нет в контрольной пробе. Проба с 10% добавлением осадка водоподготовки максимально приближена к контрольной пробе, имеет примерно столько же пор, как и контроль. Четвёртая проба самая шероховатая, с наибольшим количеством видимых трещин и неровностей среди всех проб.

После проведения визуальной оценки образцов мы приступили к анализу их водопоглощения. Для этого каждый образец был предварительно

взвешен, а затем погружён в колбу с водой. Вымачивание образцов проводилось в течение трёх суток, с промежуточными измерениями массы через 24, 48 и 72 часов. После завершения цикла вымачивания образцы были извлечены из воды, их поверхность осушена для удаления избыточной влаги, а затем выполнено финальное взвешивание. Полученные значения масс, зафиксированные на каждом временном интервале, позволили проследить характер насыщения материалов водой в зависимости от состава. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты определения водопоглощения бетонных образцов

Номер образца	Водопоглощение образцов, %		
	через 24 часа	через 48 часов	через 72 часа
1	13,70	13,54	13,54
2	14,66	14,64	14,64
3	16,69	16,66	16,66
4	18,44	18,35	18,35

В исследовании водопоглощения лучше всего себя проявил образец номер 2, т.е. с 5% добавлением осадка водоподготовки.

Для определения прочности экспериментальных образцов бетона использовался гидравлический пресс ПГМ-500М. Каждый образец подвергался нагрузке до появления трещин. Данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты определения прочности экспериментальных образцов бетона

Номер образца	Давление, кН	Глубина трещин, мм
1	-*	-
2	2,40	1,54
3	2,34	1,95
4	1,10	2,48

* - образец разрушился сразу, прибор не показал значение давления

На основании данных таблицы 2, образец №2, содержащий 5% осадка водоподготовки, продемонстрировал наибольшую прочность. В то же время контрольный образец оказался самым слабым и разрушился мгновенно.

Использование осадков водоподготовки ТЭЦ в строительных материалах сочетает экологическую безопасность с экономической выгодой. Этот подход снижает накопление отходов, заменяет природные ресурсы и предотвращает загрязнение окружающей среды. Он также уменьшает

производственные затраты, снижает энергопотребление и способствует сокращению углеродного следа, делая промышленность более устойчивой.

Исследования подтверждают, что осадок водоподготовки может частично заменять цемент в бетонных смесях. Оптимальный состав – 5% осадка, обеспечивающий прочность и приемлемый уровень водопоглощения. Увеличение концентрации (10–15%) приводит к снижению прочности из-за повышенной пористости, требуя точного дозирования.

Литература:

1. Пискурович Е.В. Анализ наилучших доступных технических методов водоподготовки на теплоэлектроцентралях / Е. В. Пискурович, П. А. Азерская; науч. рук. Е. В. Зеленухо, И. В. Скуратович // Инженерная экология: сборник материалов студенческой научно-технической конференции 23–24 апреля 2025 г. / Белорусский национальный технический университет, Факультет горного дела и инженерной экологии; редкол.: А. А. Кологривко (пред. редкол.) [и др.]; сост.: А. А. Хрипович, Н. Ю. Макаревич. – Минск: БНТУ, 2025. – С. 233–236.

2. Скуратович И.В., Зеленухо Е.В., Азерская П.А., Пискурович Е.В. Исследование физико-химических свойств осадка водоподготовки теплоэлектроцентралей. Сборник материалов научно-практической конференции «Проблемы химической науки, её применение в промышленности и зеленые технологии», г. Наманган, апрель 2025. – С. 1449–1451.

3. Азерская П.А., Пискурович Е.В. Использование осадка водоподготовки теплоэлектроцентралей в качестве сырьевого компонента бетона. XXVII Туполевские чтения (школа молодых ученых): материалы международной молодёжной научной конференции, 13-14 ноября 2025 г., Казань, Россия, посвященной 80-летию Победы в Великой Отечественной войне. Сборник докладов. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2025. – С. 1532-1535.

4. Zelianukha A.V., Skuratovich I.V., Slesaryonok E.V., Lapyonok S.A., Piskurovich A.V., Azerskaya P.A. PROMISING DIRECTIONS OF USING SLUDGE FROM WATER TREATMENT OF THERMAL POWER PLANTS. Международный научный журнал «Научные горизонты», г. Белгород. №9 (96) 2025. – С. 42-51.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Акимир Шатёр, студент

Научный руководитель Морзак Г. И.

**Белорусский национальный технический университет, Республика
Беларусь, Минск**

На каждом объекте пожарная безопасность должна рассматриваться как один из главных приоритетов для защиты жизни и имущества. В современном мире существует широкий спектр средств пожаротушения, включая автоматические системы сигнализации и передовые системы пожаротушения, предназначенные для быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации. В статье показано, что в современных зданиях на стадии проектирования важно предпринимать усилия по внедрению всех основных стандартов и предписаний по обеспечению эффективной интеграции мер безопасности в общую конструкцию.

Ключевые слова: пожарная безопасность, пожар, системы, искусственный интеллект, противопожарная защита, современные технологии.

В последние годы рынок систем пожарной безопасности демонстрирует устойчивую тенденцию к цифровизации. Современные технологические решения, включая интернет вещей (IoT), платформенные архитектуры и инструменты на базе искусственного интеллекта (ИИ), трансформируют традиционные подходы к обеспечению безопасности. Интернет вещей (IoT — Internet of Things) — это концепция сети физических объектов («вещей»), оснащенных датчиками и технологиями для обмена данными с другими устройствами и внешним миром через интернет. Главная цель IoT — автоматизация процессов, позволяющая приборам взаимодействовать и принимать решения без участия человека. Если ранее системы пожарной защиты функционировали изолированно, то в настоящее время они формируют единый цифровой контур управления безопасностью зданием, обеспечивающий непрерывный мониторинг и анализ рисков в режиме реального времени [1]. Актуальность данной трансформации подтверждается статистическими данными. Так, количество пожаров остается значительным: например, по данным открытых источников, только в 2025 году в Республике Беларусь было зафиксировано более 6 тысяч пожаров [2]. Основными причинами по-прежнему остаются человеческий фактор — неосторожное обращение с огнем и детская шалость. Это подчеркивает необходимость перехода от реактивных моделей реагирования к превентивным системам, способным предупреждать чрезвычайные ситуации. Одним из ключевых технологических трендов является развитие беспроводных решений и IoT.

Современные пожарные системы все чаще основываются на автономных датчиках с длительным сроком службы (до 10 лет), что существенно упрощает их внедрение. В отличие от традиционных проводных систем, новые решения не требуют сложной инфраструктуры кабельных сетей, что позволяет значительно сократить сроки установки и снизить затраты на монтаж. Особенно востребованы такие технологии на коммерческих объектах — в торговых центрах, складских комплексах и офисных зданиях, где критически важна непрерывность операционной деятельности.

Практическую эффективность IoT-решений демонстрируют пилотные проекты. Так, внедрение автономных пожарных извещателей с GSM-модулями позволяет реализовать систему мгновенного оповещения экстренных служб, родственников и соседей. Как сообщает ufaved.info, в Башкортостане по данным регионального госкомитета по чрезвычайным ситуациям, за время работы проекта такие извещатели сработали 77 раз и спасли жизни восьми человек [3]. Гибкость архитектуры таких систем также позволяет масштабировать их без проведения капитальных строительных работ, что делает их особенно привлекательными для модернизации существующих объектов, предоставляя преимущества в виде сокращения сроков ввода систем в эксплуатацию и оптимизации затрат на установку.

Одновременно с этим, возрастает критическая важность обеспечения кибербезопасности. Поскольку пожарная защита становится неотъемлемой частью цифровой экосистемы здания и подключается к корпоративным ИТ-сетям, возникает потребность в применении защищенных протоколов для передачи данных, внедрении систем контроля доступа и обеспечении защиты от внешних угроз. Особую роль в развитии отрасли играет искусственный интеллект (ИИ). В отличие от традиционных систем, ориентированных на фиксацию уже произошедшего возгорания, ИИ обеспечивает переход к проактивной модели безопасности. Анализируя большие объемы данных с датчиков, системы способны выявлять аномалии еще до возникновения пожара (незначительное повышение температуры или нестабильность оборудования).

Значительное развитие получили технологии компьютерного зрения и термометрии. Они обеспечивают непрерывный анализ видеопотока и тепловых данных, позволяя выявлять потенциальные очаги возгорания на ранней стадии. Это особенно актуально для объектов с большой площадью и сложной структурой — складов, автостоянок, открытых территорий. Дополнительным преимуществом является снижение количества ложных срабатываний за счет интеллектуальной фильтрации сигналов, что оптимизирует работу операторов и снижает эксплуатационные расходы.

Практические примеры подтверждают эффективность ИИ-подхода. Системы видеомониторинга, использующие алгоритмы анализа дыма и

температурных аномалий, уже применяются для раннего обнаружения пожаров на природных территориях. Это позволяет локализовать возгорания на начальной стадии и предотвращать их распространение. Кроме того, крупные технологические компании разрабатывают платформенные решения для анализа причин пожаров и прогнозирования рисков на основе накопленных данных.

Для раннего обнаружения пожаров успешно применяется система видеомониторинга «Лесохранитель», которая использует камеры с алгоритмами ИИ [4]. В Приморском крае такая система помогла оперативно обнаружить возгорание сухой травы рядом с поселком Хасан: алгоритм зафиксировал дым на ранней стадии и передал сигнал службам реагирования. Благодаря этому пожарные быстро прибыли на место и ликвидировали огонь до того, как он успел распространиться на лесные территории или населенные пункты [4]. На рынке есть и другие варианты, которые предотвращают возгорания и облегчают их обнаружение. Платформы на базе ИИ от Yandex Cloud применяются для анализа причин пожаров и работы с массивами данных об инцидентах [5]. Системы компьютерного зрения от VisionLabs [6] используются для распознавания пожаров на открытых пространствах. Прогнозируется, что в ближайшее время автономные пожарные системы безопасности будут основным стандартом, которого будет придерживаться.

Следующим этапом развития является интеграция различных систем безопасности в единую интеллектуальную среду. Пожарная защита становится частью комплексной экосистемы, включающей системы контроля доступа, видеонаблюдения и инженерные коммуникации. Это позволяет реализовывать автоматизированные сценарии реагирования. Так при обнаружении пожара система может динамически управлять эвакуационными маршрутами, открывая безопасные зоны и блокируя опасные участки. При обнаружении угрозы система мгновенно корректирует маршруты эвакуации, открывая безопасные зоны и блокируя опасные. Безопасность превращается в динамичный элемент общего алгоритма управления объектом.

Параллельно меняется и аппаратная база. На рынке появляются инновационные, комбинированные устройства, которые совмещают в себе функции обнаружения, оповещения и световой индикации. Это не только упрощает монтаж и обслуживание, но и значительно повышает надёжность системы, уменьшая количество потенциальных точек отказа. Особое внимание уделяется мультиканальному обнаружению. Современные дымовые датчики дополняются температурным контролем и видеоаналитикой. Камеры с функцией термометрии могут уловить даже незначительный рост температуры задолго до появления дыма, что критически важно для раннего выявления угроз, особенно в больших помещениях, таких как склады или открытые площадки [1].

К основным преимуществам применения ИИ-технологий можно отнести скорость и точность обнаружения угроз, возможность прогнозирования рисков и оценка вероятности пожаров. На рисунке показаны преимущества и недостатки внедрения ИИ в пожарную безопасность.

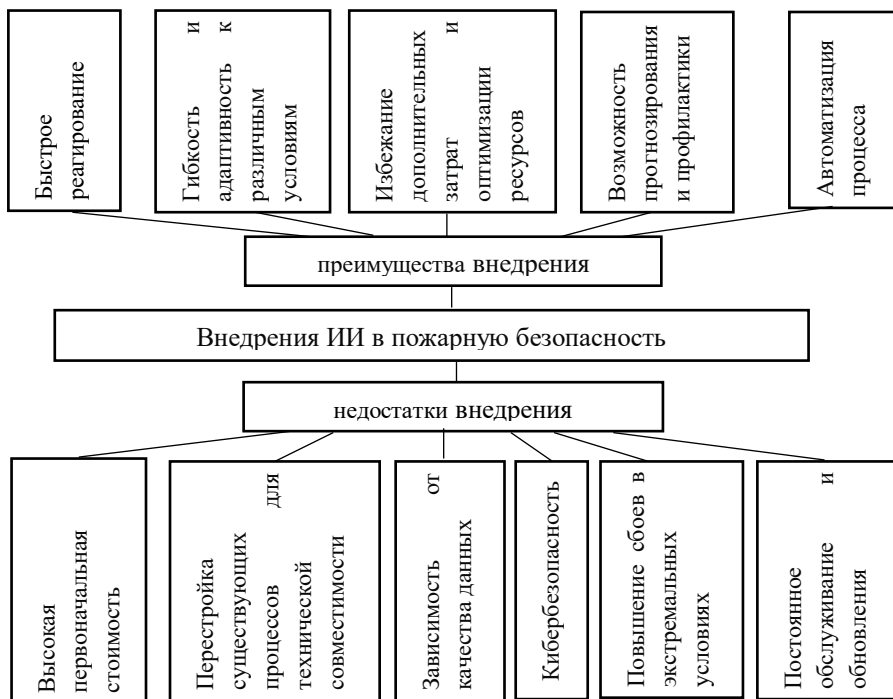


Рисунок - Преимущества и недостатки внедрения ИИ в пожарную безопасность

Инновации затрагивают и деятельность экстренных служб. Внедрение технологий дополненной реальности (AR) и систем мониторинга состояния пожарных позволяет в режиме реального времени отслеживать их физическое состояние — пульс, температуру тела, уровень нагрузки. В случае критических показателей система автоматически сигнализирует о необходимости эвакуации сотрудника. Согласно прогнозам аналитических агентств, рынок систем пожарной безопасности будет демонстрировать устойчивый рост — в среднем около 5% ежегодно [7]. Основными драйверами выступают ужесточение нормативных требований, рост объемов строительства, модернизация устаревшей инфраструктуры и ускоренная цифровизация эксплуатации зданий. Рост в сфере обеспечивается не только за

счет нового строительства, но и благодаря изменению ожиданий от самих систем. Заказчики теперь требуют от инфраструктуры не просто соответствия нормам, а реальной управляемости, прозрачности и предсказуемости.

Таким образом, ключевой вектор развития отрасли пожарной безопасности заключается в переходе от автономных и реактивных систем к интегрированным, интеллектуальным и цифровым платформам. Пожарная безопасность становится неотъемлемой частью общей стратегии управления рисками и операционной устойчивости объектов. Такая система является всеобъемлющей экосистемой, заботящейся как о защите здания, так и о жизни и здоровье людей. В ближайшие годы именно такие системы будут формировать новый стандарт отрасли, обеспечивая не только реагирование на чрезвычайные ситуации, но и их эффективное предотвращение.

Литература

1 Голованов А. Пожарная безопасность 4.0: как IoT и ИИ трансформируют защиту зданий. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: – <https://trends.rbc.ru/trends/industry/> -Дата доступа: 17.03.2026.

2 Генпрокуратура: число пожаров и их жертв в 2025 году возросло // sputnik.by [Электронный ресурс]: -Режим доступа: <https://sputnik.by/20251121/genprokuratura-chislo-pozharov-i-ikh-zhertv-v-2025-godu-vozroslo/> -Дата доступа 17.03.2026.

3 В Башкирии «умные» извещатели спасли жизни восьми человек // Уфимские ведомости, февр. 2026 [Электронный ресурс]: -Режим доступа: https://www.ufaved.info/articles/chp/v_bashkirii_umnye_izveshchateli_spasli_zhizni_vosmi_chelovek/ - Дата доступа: 17.03.2026.

4 Искусственный интеллект спас от пожара территорию в районе поселка Хасан // Вести: Приморье [Электронный ресурс]:-Режим доступа: <https://vestiprim.ru/news/ptnews/173696-iskusstvennyj-intellekt-spas-ot-pozhara-territoriju-v-rajone-poselka-hasan.html> - Дата доступа: 18.03.2026.

5 ИИ для расследования причин пожаров // YandexCloud [Электронный ресурс]:-Режим доступа:https://yandex.cloud/ru/special/fires?ysclid=mn1qrpp58h6393012180&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.by%2F&utm_referrer=https%3A%2F%2F Дата доступа: 18.03.2026.

6 393012180&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.by%2F&utm_referrer=https%3A%2F%2F/ Дата доступа: 18.03.2026.

7 открытых пространствах // Журнал Control Engineering [Электронный ресурс]: Режим доступа:–<https://controleng.ru/innovatsii/raspoznavaniya-pozharov/> - Дата доступа: 18.03.2026.

8 Анализ размера и доли рынка систем пожаротушения – тенденции роста и прогнозы (2024–2029 гг.) // Отчет Mordor Intelligence™ Industry Reports [Электронный ресурс]: -Режим доступа: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/fire-suppression-systems-market> - Дата доступа: 18.03.2026.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЭЦ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Акчурина А.Р., магистрант

Научный руководитель Галимова А.Р.

**Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия**

В работе анализируется воздействие теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) на окружающую среду с применением термодинамических критериев. Рассматриваются основные виды выбросов, сопровождающих работу ТЭЦ, в качестве инструмента количественной оценки используется изменение свободной энергии Гиббса (ΔG), позволяющее определить термодинамическую нагрузку на окружающую среду до и после внедрения экозащитных технологий. Приведён расчёт ΔG для типичных концентраций загрязняющих веществ, как инструмент, демонстрирующий эффективность модернизации систем очистки.

Ключевые слова: окружающая среда, выбросы, термодинамика, свободная энергия Гиббса, экологическая нагрузка.

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) занимает доминирующее положение в структуре генерирующих мощностей России, обеспечивая значительную долю электроэнергии и тепла. Однако их работа сопряжена с масштабным и постоянным воздействием на окружающую среду. Сжигание органического топлива (природного газа, угля, мазута) приводит к выбросам парниковых газов (CO_2), токсичных оксидов серы (SO_x) и азота (NO_x), а также образованию твёрдых частиц (золы). Эти выбросы являются одной из ключевых причин таких глобальных и локальных проблем, как изменение климата, кислотные дожди, смог и деградация экосистем.

Технологический процесс ТЭЦ относится к незамкнутым (открытым) системам. Предприятие потребляет из окружающей среды ресурсы (природный газ, вода), а возвращает в нее продукцию (электроэнергия, тепло) и отходы (газовые выбросы, содержащие CO , NO_x , SO_2 , золу; сточные воды; тепловые сбросы). С точки зрения экологичности, процесс можно отнести к неэкологичным, так как создает повышенную техногенную нагрузку.

При разработке эффективных экозащитных технологий важно количественно оценить негативное воздействие промышленных источников на окружающую среду. Термодинамический показатель позволяет оценить качество окружающей среды и эффективность экозащитных процессов, а также связь между ними, и при одинаковом санитарном показателе определить экономическую эффективность сравниваемых систем.

Общий материальный баланс по загрязняющим веществам до внедрения систем очистки можно представить, как:

$$R_{\text{топливо}} + R_{\text{воздух}} \rightarrow P_{\text{энергия}} + \sum W_i \quad (1)$$

где W_i – суммарный поток всех загрязняющих веществ (i) в атмосферу и гидросферу.

После модернизации, включающей установку систем очистки (десульфуризации, абсорбции CO , золоулавливания), баланс стремится к модели частично замкнутого цикла для многих компонентов:

$$R_{\text{топливо}} + R_{\text{воздух}} + R_{\text{реагенты (рецикл)}} \rightarrow P_{\text{энергия}} + P_{\text{побочные (ЗШМ)}} + \sum W_i (\text{остаточные}) \quad (2)$$

Для оценки термодинамического воздействия выбросов на окружающую среду используется изменение свободной энергии Гиббса (ΔG), позволяющим оценить работу, которую необходимо будет совершить окружающей среде для восстановления (очистки):

$$\Delta G = 2,3 \cdot R \cdot T \cdot \lg(C_n/C_k) \quad (3)$$

где R – универсальная газовая постоянная ($8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$); T – абсолютная температура процесса, К ;

C_n – начальная концентрация загрязняющего вещества в воздушной среде;

C_k – конечная концентрация загрязняющего вещества после прекращения выбросов.

Отрицательное значение свободной энергии Гиббса означает, что система сама производит работу над окружающей средой, затрачивая часть своей энергии на загрязнение воздуха. То есть для возвращения в первоначальное состояние окружающей среде, то есть для снижения концентрации загрязняющего вещества в атмосфере, нужно затратить энергию, совершить работу. Положительное значение указывает, что над системой работа производится извне, содержание загрязняющих веществ снижается самопроизвольно, без затрат энергии системы.

Произведем расчет и физическую интерпретацию свободной энергии Гиббса до внедрения систем очистки и после модернизации. Начальная концентрация в приземном слое $C_k = 8 \cdot C_n$. После очистки концентрация снижается до $C_k = 1,5 \cdot C_n$ благодаря системам: десульфуризация (для SO_2), абсорбции (для CO), каталитическое восстановление NO_x . Допустим, для оценки, что температура выхлопных газов: $\sim 800 \text{ К}$.

Расчёт ΔG до очистки:

$$\Delta G_{\text{до}} = 15.3 \cdot \lg(8) = 15.3 \cdot 0,903 \approx +13,8 \text{ кДж/моль} \quad (4)$$

Расчёт ΔG после очистки:

$$\Delta G_{\text{после}} = 15.3 \cdot \lg(1.5) = 15.3 \cdot 0,176 \approx +2,7 \text{ кДж/моль} \quad (5)$$

Снижение ΔG означает, что системы очистки (десульфуризация, абсорбция CO , золоулавливание) уменьшают термодинамическую нагрузку на окружающую среду.

Таким образом, применение термодинамических критериев, в частности расчёта изменения свободной энергии Гиббса, позволяет объективно оценить и сравнить степень воздействия ТЭЦ на окружающую среду. Внедрение современных систем очистки существенно снижает термодинамическую нагрузку, что подтверждается снижением ΔG после модернизации. Такой подход способствует не только улучшению экологической обстановки, но и повышению экономической эффективности экозащитных мероприятий за счёт выбора оптимальных технологических решений.

Литература:

1. Ядугов, В. В., Петров, Т. И., & Зацаринная, Ю. Н. (2013). Воздействие ТЭС на окружающую среду. Вестник Казанского технологического университета, 16 (19), 78-79.
2. Wang, H., et al. Life cycle assessment of circulating fluidized bed fly ash and bottom ash co-processing // Waste Management. – 2022. – Vol. 150. – P. 100-109.
3. Данные экологического отчета ПАО «Татэнерго» за 2024 год (открытые источники).
4. Кольцов В.Б., Морозов А.В., & Мочунова Н.А. (2022). Термодинамическая оценка риска негативного воздействия на окружающую среду. Международный журнал гуманитарных и естественных наук, (12-2), 141-145.

СНИЖЕНИЕ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Анико Д.В., Аскерко Н.А., студенты

Научный руководитель Кляусова Ю.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье рассматривается проблема шумового загрязнения в городах и его влияние на здоровье человека. Анализируются данные о том, что шум является причиной 15% профессиональных заболеваний, провоцирует гипертонию, нервные расстройства. Описываются градостроительные методы защиты.

Ключевые слова: шумовое загрязнение, шум, децибел, нервная система, защита от шума.

Шумовое загрязнение окружающей среды признано одной из актуальных проблем современности. В условиях интенсивной урбанизации и роста промышленных мощностей XXI века данное явление приобрело глобальный масштаб, где шум перестал быть просто неприятным фактором и превратился в серьезную угрозу экологической безопасности и социальному благополучию. Чрезмерная шумовая нагрузка является причиной неврологических нарушений, снижению защитных сил организма и ухудшению его функционального состояния, что напрямую способствует повышению уровня заболеваемости и ухудшению условий жизни людей.

Под шумом понимают хаотичные звуковые колебания, которые имеют сложную временную и частотную природу. Шум – это совокупность неперiodических звуков, различающихся по громкости и тону. С точки зрения физиологии, шумом является любой звук, который организм воспринимает как негативный или мешающий [1]. Уровень громкости звука выражается в децибелах (дБ), где один децибел – это едва уловимый порог, с которого наше ухо начинает слышать. В повседневной жизни человека сопровождают различные типы шума, среди которых можно выделить четыре основные категории:

1. Промышленный шум;
2. Транспортный шум;
3. Строительный шум;
4. Соседский шум [2].

Любое современное производство насыщено разнообразной техникой, которая создает сильный шум, мешающий людям на ближайших территориях. Основными источниками производственного шума служат устройства с электрическими и механическими приводами, движение газов и жидкостей в

трубопроводах, а также ударные воздействия при дроблении и разрушении материалов. Однако особое место занимают вентиляционные системы, выполняющие функцию создания микроклимата, их вытяжные установки на фасадах становятся источником акустического воздействия на окружающую среду.

Транспортный шум является совокупностью звуков от работ двигателей, взаимодействия колес с дорожным покрытием, работы тормозных систем и аэродинамических особенностей транспортных средств. Основными источниками этого вида шума выступают автомобильный, железнодорожный и воздушный транспорт. Проблема усугубляется стремительным ростом числа автотранспорта в последние годы – легковых и грузовых автомобилей, автобусов, троллейбусов и мотоциклов. Наибольшую интенсивность при этом имеет авиационный шум, обусловленный работой силовых установок и аэродинамическими характеристиками самолетов.

Строительные работы сопровождаются интенсивным шумом, источником которого является широкий спектр инструментов и машин. Это и простые ручные приспособления, такие как молотки и пилы и многочисленные электрические дрели, перфораторы и шлифовальные машины. Кроме того, значительный вклад в общий шумовой фон вносит тяжелая техника и оборудование: бетономешалки и строгальные станки, бульдозеры и экскаваторы.

Соседский шум – это звуки, которые проникают к нам из квартир или домов людей, живущих рядом. Чаще всего его источниками являются бытовые приборы и электроника: работающие на всю громкость телевизоры и колонки, а также громкие разговоры по телефону. Нередко причиной дискомфорта становятся и музыкальные инструменты на которых учатся играть соседи, например, фортепиано, гитара, виолончель и скрипка.

Современные города никогда не бывают по-настоящему тихими. Городской житель настолько привыкает к постоянному шуму за окном, вибрациям от поездов и громкой музыке соседей, что перестаёт замечать их сознанием. Однако человеческий организм не привыкает к шуму на физиологическом уровне, для наших сосудов, мозга и нервной системы шум остается источником хронического стресса.

Шумовое загрязнение признано причиной 15% всех профессиональных заболеваний. И если на производстве ещё можно защитить слух специальными средствами, то в повседневной жизни человек практически беззащитен. Шум преследует нас везде — на оживлённых магистралях, в метро, на работе, и даже дома, где, казалось бы, мы должны отдыхать. Именно поэтому жители мегаполисов чаще страдают гипертонией, атеросклерозом и различными нервными расстройствами: их сердечно-сосудистая и нервная системы работают в режиме постоянного перенапряжения. Е. Н. Каменская отмечает,

что «интенсивность шума 130 дБА является болевым порогом. Нарушения работы органа слуха (контузии) возникают в результате воздействия шума от 130 до 155 дБА. При интенсивности шума выше 160 дБА происходит разрыв барабанной перепонки. А интенсивность шума 200 дБА вызывает смерть человека» [3].

Чтобы обезопасить население, учёные определили допустимые границы шума. Согласно нормам, у стен жилых зданий днём уровень звука не должен подниматься выше 50 децибел, а ночью — выше 40 децибел. Это уровень спокойного разговора или работы негромкой техники. Всё, что громче, уже считается нагрузкой на организм.

Однако стоит отметить, что громкость звука — не главный фактор раздражения. Куда важнее его источник и наше отношение к нему. Собственный шум (шаги, работа пылесоса, звук телевизора) обычно не доставляет дискомфорта. А вот чужой, даже негромкий, способен вызвать бурю негативных эмоций. Это связано с ощущением потери контроля над личным пространством. Особенно тяжело переносится отсутствие тишины ночью: мозг не может полноценно отдохнуть, накапливается усталость, формируется хроническое недосыпание, которое со временем перерастает в бессонницу.

Когда шум превышает 85 децибел, начинаются необратимые изменения в слуховом аппарате — снижается восприимчивость к высоким частотам. А уровень выше 110 децибел способен вводить человека в особое состояние, которое специалисты называют «шумовым опьянением». Слуховой аппарат перегружается настолько, что возникают искажённые ощущения, головокружение, теряется ориентация. Именно этот эффект отчасти объясняет гипнотическое воздействие громкой рок-музыки: мощный поток высоких частот бьёт по нервной системе, вызывая состояние, похожее на лёгкое оглушение. Если человек годами живёт в шумной среде, организм начинает давать сбой. Сначала это невнятные симптомы: беспричинная усталость, вспышки раздражительности, тяжесть в голове. Позже подключаются головные боли, тошнота, скачки давления. Люди списывают это на стресс или погоду, не догадываясь, что истинная причина — акустический яд, который копился в организме годами.

Для снижения шумовой нагрузки нужны продуманные градостроительные и архитектурные решения. Среди наиболее эффективных подходов можно выделить несколько ключевых направлений.

1. Планировка города и дорожная сеть. Ещё на этапе генплана крупные источники шума — аэропорты, вокзалы, промзоны — стараются выносить за пределы жилых районов. Транспортные потоки организуют так, чтобы скоростные магистрали проходили в обход спальных кварталов. Важно найти баланс: слишком густая сеть дорог повышает общий шумовой фон, но

разреженная приводит к перегрузке отдельных трасс. Оптимальная плотность магистральных улиц не должна превышать 2 км на квадратный километр.

2. Зонирование и расположение зданий. В условиях плотной застройки полностью убрать жильё от дорог невозможно, поэтому применяют планировочные хитрости. Вдоль оживлённых трасс ставят шумозащитные дома-экраны — они располагаются почти вплотную и прикрывают внутренние кварталы, создавая акустическую тень. В таких домах окна проектируют во двор, а не на магистраль. В зависимости от угла расположения домов относительно дороги (параллельно, под углом или свободно) шум распределяется по-разному: например, периметральная застройка даёт максимум нагрузки на уличные фасады, но зато эффективно защищает внутриквартальное пространство. Часто здания первого ряда отдают под офисы, магазины или склады, чтобы люди не жили в зоне прямого акустического удара.

3. Зелёные насаждения. Деревья и кустарники вдоль дорог способны снижать уровень шума на 3–10% в зависимости от плотности и количества рядов. Лучше всего работают хвойные породы — они сохраняют эффективность круглый год.

4. Шумозащитные экраны. Вдоль трасс, мостов и железных дорог устанавливают специальные барьеры из металла, пластика, дерева или стекловолокна. Они отсекают звуковую волну, не давая ей распространяться на жилые кварталы. Такие конструкции должны быть не только акустически эффективными, но и устойчивыми к ветру, влаге и перепадам температур.

Литература:

1. Ережепова, Н. Б. Влияние шума на организм человека / Н. Б. Ережепова // Мировая наука. — 2022. — №7. — С. 19—21.

2. Воробинская, Л. И. Понятие шумового загрязнения окружающей среды в инженерной экологии / Л. И. Воробинская, В. А. Попова // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2023. — №3. — С. 33—36.

3. Каменская, Е. Н. Влияние шума на здоровье человека / Е. Н. Каменская // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2024. — №1. — С. 76—81.

МОНИТОРИНГ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Апанасович А. И., Алейников А. А., Лемешевский К. А., студенты
Научный руководитель Агабалаева Е. Д.
Беларуский национальный технический университет, Беларусь**

Данная статья посвящена значению мониторинга окружающей среды как важнейшего инструмента оценки и контроля состояния природных компонентов в условиях роста антропогенной нагрузки и глобальных экологических проблем. Рассматриваются основные задачи, виды и методы экологического мониторинга, а также его роль в формировании природоохранной политики. Подчёркивается необходимость комплексного подхода для сохранения качества окружающей среды.

Ключевые слова: мониторинг окружающей среды, экологическая безопасность, загрязнение, природные ресурсы, антропогенное воздействие, государственный мониторинг, биомониторинг, методы анализа, экологическая политика, устойчивое развитие.

Сохранение качества окружающей среды является одной из ключевых задач современного общества. Экологическая обстановка напрямую влияет на здоровье населения, устойчивость экосистем, экономическое развитие регионов и качество жизни в целом. В условиях роста промышленного производства, увеличения плотности населения, активного использования природных ресурсов и глобальных климатических изменений нагрузка на природные системы возрастает. Это приводит к ухудшению состояния воздуха, воды, почв, сокращению биоразнообразия и росту экологических рисков. Особую значимость приобретает мониторинг окружающей среды как систематический процесс наблюдения, анализа и оценки состояния природных компонентов. Мониторинг окружающей среды представляет собой комплексную систему регулярных наблюдений за состоянием природных объектов и процессов.

Мониторинг позволяет выявлять негативные изменения, определять источники загрязнений, прогнозировать развитие экологической ситуации и разрабатывать меры по её улучшению. Он включает сбор данных, их анализ, оценку и прогнозирование изменений, на основании чего возможно своевременно выявлять отклонения от нормы, определять степень воздействия антропогенных факторов и разрабатывать меры по предотвращению экологических угроз [1]. Мониторинг окружающей среды является основой для принятия решений в сфере природоохранной деятельности.

К основным задачам мониторинга относятся наблюдение за состоянием атмосферного воздуха, водных ресурсов, почв, растительного и животного мира, оценка уровня загрязнения и его динамики, выявление факторов,

влияющих на экологическую обстановку, а также прогнозирование возможных изменений. Важной задачей является обеспечение органов власти, предприятий и населения достоверной информацией о состоянии окружающей среды. Мониторинг служит фундаментом для разработки экологических нормативов, планирования природоохранных мероприятий и оценки эффективности экологической политики.

Система мониторинга включает несколько направлений, каждое из которых выполняет свою функцию и дополняет другие:

- государственный мониторинг осуществляется на национальном уровне и охватывает ключевые природные компоненты. Он обеспечивает контроль за соблюдением экологических нормативов и формирует официальную статистику, на основе которой принимаются управленческие решения;

- производственный мониторинг проводится предприятиями, деятельность которых может оказывать воздействие на окружающую среду. Он направлен на контроль выбросов, сбросов, состояния санитарно-защитных зон, а также на оценку эффективности природоохранных мероприятий. Такой мониторинг является обязательным и регулируется законодательством;

- биологический мониторинг оценивает состояние живых организмов и экосистем. Биота является чувствительным индикатором загрязнений, поэтому биомониторинг позволяет выявлять изменения, которые не всегда фиксируются физико-химическими методами [2]. Например, исчезновение определённых видов растений или животных может свидетельствовать о нарушении экологического баланса;

- социально-экологический мониторинг изучает влияние экологических факторов на здоровье населения. Он включает анализ заболеваемости, условий проживания, качества питьевой воды и других факторов, влияющих на благополучие людей.

Для получения объективной информации используются различные методы наблюдений и анализа. Инструментальные методы включают измерение концентраций загрязняющих веществ в воздухе, воде и почве с помощью специализированных приборов. Они обеспечивают высокую точность данных и позволяют отслеживать динамику изменений в реальном времени. Лабораторные исследования применяются для определения химического состава проб, токсичности, биологических показателей. Они необходимы для подтверждения данных полевых измерений и позволяют выявлять даже минимальные концентрации вредных веществ. Дистанционные методы, основанные на спутниковых и аэрокосмических наблюдениях, дают возможность контролировать большие территории, отслеживать состояние лесов, водоёмов, атмосферных процессов, последствия природных катастроф и изменения климата. Такие методы особенно важны для труднодоступных регионов. Биоиндикация использует живые организмы как индикаторы загрязнения. Например, лишайники

чувствительны к качеству воздуха, а водные беспозвоночные – к состоянию водных экосистем. Этот метод позволяет выявлять комплексное воздействие загрязнений, которое не всегда фиксируется приборами [3].

Мониторинг является важной частью системы экологической безопасности. На основе полученных данных разрабатываются меры по улучшению состояния природной среды. Важную роль играет экологическое нормирование, включающее установление предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ, требований к выбросам и правила обращения с отходами. Природоохранные мероприятия включают внедрение очистных сооружений, переход на экологически безопасные технологии, рекультивацию нарушенных земель, восстановление лесов и водных объектов. Эти меры направлены на снижение негативного воздействия на окружающую среду и восстановление природных ресурсов. Важную роль в формировании ответственного отношения к природе играют экологическое образование и информирование населения. Повышение экологической культуры способствует снижению бытового загрязнения и развитию экологически ориентированного поведения [4]. Международное сотрудничество также является важным элементом обеспечения качества окружающей среды. Многие экологические проблемы носят трансграничный характер, поэтому страны взаимодействуют в рамках международных соглашений, программ и конвенций, направленных на охрану природы [5].

Таким образом, мониторинг и обеспечение качества окружающей среды являются важнейшими элементами системы экологической безопасности. Они позволяют своевременно выявлять негативные изменения, оценивать их последствия и разрабатывать эффективные меры по защите природных ресурсов. В условиях роста антропогенной нагрузки и глобальных экологических вызовов значение мониторинга постоянно возрастает. Комплексный подход, включающий научные методы, государственное регулирование и участие общества, является ключом к сохранению благоприятной окружающей среды для нынешних и будущих поколений.

Литература

1. Охрана труда : курс лекций / В. Н. Босак [и др.]; под общей редакцией В. Н. Босака. – Горки: БГСХА, 2020. – 155 с.
2. Якунина, И.В., Попов, Н.С. — Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг: учебное пособие — (2009).
3. Богатов, Б.А. Экологическая и энергетическая безопасность: идеи и практика добычи полезных ископаемых и утилизация отходов / Б.А. Богатов. – Минск: БНТУ, 2016. – 345 с.
4. Щелоков, Я.М. Экологические проблемы энергоёмких производств: справочное издание / Я.М. Щелоков. – М.: Теплотехник, 2008. – 304 с.
5. Экология: геоэкология недропользования – М.: Высшая школа, 2006. – 440 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Арнагылыджова А., Сердарова С. студенты
Научные руководители Новик А. Л., Стрелкова Е. В.
Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье рассмотрены основные неблагоприятные последствия внесения необоснованно высоких норм минеральных удобрений. Предложены мероприятия по снижению негативного воздействия нерационального применения минеральных удобрений.

Ключевые слова: минеральные удобрения, агроценоз, свойства почвы, загрязнение, экологическая обстановка.

Применение минеральных удобрений в современном земледелии является одним из основных элементов интенсификации возделываемых человеком культур. Удобрения обеспечивают устойчивость продукционных процессов посредством возврата и вовлечения питательных элементов в круговорот веществ, взамен изъятых из агроэкосистемы с основной и побочной продукцией. Использование удобрений позволяет получать примерно половину прироста урожайности сельскохозяйственных культур [1, 2].

Минеральные удобрения оказывают сильное воздействие не только на растение, но и на биологические, химические и физические свойства почвы. В зависимости от свойств почвы минеральные удобрения претерпевают различные превращения, которые влияют на растворимость питательных веществ, их мобильность и доступность для растений. Помимо обогащения почвы питательными веществами минеральные удобрения также оказывают влияние на микробиологические процессы и изменяют реакцию почвенного раствора. Так чрезмерная микробиологическая активность часто приводит к росту микроскопических грибов, в том числе патогенных, а это может привести к накоплению микотоксинов в почве и сельскохозяйственной продукции [2, 3].

Систематическое нерациональное применение минеральных удобрений с нарушением научно-обоснованных доз, норм, приемов, способов и сроков их внесения приводит не только к снижению урожая и качества выращиваемой продукции, но и к ухудшению экологической обстановки агроценозов. При этом наблюдаются пагубные тенденции, связанные с избыточным использованием минеральных удобрений, такие как загрязнение почвенного слоя, поверхностных и грунтовых вод нитратами и тяжелыми металлами [1, 3–5].

Избыток питательных веществ удобрений и почвы вымывается в водоемы, что вызывает неконтролируемый рост водорослей, которые могут

аккумулировать существенный объем химических веществ и распространять их дальше по трофической цепи. Проблема малых рек вызывает особое беспокойство. Анализ текущего состояния качества воды в этих реках показывает увеличение концентрации минерального азота, фосфора и других химических веществ в руслах [1, 5].

Однако отказ от внесения минерального азота и фосфора может привести к деградации почвы, резкому снижению урожайности и качеству продукции. Азот и фосфор являются одними из основных макроэлементов необходимые для роста и развития растений. Азот участвует в образовании белков, аминокислот, гормонов, хлорофилла, алкалоидов, ферментов, многих витаминов и отвечает за рост листьев и стеблей. Фосфор содержится в клеточной плазме, входит в состав нуклеиновых кислот, хромосом, фосфопротеидов, некоторых витаминов и других органических веществ. Фосфор способствует развитию корневой системы, стимулирует цветение и образование семян. Следует строго соблюдать регламенты применения минеральных удобрений для недопущения загрязнения окружающей среды.

Так под действием атмосферных осадков при внесении необоснованно высоких доз азотных удобрений вымывается некоторая доля азота (нитратная форма) из агрогоризонта в базальные слои почвы. Потери зависят от формы и дозы удобрения, свойств почвы, водного режима, климата, вида культуры и других факторов. При этом понижается общее плодородие и запасы гумуса в почве. А также наблюдается ускоренный процесс минерализации гумуса и азотистых соединений почвы. Потери газообразного азота (15–25 % от внесенного) из почвы в микробиологических процессах азотного цикла приводят к разрушению озонового экрана стратосферы земли за счет образования диоксида азота в процессе денитрификации. Поэтому не рекомендуется вносить азотные удобрения без заделки в почву [1–3, 5].

Существенной проблемой является использование и захоронение отходов производства фосфорных (фосфогипс) и калийных (галитовые отходы, глинисто-солевые шламы) удобрений. С целью недопущения загрязнения окружающей среды необходимо стремиться налаживать замкнутые технологические процессы, предотвращающих попадание химических загрязнителей во внешнюю среду [1, 5].

Неблагоприятное воздействие удобрений, можно свести в основном к следующему. 1. Необоснованное применение удобрений способствует деградации агрохимических свойств почвы и ее плодородия. 2. Нарушения агротехники внесения удобрений могут отрицательно сказаться на качестве и урожайности сельскохозяйственных культур. 3. Несоблюдение оптимального баланса питания основными макро- и микроэлементами приводит к различным неинфекционным и инфекционным заболеваниям растений. 4. Поступление минеральных элементов в грунтовые воды из удобрений и почвы

с поверхностным стоком может привести к усиленному развитию в природных водоемах водорослей и планктонов, т.е. эвтрофированию. 5. Попадание газообразного азота в атмосферу может привести к разрушению озонового слоя земли [3].

Для снижения негативного воздействия нерационального применения минеральных удобрений следует предусмотреть следующие мероприятия:

- разработка и ввод в производство машин для локального и поверхностного (погрешность не более 15 %) внесения удобрений;
- соблюдение равномерности и сроков внесения заделки удобрений;
- строгое соблюдение форм, норм, сроков и способов внесения удобрений;
- использование медленно действующих удобрений (капсулированных и т.д.);
- дробное внесение высоких доз удобрений;
- строгое соблюдение севооборота, использование однолетних и многолетних трав, поукосных и пожнивных культур;
- разработка новых методов переработки и захоронения отходов производства минеральных удобрений [5].

Таким образом систематическое научно обоснованное применение минеральных удобрений в агроценозе и создание замкнутых технологических процессов их производства может способствовать сохранению благоприятной экологической обстановки.

Литература:

1. Узаков, З. З. Экологические проблемы применения минеральных удобрений / З. З. Узаков, С. Халикова, А. Эгамбердиева // Символ науки. – 2018. – № 4. – С. 35–37.
2. Астахов, В. С. Экологические проблемы применения удобрений в агроценозах / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / Белорус. гос. с.-х. акад.: редкол.: В. В. Гусаров (гл. ред.) [и др.]. – Горки, 2024. – Вып. 9. – С. 101–106.
3. Володина, Т. И. Экологическая оценка удобрений – URL: <https://www.vgsa.ru/nir/ikc/publ/s1.pdf> (дата обращения 14.03.2026).
4. Ерёмин, Д. И. Рациональное применение минеральных удобрений как фактор экологической безопасности агроценозов / Д. И. Ерёмин, М. Г. Уфимцева // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 12. – С. 63–66.
5. Будевич, В. А. Пути экологизации сельского хозяйства в Беларуси / В. А. Будевич, А. В. Зураев // Экология и защита окружающей среды: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., 19–20 марта 2024 г., г. Минск / Бел. гос. ун-т.; редкол.: А. Е. Грицук [и др.]. Мн., 2014. – С. 42–45.

ЭКОЛОГИЧНОЕ ОБЩЕНИЕ КАК РЕСУРС ГАРМОНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Балцевич Е.Г., Леошко Д.А. студенты

Научный руководитель Сидорская Н.В.

**Белорусский государственный университет иностранных языков,
Беларусь**

В статье представлен анализ экологичного общения как фактора снижения конфликтности в образовательных учреждениях. На основе модели ненасильственной коммуникации выделены компоненты эффективного взаимодействия, способствующие формированию психологически безопасной среды. Рассмотрены примеры апробации принципов в школьной практике, философские границы экологичности, а также рекомендации для педагогической практики.

Ключевые слова: экологичное общение, ненасильственная коммуникация, педагогическая коммуникация, образовательная среда, конфликтология, эмпатия.

Современное образование сталкивается с ростом межличностной напряжённости. Школа становится местом встречи разных индивидуальностей, где неизбежны конфликты. Особенно остро это проявляется в подростковом возрасте в силу повышенной эмоциональной уязвимости. В этих условиях актуален поиск моделей общения, которые не только снижают психологический ущерб, но и превращают конфликты в ресурс развития.

Понятие «экологичное общение» наиболее полно раскрывается в модели ненасильственной коммуникации (Non-violent Communication (NVC)) или ненасильственного общения (ННО) М. Розенберга. Под ненасильственным общением автор понимает способ взаимодействия, при котором сохраняется связь с естественным состраданием, исключаются оценки, осуждение и принуждение [1]. Четыре компонента ННО составляют универсальный алгоритм: наблюдение без оценивания, выражение чувств, осознание потребностей и просьба, свободная от требования. Основные принципы ненасильственного общения представлены на рисунке 1.

Как отмечают А.С. Крылова и И.Н. Андреева, данная модель эффективна в школе, семье и переговорах, а её главный принцип – ясность и точность – позволяет говорить так, чтобы собеседник услышал и понял [2].

Образовательная среда традиционно воспроизводит иерархические паттерны «учитель – ученик», которые нередко провоцируют конфликтность. Иллюстрацией могут служить ситуации, описанные Е.Г. Балцевич и И.Ю. Прудниковым. В одной из них конфликт возникает из-за несогласованных критериев оценивания, что приводит к демонстративному отказу ученицы от

выполнения заданий [3]. Анализ с позиций ННО показывает отсутствие ключевых компонентов: учитель не выразил ожидания в форме наблюдения, ученица не смогла сформулировать чувства и потребности.

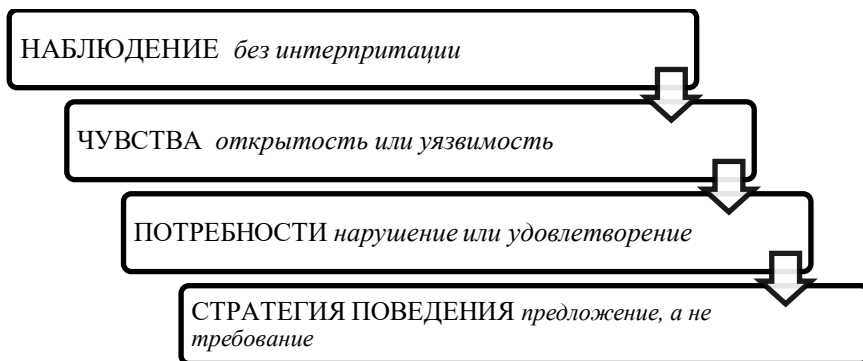


Рисунок 1 – Основные принципы ненасильственного общения

Для преодоления подобных сценариев авторы гимназической работы провели серию занятий, направленных на освоение принципов экологичного общения. Среди использованных упражнений – «Хирургия», моделирующее коллективное принятие решения на основе эмпатии, а также разбор конфликтных кейсов, где учащиеся учились определять причины конфликта и предлагать варианты экологического поведения [3]. В основе экологичного общения лежит способность к эмпатии – умению чувствовать внутреннее состояние другого, не теряя собственной идентичности. Как отмечает Д. Гоулман, развитие эмпатии – ключевой фактор профилактики деструктивного поведения [4]. Популярность идеи экологичности требует критического осмысления. Т.Г. Лобова, Н.Ю. Ражина и Е.Н. Маковецкая, обращаясь к философской антропологии, предостерегают от превращения экологичности в новую форму контроля. Чрезмерная озабоченность безопасностью может привести к обеднению отношений, подмене живого общения стерильной вежливостью [5]. Для педагогической практики это означает, что принципы ННО не должны восприниматься как жёсткий алгоритм, гарантирующий отсутствие негативных эмоций. Их ценность раскрывается тогда, когда они служат инструментом для глубокого, ответственного взаимодействия, в котором конфликт становится предметом совместного осмысления.

В научном дискурсе существует также понятие «экологическая коммуникация» (Н. Луман, Е.В. Панова), обозначающее обмен сообщениями о состоянии окружающей среды и устойчивом развитии [6].

Важно различать эти термины: если экологическая коммуникация ориентирована на внешнюю среду, то экологичное общение относится к качеству самого процесса взаимодействия между людьми. В образовательном контексте центральным является второй термин, поскольку он фиксирует внимание на формах, способствующих психологической безопасности участников. Обобщая теоретические положения и практический опыт, можно предложить направления для внедрения принципов экологичного общения в образовательный процесс: включение модулей по ненасильственной коммуникации в педагогические и лингвистические программы; создание безопасного пространства для практики (упражнения, кейсы); развитие эмоционального интеллекта педагогов; рефлексия границ экологичности, позволяющая избежать формализации живого общения.

Экологичное общение, базирующееся на принципах ненасильственной коммуникации, представляет собой действенный ресурс для гармонизации образовательной среды. Его компоненты позволяют переводить конфликтные ситуации из плоскости противостояния в плоскость совместного поиска решений. Практический опыт подтверждает, что целенаправленная работа по формированию навыков экологичного общения способствует повышению эмоциональной грамотности, снижению напряжённости и созданию уважительного климата. Вместе с тем философско-антропологическая рефлексия указывает на необходимость осторожного отношения к идее экологичности: её ценность раскрывается в той мере, в какой она служит инструментом для подлинного диалога.

Литература:

1. Rosenberg, M.B. *Nonviolent Communication: A Language of Life* / M.B. Rosenberg. – Encinitas, CA: PuddleDancer Press, 2005. – 246 p.
2. Крылова, А.С. Ненасильственное общение как эффективный способ взаимодействия с окружающими / А.С. Крылова, И.Н. Андреева // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Е. Педагогические науки. – 2023. – Т. 40, № 2. – С. 77–79.
3. Балцевич, Е.Г. Экология в общении / Е.Г. Балцевич, И.Ю. Прудников // Материалы гимназической конференции. – Минск : ГУО «Гимназия № 11 имени И. Д. Черняховского». – С. 112–115.
4. Goleman, D. *Emotional Intelligence: Why It Can Matter More Than IQ* / D. Goleman. – New York : Bantam Books, 1995. – 352 p.
5. Лобова, Т.Г. Экологизация общения в условиях «антропологической катастрофы» / Т.Г. Лобова, Н.Ю. Ражина, Е.Н. Маковецкая // Манускрипт. – 2020. – Т. 13, вып. 10. – С. 192–196.
6. Luhmann, N. *Ecological Communication* / N. Luhmann. – Cambridge : Polity Press, 1989. – 187 p.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ

Белорусский Д.В., Шпаковский А. П. студенты

Научный руководитель Вершиловский В.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье рассматриваются способы и правила складирования плодородного слоя почвы и вскрышных пород; различные методы отвалообразования, а также оценка их влияния на экологию, ландшафт, почву и окружающую среду.

Ключевые слова: рекультивация, плодородный слой почвы, вскрышные породы, отвал, экология.

Рекультивация – комплекс работ по восстановлению продуктивности, ценности и экологического баланса территорий, пострадавших от антропогенного воздействия. Для того, чтобы она проходила наиболее успешно, эксперты рекомендуют выполнять ее отдельные операции (планировка поверхности, снятие и складирование плодородного слоя, строительство гидротехнических сооружений и т.д.) в рамках основного производства. Такой подход к организации работ способствует благоприятной экологической среде, особенно после окончания горных работ.

Перед тем как начать горные работы, крайне важно снять и переместить вскрышные породы, плодородный слой почвы (ПСП) и потенциально плодородные породы. Эти материалы следует размещать во временных отвалах. В дальнейшем они будут использованы для создания рекультивационного слоя, повышения плодородия малопродуктивных земель или непосредственно для восстановления рекультивируемых площадей. Плодородный слой почвы должен складироваться отдельно от вскрышных пород, для предотвращения потери им плодородных свойств и дальнейшего использования в рекультивации выработанного пространства.

Под отвалом понимают складирование вскрыши, некондиционного сырья или полезного ископаемого (для дальнейшей его транспортировки) на специально отведенной территории.

Отвалы горных пород и отходов обогащения размещают, как правило, на землях, не пригодных для сельскохозяйственного использования или не занятых лесами, за пределами площадки предприятия. Для этих целей наиболее подходят отработанные карьеры, шахтные провалы, овраги, балки и другие неудобные земли.

Особое внимание следует обратить на выбранную схему отвалообразования. Она должна быть такой, чтобы проектный рельеф

поверхности (или максимально приближенный к нему) создавался непосредственно в процессе отсыпки отвала. Благодаря этому удастся уменьшить затраты на рекультивацию и объём выполняемых работ.

По расположению отвалы могут разделяться на внутренние (расположенные внутри карьера), внешние (расположенные за территорией карьера, но находящийся на территории земельного отвода) и комбинированные (при котором часть вскрыши располагают внутри карьера, а часть за его границами).

Внешнее отвалообразование характеризуется размещением отвалов на ровной поверхности рядом с карьером; порода доставляется автосамосвалами, ж/д транспортом или конвейерами; требуется предварительная подготовка участка за контуром карьера, что неизбежно ведёт к нарушению плодородных земель и их частичной утрате на этом участке.

Достоинства:

1. Так как используется свободное пространство вокруг карьера, то мы не зависим от объёма карьера.
2. Проще организовать поточную технологию, когда порода сразу ссыпается в отвал и нет необходимости ждать, пока освободится место внутри карьера.
3. Транспортные коммуникации легче прокладывать, так как они проложены по поверхности, а не по крутым бортам карьера.

Недостатки:

1. Большое количество плодородных земель приходит в негодность.
 2. Такой метод отвалообразования представляет собой мощный источник загрязнения, так как большое количество пыли, выносимое ветром на окрестные поля и посёлки; дождевые и талые воды, проходя через породы, превращаются в токсичные растворы и уходят в грунтовые воды.
 3. Восстановление земель на внешнем отвале обходится дороже, а также это гораздо сложнее, чем спланировать пустоту внутри карьера.
- Внутреннее отвалообразование характеризуется размещением внутри карьера; порода отгружается в отвал экскаватором или драгдином.

Достоинства:

1. Так как новые земли под отвалы не отводятся, большое количество плодородных земель, с/х угодий и т.д. остаются нетронутыми.
2. Порода практически не контактирует с открытой атмосферой, за счёт чего минимальны загрязнения грунтовых вод и окружающей среды пылью.
3. После завершения работ, у нас уже получается готовая рекультивация, потому что поверхность карьера – это уже готовый отвал, поэтому остаётся только провести биологическую рекультивацию.
4. Отсутствие внешних высоких отвалов снижает риск их обрушения на близлежащие постройки, земли и др.

Недостатки:

1. Может получиться, что отведённого пространства внутри карьера не хватит для всего объёма вскрышных пород, и тогда всё равно придётся вывозить вскрышу на поверхность.

2. Такой метод требует тщательной планировки места расположения отвала, так как внутри карьера постоянно ведутся работы в различных его частях, поэтому просто свалить пустую породу в любом месте не получится.

Комбинированное отвалообразование характеризуется применением на начальных этапах разработки, когда места в карьере ещё недостаточно для внутреннего размещения отвалов.

Достоинства:

1. Благодаря своей гибкости и адаптивности, для большинства месторождений это единственно возможный способ, так как позволяет вести добычу даже тогда, когда внутренняя схема технически невозможна (например, из-за нехватки места внутри).

2. В периоды, когда внутреннего объёма не хватает, породу можно временно складировать снаружи, что снижает пиковые нагрузки при горных работах.

3. Породы около бортов карьера легче отправить во внешний отвал коротким рейсом, чем вести через весь карьер во внутренний отвал.

4. Раздельное складирование является полезным преимуществом, если вскрышные породы неоднородны (часть пород – плодородные, часть – токсичные, часть – пригодные для строительства).

Недостатки:

1. Данный метод является самым сложным в планировании, так как нужно постоянно решать задачу какую породу и куда вывозить.

2. Часть земель всё равно отчуждается под внешние отвалы, хотя и меньше, чем при чисто внешнем отвалообразовании, что по сути представляет собой двойной нагрузкой на экологию.

3. Сложность рекультивации, что связано с восстановлением двух разных объектов, а это разные комплексы работ с разными технологиями и сроками.

Таким образом, чтобы минимизировать негативное влияние отвалов на экологию, ландшафт, почву и окружающую среду, их предпочтительно размещать в выработанном пространстве карьера, отдавая приоритет внутреннему отвалообразованию везде, где это позволяют горно-геологические условия и объём вскрыши.

Литература:

1. Хохряков, В.С. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых / В.С. Хохряков. – Москва : Недра, 1991. – 336 с.

2. Коваленко, В.С. Рекультивация нарушенных земель на карьерах / В.С. Коваленко, Р.М. Штейнцвайг, Т.В. Голик. — Москва : МГТУ, 2008. — 63 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПУСТОТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ПРИМЕРЕ ЗАВОДА ПУСТОТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОАО «МИНСКЖЕЛЕЗОБЕТОН»

Бердник В.И., студент

Научный руководитель: Мартынюк С.С.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье рассмотрена технология производства пустотных железобетонных изделий на заводе пустотных изделий (ЗПИ) ОАО «Минскжелезобетон». Описаны основные этапы технологического процесса: приготовление бетонной смеси, изготовление арматурных каркасов, формование, термовлажностная обработка и контроль качества. Приведены данные об источниках воздействия на окружающую среду и мероприятиях по снижению экологической нагрузки.

Ключевые слова: пустотные изделия, железобетон, технологический процесс, бетонная смесь, формование, термовлажностная обработка, экологическая безопасность, отходы производства.

Завод пустотных изделий (ЗПИ) входит в состав ОАО «Минскжелезобетон» – одного из крупнейших производителей железобетонных и бетонных конструкций в Республике Беларусь. Предприятие расположено по адресу: г. Минск, ул. Социалистическая, 24. Основной продукцией завода являются пустотные плиты перекрытий, стеновые блоки, элементы благоустройства и другие сборные железобетонные изделия. Номенклатура выпускаемой продукции насчитывает до 6000 позиций, что позволяет удовлетворять потребности как промышленного, так и индивидуального строительства.

Принципиальная схема технологического процесса производства пустотных железобетонных изделий представлена на рисунке 1. Технологический процесс производства пустотных железобетонных изделий включает несколько последовательных этапов. На первом этапе осуществляется приготовление тяжелой бетонной смеси. Для этого используются портландцемент марок ПЦ500 и ПЦ400, природный песок в качестве мелкого заполнителя, щебень из природного камня или гравия фракций 5–20 мм, техническая вода (поступает с территории соседнего предприятия ОАО «МАЗ») и химические добавки – пластификаторы и усилители твердения. Цемент доставляется на склад в автоцементовозах с пневмовыгрузкой, заполнители – автомобильным транспортом на открытые склады. Дозирование компонентов осуществляется автоматически, после чего они в последовательности «щебень – вода с добавкой – цемент – песок»

загружаются в бетоносмеситель периодического действия. Готовая бетонная смесь подается в формовочный цех ленточными конвейерами.

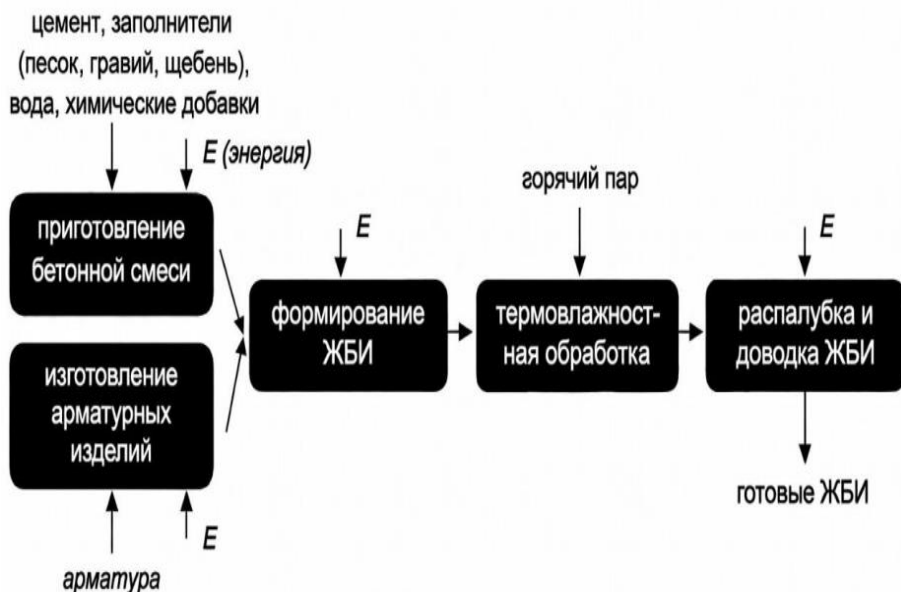


Рисунок 1 – Принципиальная схема технологического процесса производства пустотных железобетонных изделий

Параллельно в арматурном цехе изготавливаются арматурные каркасы и сетки. Для армирования пустотных изделий применяется стержневая арматура классов S240, S500, S800 и обыкновенная арматурная проволока класса S500. Используемое оборудование включает пресс-ножницы, правильно-отрезные станки, станки для высадки анкерных головок, одноточечные сварочные машины и правильно-гибочные станки.

Основной этап – формование изделий – включает следующие операции :

- очистка и смазка поддона;
- укладка арматурных изделий на поддон;
- установка бортоснастки и вибропуансонов для образования пустот;

- укладка бетонной смеси из бункера бетоноукладчика при включенной виброплощадке, распределение смеси лопатой;
- уплотнение смеси с помощью виброплощадки и вибропуансонов;
- установка пригруза и дополнительное уплотнение;
- вывод вибропуансонов, снятие пригруза и бортоснастки;
- доводка свежесформованного изделия.

Далее изделия направляются на термовлажностную обработку (пропарку) в камеры ямного типа. Пропарка обеспечивает набор прочности бетона в ускоренные сроки. После распалубки готовые изделия проходят контроль отдела технического контроля (ОТК), при необходимости выполняется доводка поверхности. Пригодные изделия вывозятся на склад готовой продукции.

Производственная деятельность завода пустотных изделий оказывает воздействие на окружающую среду. Основные источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух: узлы перегрузки сыпучих материалов (цемент, песок, щебень), бетоносмесительные узлы, камеры пропарки, участки механической обработки. Предприятие относится к 4 категории объекта воздействия на атмосферный воздух с санитарно-защитной зоной 100 м.

Суммарный выброс вредных веществ по ОАО «Минскжелезобетон» составляет 36,396 т/год, основные загрязнители – диоксид азота (NO_2), неорганическая пыль (содержание SiO_2 менее 70%), твердые частицы. Для снижения выбросов на филиалах предприятия установлены газоочистные установки: рукавные фильтры ФРсПУГ-1 (степень очистки 99,5%), фильтры Rufi (99,8%), рукавный фильтр С-753А (98,5%), циклоны (89,7%).

В процессе производства образуются отходы различных классов опасности. Согласно инвентаризации отходов, на предприятии образуется 21 наименование отходов. К ним относятся: отработанные люминесцентные лампы (1 класс опасности, 420 шт/год), отработанные компрессорные масла, эмульсии, изношенные шины с металлокордом (3 класс, 5 т/год), обтирочный материал, загрязненный маслами, шлам бетонного производства, смет с территории, смешанные строительные отходы (4 класс, 850,27 т/год), а также металлоотходы, бой бетонных и железобетонных изделий, древесные отходы, грунт (неопасные, 4985 т/год).

Часть отходов (бой бетона и железобетона) подвергается дроблению на дробильной установке и используется в качестве вторичного наполнителя для бетона. Отработанные люминесцентные лампы передаются на обезвреживание на объект «Поступ». Отходы, не подлежащие переработке, вывозятся на полигон «Тростенецкий» УП «Экорес».

Важной особенностью завода является отсутствие сброса сточных вод благодаря организации рециклинга воды. Водоотведение осуществляется в городскую хозяйственно-фекальную и дождевую канализационную сеть г. Минска по договорам с предприятиями ВКХ.

На ОАО «Минскжелезобетон» разработана, задокументирована и внедрена система управления окружающей средой (СУОС) в соответствии с требованиями СТБ ISO 14001-2017, что подтверждено сертификатом соответствия № ВУ/112 06.01.021 00428 от 13 сентября 2018 г. Также действуют система менеджмента качества (ИСО 9001-2008) и система управления охраной труда (СТБ 18001-2005).

Экологическая политика предприятия включает обязательства по непрерывному улучшению экологической обстановки, предотвращению загрязнения и соблюдению природоохранного законодательства.

Таким образом, завод пустотных изделий ОАО «Минскжелезобетон» оснащен современным оборудованием, позволяющим выпускать качественную продукцию по отработанной технологии. При этом предприятие уделяет значительное внимание снижению негативного воздействия на окружающую среду: внедрены эффективные газоочистные системы, организован раздельный сбор и переработка отходов, применяется рециклинг воды. Дальнейшее совершенствование технологических процессов и природоохранных мероприятий позволит повысить экологическую результативность завода.

Литература:

1. Шляхтина Т.Ф. Технологические особенности изготовления железобетонных конструкций для жилищного и гражданского строительства: учеб. пособие. – Братск: БрГУ, 2010 – 129 с.
2. Акт инвентаризации отходов производства за 2024 год ОАО «Минскжелезобетон». – Минск, 2024.
3. Экологическая политика ОАО «Минскжелезобетон». – Минск, 2015 г.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВОДНОЙ АБСОРБЦИИ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Берёзко Т.М., студент

Научный руководитель Зеленуха Е.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассматривается проблема глобального изменения климата, вызванного антропогенными выбросами парниковых газов. Проанализированы основные стратегии снижения выбросов, включая переход на низкоуглеродное топливо, возобновляемую энергетику и технологии улавливания, утилизации и хранения углекислого газа (CCUS). Особое внимание уделено методу водной абсорбции диоксида углерода (CO_2): описаны физико-химические основы процесса, типовая схема установки, а также преимущества и недостатки метода.

Ключевые слова: глобальное изменение климата, парниковые газы, диоксид углерода, технологии CCUS, водная абсорбция, абсорбер, десорбер, углеродная нейтральность.

Глобальное изменение климата является одной из наиболее острых экологических проблем XXI века. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), средняя температура поверхности Земли с 1880 по 2023 год увеличилась приблизительно на $1,1^\circ\text{C}$, причём темпы потепления существенно ускорились в последние четыре десятилетия. Основная причина наблюдаемых климатических изменений – антропогенная эмиссия парниковых газов, прежде всего диоксида углерода (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O). Концентрация CO_2 в атмосфере достигла в 2023 году свыше 420 ppm, что на 50 % превышает доиндустриальный уровень. Основным источником выбросов – сжигание ископаемого топлива.



Рисунок 1 – Динамика выбросов парниковых газов в Республике Беларусь

Например, в Республике Беларусь, согласно данным [1] в структуре выбросов парниковых газов наблюдается устойчивое доминирование энергетического сектора, на долю которого приходится более 50% эмиссии (рис. 1).

Парижское соглашение 2015 года установило цель ограничения потепления уровнем 1,5–2,0°C, что требует радикального сокращения выбросов парниковых газов.

В настоящее время, многие страны применяют различные подходы по снижению поступления выбросов углекислого газа в атмосферу. Среди них: использование низкоуглеродного топлива (ядерное топливо, водород и др.), использование возобновляемых видов энергии (энергия ветра, солнечная энергия, геотермальная энергия и др.), повышение энергоэффективности и внедрение мероприятий по энергосбережению, а также применение технологий по улавливанию, утилизации и хранению углекислого газа (Carbon Capture, Utilization and Storage – CCUS) (рис. 2).



Рисунок 2 - Основные направления снижения выбросов парниковых газов

Значимым инструментом в достижении углеродной нейтральности являются технологии CCUS. Их применение требует значительных капиталовложений и технологических инноваций, однако они позволяют достичь значительно более существенного сокращения выбросов углекислого газа – более чем на 50%. Технологии CCUS включают:

- улавливание углекислого газа при сжигании топлива или в промышленных технологических процессах;
- транспортировку уловленного диоксида углерода;

– использование CO_2 в качестве ресурса для создания ценных продуктов или услуг;

– постоянное хранение глубоко под землей в геологических формациях.

Технологии улавливания углекислого газа разнообразны и включают в себя абсорбцию (например, водную или с использованием аминов), адсорбцию (использование пористых материалов) и мембранные методы. Выбор конкретной технологии улавливания углекислого газа зависит от типа источника выбросов и экономических факторов. Среди методов извлечения CO_2 ведущее положение занимают абсорбционные методы.

Абсорбция – массообменный процесс поглощения компонентов газовой смеси жидким поглотителем. При физической абсорбции растворение газа происходит без химического взаимодействия. Движущей силой является разность парциальных давлений поглощаемого компонента в газовой фазе и равновесного давления над раствором. Растворимость газа подчиняется закону Генри и возрастает с увеличением давления и снижением температуры. Основное преимущество физической абсорбции перед химической – значительно меньшее энергопотребление при регенерации абсорбента. Однако эффективность существенно зависит от парциального давления целевого компонента: при низких давлениях степень извлечения снижается.

Особый интерес представляет метод водной абсорбции, использующий воду в качестве поглотителя, что обусловлено его экологической чистотой и доступностью абсорбента. Схема установки улавливания CO_2 методом водной абсорбции представлена на рисунке 3 [2].

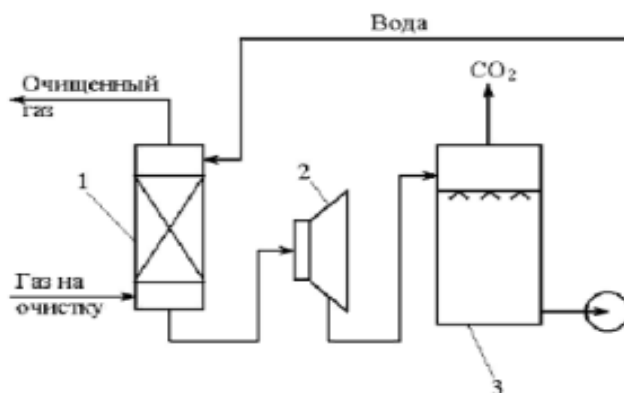


Рисунок 3 – Схема установки улавливания CO_2 методом водной абсорбции
1- абсорбер, 2 – рекуперационная турбина, 3 - десорбер

Как следует из рисунка 3, типовая установка водной абсорбции включает два основных аппарата:

– **абсорбер** (обычно насадочная или тарельчатая колонна). Газ, содержащий CO_2 , подается снизу вверх, а вода – сверху вниз. При контакте фаз CO_2 переходит в жидкую фазу. На выходе получают очищенный газ, обедненный по CO_2 , и насыщенный водный раствор;

– **десорбер** (регенератор). Насыщенный раствор нагревают или снижают давление. Равновесие сдвигается в сторону выделения CO_2 , который отводится в виде концентрированного потока и может быть направлен на утилизацию или хранение. Вода возвращается в абсорбер.

Основные преимущества метода – доступность и дешевизна абсорбента, простота конструкции. Недостатки – невысокая поглощательная способность водой диоксида углерода (8 кг CO_2 на 100 кг абсорбента), небольшая селективность, чрезмерно большие потери газа при высоком давлении вследствие повышения его растворимости. Наряду с диоксидом углерода в воде растворяются водород, оксид углерода, азот и др. Поэтому выделяющийся диоксид углерода является недостаточно чистым.

Метод водной абсорбции наиболее эффективен при высоких парциальных давлениях CO_2 – в цементной промышленности, металлургии, при обогащении биогаза. Перспективы его применения связаны с оптимизацией параметров процесса и созданием гибридных схем, сочетающих водную абсорбцию с мембранным разделением и адсорбцией.

Литература:

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 25.03.2026).

2. Ахметова В.Р., Смирнов О.В. Улавливание и хранение диоксида углерода-проблемы и перспективы // Башкирский химический журнал. – 2020. – Т. 27. – № 3. – С. 103–115.

3. Салахов И.И., Амансарыев А.Б., Горячев А.А., Черкасова Е.И. Обзор технологий улавливания, утилизации и хранения диоксида углерода. Материалы VII Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения». - 2023. – Т. 2. – С. 112–118.

4. Технологии улавливания диоксида углерода на ТЭС, его транспортировка, полезное использование и захоронение / [Г.А. Рябов; Перспективы применения установки улавливания углекислого газа на филиалах ПАО «Мосэнерго» / С.А. Петелин, А.Н. Вивчар, П.В. Бублей, В.А. Сердюков, О.Ю. Сигитов]. – 2022 – 32 с.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АНТИМИКРОБНОЙ
АКТИВНОСТИ СПИРТОВЫХ НАСТОЕК ЛЕКАРСТВЕННЫХ
РАСТЕНИЙ ПО ОТНОШЕНИЮ К ГРАМПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ
БАКТЕРИЯМ (НА ПРИМЕРЕ *BACILLUS SUBTILIS*)**

Бобкова А.И., студент

Научный руководитель Водчиц Н.В.

Полесский государственный университет, Беларусь

*В данной статье представлены результаты исследования антимикробной активности спиртовых настоек эвкалипта прутовидного, эхинацеи пурпурной, календулы лекарственной и зверобоя продырявленного в отношении *Bacillus subtilis* с использованием диско-диффузного метода. Среди исследуемых настоек наиболее выраженными антимикробными свойствами по отношению к *Bacillus subtilis* обладает эвкалипт прутовидный.*

*Ключевые слова: *Bacillus subtilis*, антимикробная активность, настойка эвкалипта, настойка эхинацеи, настойка календулы, настойка зверобоя, диско-диффузный метод.*

Введение. В условиях роста устойчивости микроорганизмов к антибиотикам актуален поиск природных альтернатив. Лекарственные растения представляют собой многокомпонентные системы биологически активных соединений (БАС), способных подавлять рост патогенов [1, с. 3, 36].

Научный интерес вызывает сравнительный анализ растений-антисептиков с различным химическим составом:

1. Зверобой продырявленный – растительный антибиотик за счет флавоноидов, дубильных веществ и гиперфорина, обладающего широким спектром действия [2].

2. Эхинацея пурпурная – источник полисахаридов, флавоноидов, оксикоричных кислот и эхинацеина, обеспечивающий антибактериальную активность [3].

3. Эвкалипт прутовидный – содержит эфирное масло с 1,8-цинеолом (эвкалиптол) и терпеноидные фенолоальдегиды, активные в отношении грамположительных бактерий [4, с. 18].

4. Календула лекарственная – благодаря каротиноидам и флавоноидам проявляет антимикробный и противовоспалительный эффекты [5, с. 9–10].

Для оценки антимикробного потенциала данных растений в качестве тест-объекта выбрана *Bacillus subtilis*. Грамположительная бактерия обладает высокой приспособляемостью и возможностью приобретать устойчивые формы, что делает ее удобной моделью для изучения растительных экстрактов [6].

Цель исследования – определить антимикробную активность настоек зверобоя продырявленного, эхинацеи пурпурной, эвкалипта прутовидного и календулы лекарственной по отношению к микроорганизму *Bacillus subtilis* (БИМ 182).

Материалы и методы. Исследования проводились на базе учебной микробиологической лаборатории УО «Полесский государственный университет». В качестве объектов исследования были выбраны 40 % спиртовые настойки: зверобоя продырявленного, приготовленного в лабораторных условиях, эхинацеи пурпурной (производитель – ЗАО «БелАсептик»), календулы лекарственной (производитель – ОАО «БЗМП»), эвкалипта прутовидного (производитель – РУП «Белмедпрепараты»). В качестве модельного микроорганизма был выбран штамм *Bacillus subtilis* БИМ 182 из Белорусской коллекции непатогенных микроорганизмов (Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск).

Спиртовой экстракт зверобоя получали путем измельчения лекарственного растительного сырья – 7,5 г, которое заливали 40 % этанолом в объеме 75 мл. Смесь настаивали в темном месте 14 дней. Настойку процеживали, отжимая растительное сырье [7]. Для определения антимикробной активности использовали диско-диффузный метод [8, с. 18–20]. В качестве питательной среды применяли агар Мюллера–Хинтона, который готовили согласно инструкции производителя. Контрольным препаратом для сравнения был полусинтетический антибиотик из группы пенициллинов – оксациллин, активный в отношении грамположительных микроорганизмов [11]. Опыт проводили в трех повторях. Статистический анализ данных проводили с помощью программы Excel, с использованием пакета анализа данных.

Результаты. При диско-диффузном методе антибактериальные препараты диффундируют из бумажных дисков в питательную среду, угнетая рост микроорганизмов, посеянных на поверхности агара Мюллера–Хинтона [8, с. 18–20]. Нами была проведена оценка степени выраженности биологической активности спиртовых настоев лекарственных растений на микроорганизм *Bacillus subtilis* (Таблица 1).

Настойка эвкалипта прутовидного продемонстрировала наилучший результат среди протестированных образцов. Во всех повторностях эксперимента диаметр зон задержки роста *B. Subtilis* составлял 1,55 см.

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что в составе эфирного масла эвкалипта прутовидного преобладают монотерпеновые и сесквитерпеновые производные. Доминирующим компонентом листьев является 1,8-цинеол (эвкалиптол) – соединение, относящееся к группе моноциклических монотерпенов. Спиртовые извлечения из листьев эвкалипта проявляют широкий спектр биологической активности, включая

бактерицидное, противовирусное, фунгицидное, противопротоzoйное и противовоспалительное действие [9].

Таблица 1 – Антимикробная активность спиртовых настоек лекарственных растений в отношении *Bacillus subtilis*

Настойки	Зона лизиса, мм
Зверобой продырявленный	–
Календула лекарственная	–
Календула лекарственная	–
Эхинацея прутевидная	1,23±0,066
Эвкалипт прутевидный	1,55±0,058
Антибиотик	
Оксациллин	1,93±0,035

Стабильность результатов продемонстрировала настойка эхинацеи пурпурной: во всех трех повторностях эксперимента диаметр зон задержки роста *B. Subtilis* был идентичен и составил 1,23 см.

Химический состав растения варьирует в зависимости от используемой части. Основные действующие вещества надземной части (цикориевая и кафтаровая кислоты) являются маркерами иммуностимулирующей активности. В корнях же локализован эхинакозид, которому приписывают прямое антимикробное действие. В условиях *in vitro* прямой антимикробный эффект чаще связывают с эхинакозидом и алкаламидами, однако содержание этих компонентов в настойке зависит от того, какая часть растения использовалась для ее приготовления. Таким образом, зафиксированная задержка роста может быть следствием суммарного действия фенольных кислот и других сопутствующих соединений [10]. Настойки зверобоя продырявленного и календулы лекарственной не проявили антимикробную активность по отношению к *B. Subtillis*. Наблюдалось полное отсутствие зон ингибирования роста на всех исследованных чашках Петри.

Полученные результаты могут быть обусловлены несколькими факторами. Во-первых, экстракция биологически активных соединений зверобоя (гиперфорина, гиперцина) и календулы (флавоноидов, каротиноидов) требует использования более концентрированного этанола, тогда как в настоящем исследовании применялась 40 % спиртовая настойка, что могло привести к недостаточному извлечению антимикробных компонентов. Во-вторых, спектр антибактериального действия данных растений в большей степени направлен на грамположительные кокки (стафилококки, стрептококки), в то время как *Bacillus subtilis*, являясь спорообразующей палочкой, может обладать меньшей чувствительностью к данным фитопрепаратам [2,5]. Максимальная антимикробная активность в отношении *B. Subtilis* была зафиксирована для оксациллина: диаметр зоны

задержки роста составил 1,93 см. Полученный результат указывает на высокую чувствительность тест-штамма к данному антибиотику. Бактерицидное действие препарата реализуется за счет ингибирования синтеза пептидогликана клеточной стенки бактерий [11].

Заключение. Высокой антимикробной активностью в отношении *B.subtilis* обладал спиртовой настой эвкалипта прутовидного. Настой эхинацеи пурпурной был менее эффективен. Настои зверобоя продырявленного и календулы на жизнеспособность бактерии не повлияли.

Литература:

1. Лекарственные и пищевые растения Дальнего Востока / В.Ю. Минхайдаров. – 2-е изд., – Уссурийск : Приморская ГСХА, 2019. – 366 с.
2. Налимова, Н.В. Содержание биологически активных веществ в зверобое продырявленном и фармакотерапевтическое действие препаратов на его основе (обзор) / Н. В. Налимова [и др.] // Acta Medica Eurasica. – 2019. – №3. – С. 24–36.
3. Куркин, В.А. Актуальные аспекты стандартизации видов лекарственного растительного сырья, включенных в Государственную фармакопею Российской Федерации XIII издания / В.А. Куркин [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – № 2(3). – С. 730–736.
4. Лапина, А.С. ВЭЖХ-анализ терпеноидного комплекса эвкалипта прутовидного / А.С. Лапина [и др.] // Аспирантский вестник Поволжья. – 2018. – № 1(2). – С. 17–21.
5. Башкирцева, Н.А. Календула – золотые цветки здоровья / Н. А. Башкирцева. – Санкт-Петербург : Крылов, 2008. – 123 с.
6. **Caulier, S.** Overview of the Antimicrobial Compounds Produced by Members of the *Bacillus subtilis* Group / S. Caulier [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2019. – Vol. 10. – P. 302 – 321.
7. Технология изготовления настоек различными методами / К.И. Гнездилова // Символ науки. – 2018. – №1(2). – С. 173–174.
8. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам / Н.А. Семина [и др.] ; Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. – Москва : 2004. – 91 с.
9. Халиуллина, А.С. Эвкалипт прутовидный: химический состав, биологическая активность, стандартизация / А. С. Халиуллина [и др.] // Химия растительного сырья. – 2024. – №1. – С. 5–30.
10. Immunotropic activity of Echinacea. Part I. History and chemical structure [Electronic resource] / B. J. Bałan [et al.] // Central European Journal of Immunology. – 2012. – Vol. 37, № 4. – P. 397–402.
11. VIDAL : справочник лекарственных средств [Электронный ресурс]. – Москва, 2026. – Режим доступа: <https://www.vidal.ru>. – Дата доступа: 19.03.2026.

ВЛИЯНИЕ ОТОЩАЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ НА СУШКУ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИКИ

Болибрух М.Д., Масловская Е.Л.

Научные руководители А.С. Булова², А.А. Лукьянова

УО «Национальный детский технопарк», Минск

В статье рассматривается применение отошающих примесей при производстве керамики, а также их влияние на сушку глиняных изделий. Приведен анализ применения песка, древесных опилок и строительного красителя в качестве отошающих примесей для снижения сырьевых потерь на производстве.

Ключевые слова: глина, отошающие примеси, песок, обжиг, сушка, керамика.

В строительной индустрии на производство керамики уходит большое количество материальных и энергетических ресурсов. Только на сушку и обжиг может приходиться до 70% энергозатрат предприятия. При этом часть готовой продукции уходит в брак из-за усадочных трещин, изменения геометрической формы и растрескивания при тепловой обработке. Для снижения возникновения дефектов при тепловом воздействии на глиняные изделия применяют введение в глиняную шихту отошающих примесей.

Отошающие примеси – добавки, которые вводятся в глину для уменьшения усадки, снижения пластичности при сушке и обжиге, а также предотвращения деформации и трещинообразования. Помимо этого, отошающие добавки способны улучшать сушильные свойства и ускоряют обжиг. В данной работе в качестве отошающих примесей рассматриваются песок, древесные опилки и строительный краситель.

Ход эксперимента

Для приготовления исследуемых образцов глину просеивают через сито для удаления примесей, добавляют к ней воду и перемешивают до консистенции крутого пластилина.

Следующим этапом является добавление в глинистое тесто отмеренного количества примесей (кварцевый песок, краситель и древесные опилки) и перемешивание его до однородной массы. Масса должна держать форму, не трескаться и не липнуть к рукам и рассыпаться при легком сжатии. Затем из теста формируют 3 вида образцов:

1. Шар ($d=1$ см);
2. Брусok ($2\times 1\times 1$ см);
3. Пластина ($5\times 2\times 0,5$ см).

Образцы помещаются в тёплое, сухое и хорошо проветриваемое место, избегая прямых солнечных лучей. Сушат естественным путём в течение 5

дней, периодически проверяя на наличие трещин и изменений в структуре (рис. 1).



Рисунок 1 – Образцы глиняных изделий

Готовые образцы подвергаются испытанию на скорость высыхания и визуальный анализ до и после обжига. Для проверки образцов на скорость сушки они помещаются в сушильный шкаф на сетчатый поддон, обеспечивающий доступ воздуха со всех сторон и нагреваются при температуре 60°C (рис. 2).



Рисунок 2 – Образцы после сушки

В процессе сушки проводится периодическое взвешивание и измерение массы образцов (первый час, через 4 часа, через 8 часов) с последующим

расчетом скорости сушки (W , г/ч). В результате проведения эксперимента скорость сушки шара составила:

- с песком: $W=0,3554$ г/ч;
- с красителем: $W=0,277$ г/ч;
- с опилками: $W=0,2746$ г/ч;
- чистый образец: $W=0,12$ г/ч.

Скорость сушки бруска:

- с песком: $W=0,2028$ г/ч;
- с красителем: $W=0,2052$ г/ч;
- с опилками: $W=0,2316$ г/ч;
- чистый образец: $W=0,1497$ г/ч.

Скорость сушки пластины:

- с песком: $W=0,2683$ г/ч;
- с красителем: $W=0,1462$ г/ч;
- с опилками: $W=0,2187$ г/ч;
- чистый образец: $W=0,1857$ г/ч.

Эксперимент показал, что брусок с древесными опилками терял массу быстрее из-за гигроскопичности древесины и пористой структуры, однако шар и пластина с песком сохли быстрее других образцов за счет низкой водопоглощаемости кварцевого песка. Образцы с красителем теряли массу медленнее других, однако все равно превышая показатели контрольного образца. Форма изделия также влияла на высыхание: пластины и шары теряли влагу быстрее круглых образцов.

Следовательно применение опилок, кварцевого песка и красителя в качестве отошающих примесей возможно. Применение рассмотренных примесей будет способствовать снижению энергетических затрат производства на высушивание керамических изделий, а также общего объема глины требуемого для их создания.

Литература:

1. Книгина Г.И., Вершинина Э.Н., Тацки Л.Н. Лабораторные работы по технологии строительной керамики и искусственных пористых заполнителей. – М.: Высшая школа. – 1977. – 208 с.

БИОФИЛЬТРАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА

Борисова П.С., бакалавр

Научные руководители Мальцева С.А., Григорьева И.Г.

*ГОУ ВО Казанский национальный технический университет
им. А.Н. Туполева КНИТУ-КАИ, Россия*

Для очистки сточных вод производства синтетического каучука предложен дисковый биофильтр с плоскостным носителем биомассы.

В результате расчёта для производительности $Q = 850 \text{ м}^3/\text{сут}$ определены основные параметры биофильтра: общая площадь поверхности дисков $F = 10\,500 \text{ м}^2$, количество дисков – 1500 шт., Ожидаемая эффективность очистки по БПК_{полн} составляет не менее 88,6%.

Ключевые слова: дисковый биофильтр, производительность биофильтра, эффективность очистки

Из анализа научно-технической литературы следует, что сточные воды производства синтетического каучука представляют собой сложную многокомпонентную смесь, содержащую токсичные вещества с высокой органической нагрузкой: стирол, бутадиен, акрилонитрил, фенолы, ПАВ, взвешенные вещества, соли и следы катализаторов.

На основе изучения отечественного и зарубежного опыта [1–2] показано, что биохимический метод с использованием аэробных процессов на прикреплённой биомассе является оптимальным для биodeградации растворённых органических загрязнений. Разработана технологическая схема биохимической очистки сточных вод, включающая предварительную механическую очистку для удаления взвешенных веществ перед биофильтрами и последующее отстаивание после них.

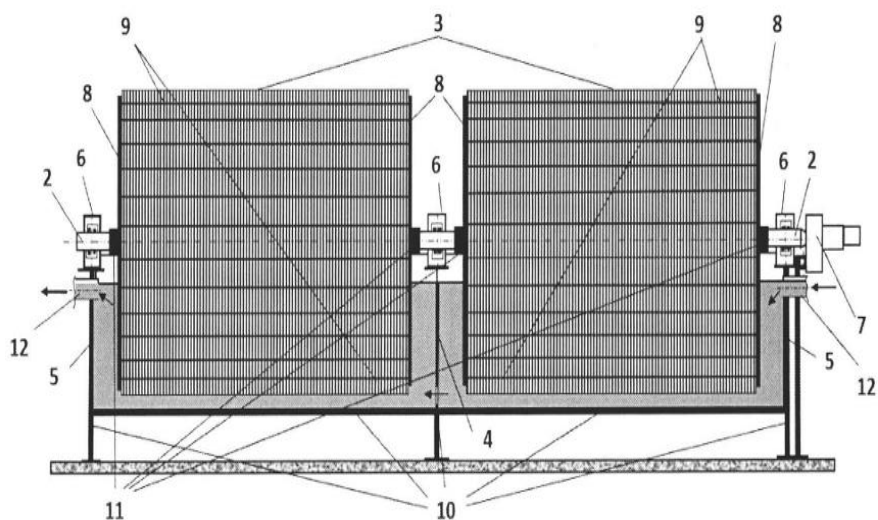
После механической очистки сточная вода поступает через насос в резервуар, который выполняет функцию усреднителя. В самом усреднителе размещена группа вращающихся на одном валу дисковых биофильтров. Сточная вода проходит через дисковый биофильтр, где загрязняющие вещества органической природы подвергаются биodeградации. Далее направляется на стадию фильтрования от отработанной биопленки. Очищенная вода направляется для повторного использования в технологический процесс.

Дисковый биофильтр обладает ключевыми преимуществами: устойчивость к колебаниям нагрузки, низкое энергопотребление (отсутствие затрат на принудительную аэрацию), компактность, меньшее образование избыточной биомассы и простота эксплуатации по сравнению с аэротенками.

Высокая концентрация микроорганизмов в биопленке до 10–60 кг сухой массы на метр кубический загрузки обеспечивает интенсификацию процессов минерализации загрязняющих веществ даже при колебаниях гидравлической и органической нагрузки; снижение биологического потребления кислорода (БПК) и форм азота прямо связано с толщиной биопленки и эффективностью массопереноса кислорода.

Эффективность работы пленочного биоценоза определяется комплексом факторов, включая температуру, кислотность среды, концентрацию растворенного кислорода, состав сточных вод, а также контроль роста биопленки с целью предотвращения её отслоения и ухудшения качества очистки [3–5].

Схема установки биологической очистки сточных вод на основе дисковых биофильтров представлена на рисунке 1.



1- резервуар с обрабатываемыми стоками; 2- приводной вал; 3 пакеты дисков; 4- поперечная перегородка; 5- торцевые стенки; 6- подшипниковые опоры; 7-мотор-редуктор; 8-лучевые направляющие; 9-стяжки; 10-поддерживающий каркас; 11- ступица; 12- патрубки.

Рисунок 1 – Принципиальная схема установки биологической очистки сточных вод на основе дисковых биофильтров

В результате расчёта для производительности $Q = 850 \text{ м}^3/\text{сут}$ определены основные параметры биофильтра: общая площадь поверхности дисков $F = 10\,500 \text{ м}^2$, количество дисков – 1500 шт., Ожидаемая эффективность очистки по БПК_{полн} составляет не менее 88,6%.

При комплексной оценке эффективности и безопасности предлагаемого решения показано, что основной экономический эффект заключается в снижении платежей за негативного воздействие на окружающую среду.

Литература:

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 41-2017 «Производство органических химических веществ». – М.: Бюро НДТ, 2017.

2. Hassani A. H., Borghei S. M., Samadyar H., Glianbari B., Utilization of moving bed biofilin reactor for industrial wastewater treatment containing ethylene glycol: kinetic and performance study. Environmental Technology 35, 2014, 499 – 507.

3. Гудков, А.Г. Биологическая очистка городских сточных вод / А.Г. Гудков. – Вологда: ВоГТУ, 2002. – 127с.

4. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика / Лихачев Н.И., Ларин И.И. и др.; Под ред. Самохина В.Н. – Москва: Стройиздат, 1981. – 639с.

5. Патент РФ № 2756789. Установка биологической очистки сточных вод на основе дисковых биофильтров / Иванов А.А., Петров С.И.; опубл. 20.10.2021.

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИГЕСТАТА

Бугаёва М.А., магистрант

Научный руководитель Кляусова Ю.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье рассматриваются основные способы получения и применения дигестата в сельском хозяйстве. Особое внимание уделяется экологизации системы удобрения.

Ключевые слова: дигестат, биоудобрения, компостирование, окружающая среда, азот, органическое вещество.

В последнее время во всем мире наблюдается рост спроса на растительную продукцию. Она является основным источником питательных веществ для человека и многих животных. Для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и восполнения недостатка макроэлементов, в почву ежегодно вносится около 200 млн тонн азота, фосфора и калия в составе минеральных удобрений, что негативно влияет на окружающую среду [1]. В первую очередь повышается кислотность почвы и изменяется видовой состав почвенных организмов, а также происходит загрязнение поверхностных и грунтовых вод.

В тоже время сельскохозяйственное производство имеет проблему с ежегодным скоплением значительных объемов органических отходов, которые могут быть переработаны в ценные удобрения [2].

Экологизация системы удобрения сельскохозяйственных культур является одним из основных способов снижения токсической нагрузки на почву и растения в аграрном секторе. Одним из наиболее эффективных способов переработки органических отходов производства является анаэробное сбраживание в биогазовых установках. В процессе сбраживания происходит разложение органики в бескислородной среде с образованием метана (биогаза) и побочного продукта (дигестата). Биогаз используется для производства энергии, а дигестат – в качестве удобрения.

Дигестат – является отличным органическим удобрением, которое богато макро- и микроэлементами. Физико-химические характеристики дигестата сильно варьируются в зависимости от природы и состава переработанных субстратов, а также от рабочих параметров биогазовых процессов.

Первоначально при переработки дигестат разделяют на твердую и жидкую фазы при помощи шнековых прессов или центрифуг. В последствии твердая фракция может быть непосредственно использована в качестве

биоудобрения в сельском хозяйстве, либо компостирована или высушена для промежуточного хранения и транспортировки.

В процессе компостирования аэробные микроорганизмы разлагают органический материал превращая его в компост – ценное органическое вещество, содержащее гуминовые вещества. Для создания более благоприятных условий аэрации во влажном дигестате необходимо добавление разрыхляющего субстрата (древесная щепа) или использование дождевых червей.

Высушенный дигестат реализуют в неизменном или в гранулированном виде, и используют в питомниках или для специальных систем выращивания, таких как производство грибов.

Для полной обработки жидкой фракции дигестата с целью извлечения питательных веществ могут использоваться мембранные технологии (нанофильтрация и ультрафильтрация с последующим обратным осмосом). Однако эти методы очень затратные.

Другой способ концентрирования дигестата – выпаривание с использованием избыточного тепла от когенерационной биогазовой установки. В данном процессе используются испарители с естественной и принудительной циркуляцией. При этом в теплообменнике масса нагревается выше температуры испарения, а затем удерживается в испарительном сосуде. Далее при помощи вибрационного сита и шнекового пресса удаляется твердая фаза для предотвращения засорения испарителя. На следующем этапе добавляют серную кислоту и углекислый газ и происходит отгонка. Добавление кислоты снижает pH до 4,5 и азот полностью переходит в аммонийную форму. Таким образом, практически весь азот остается в концентрате в процессе выпаривания. После стадии подкисления дигестат концентрируется с помощью трехступенчатой системы испарения под низким давлением [3].

По окончании анаэробного сбраживания дигестат содержит аммонийную форму азота (от 24 до 80% от общего азота) более легкодоступную для растений. Помимо этого, дигестат содержит также азот в органической форме, что выгодно с точки зрения долгосрочного действия удобрения. Доработанный дигестат может уменьшить производство синтетических азотных удобрений без ущерба для окружающей среды.

Также, дигестат содержит стабильные органические углеродные соединения (от 1 до 3%) с высокими гумификационными способностями, которые улучшают плодородие почвы и способствуют связыванию углерода. Доказано, что через 92 дня после внесения обработанного дигестата в почву сохраняется до 86% от общего объема органического углерода [4].

Внесение дигестата на сельскохозяйственные поля увеличивает содержание органического вещества (4% от общего объема удобрения) в

почве. Оно связывает ее частицы, создавая более пористые и стабильные агрегаты, что приводит к улучшению структуры почвы и влагоудерживающей способности. Улучшение структуры почвы способствует жизнедеятельности микроорганизмов и повышает аэрацию, что дополнительно благоприятствует росту и развитию растений. Кроме того, повышение влагоемкости также минимизирует сток воды и эрозию почвы, которые являются общими проблемами при традиционных методах ведения сельского хозяйства с массовым использованием синтетических удобрений. Высококачественное удобрение из дигестата способствует росту и развитию растений и улучшает структуру и плодородие почвы.

Литература:

1. Обзор отрасли минеральных удобрений в 2019-2021 гг. – https://eec.eaeunion.org/upload/iblock/5cf/OBZOR_udobreniya_2019_2021_gg..pdf (Дата обращения 15.01.2026).
2. Сайфутдинова, Р. Д. Исследование влияния раствора дигестата на основе куриного помета с мелассой на рост и развитие семян льна / Р. Д. Сайфутдинова, С. В. Степанова // Химия и инженерная экология – XXV: сб. тр. междунар. науч. конф. (школа молодых ученых), посвящ. науч. сотрудничеству России и дружеств. стран, а также деятельности Акад. Союза «Зеленого» развития Ассоциации техн. ун-тов России и Китая, 25–26 сен. 2025 г., г. Казань / КНИТУ – КАИ [и др.]; редкол.: Ю. А. Тунакова [и др.]. – Казань, 2025 – С. 157–159.
3. Drosig, B. Nutrient recovery by biogas digestate processing / B. Drosig, W. Fuchs, T. Al Seadi [et al.] // IEA Bioenergy. – https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2015/08/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web2.pdf (date of access: 17.01.2025).
4. Вклад биогазов в достижение целей в области устойчивого развития // Организация Объединенных Наций. – https://unece.org/sites/default/files/2025-01/ECE_ENERGY_GE.8_2025_4r.pdf (Дата обращения 18.01.2026).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ, ТЕРМИЧЕСКИХ И КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ФОРМОВОЧНОГО ПЕСКА В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Булынько М.А., магистрант

Научный руководитель Хрипович А.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассмотрена проблема накопления отработанных формовочных смесей в литейном производстве. Проведён сравнительный анализ механического, термического и комбинированного методов регенерации кварцевого песка. Описаны принципы процессов, их преимущества, недостатки и области применения. Показано, что выбор метода определяется типом связующего и требованиями к качеству регенерата.

Ключевые слова: литейное производство, регенерация песка, механическая регенерация, термическая регенерация, комбинированная регенерация, отработанная формовочная смесь, регенерат, холоднотвердеющие смеси.

Литьё в песчаные формы является одним из наиболее традиционных и широко используемых процессов в металлургии. Процесс включает уплотнение песка вокруг модели для создания формы, заливку расплавленного металла в полость, а затем разрушение формы после затвердевания для извлечения отливки. Благодаря своей простоте и экономичности, этот метод часто применяется в сельском хозяйстве, горнодобывающей промышленности, строительстве и общем машиностроении для крупных сложных деталей, изготавливаемых в малых и средних объемах.

Основной проблемой остаётся высокое потребление ресурсов по причине того, что для каждого цикла литья создаётся новая форма, которая подлежит утилизации после заливки металла. Связующие материалы дезактивируются при воздействии высокой температуры расплавленного металла, образуя на поверхности песчаных зёрен прочно или слабо связанные отложения, из-за чего песок становится непригодным для немедленного повторного использования [1]. Постоянное изъятие нового песка из природной среды ведёт к истощению ресурсов, а его захоронение – к значительным экономическим и экологическим издержкам.

Состав отработанного формовочного песка (ОФС) варьируется в зависимости от технологии. Традиционно он включает кварцевую основу, остатки глины (в случае сырых смесей), продукты пиролиза органических смол (фуран, фенол, уретан) и включения металлов. При захоронении эти компоненты, особенно тяжёлые металлы, могут мигрировать в почву и

грунтовые воды, накапливаться в экосистемах. В связи с этим утилизация ОФС является одной из серьёзных задач современной литейной промышленности [2].

В данной работе проведён сравнительный анализ основных методов регенерации: механического, термического и комбинированного.

Механическая регенерация является наиболее распространённым и экономически доступным способом подготовки отработанных формовочных смесей к повторному использованию. Принцип данного метода заключается в дезинтеграции – разрушении адгезионных связей между кварцевым зерном и остаточными плёнками связующего под действием ударных и истирающих нагрузок.

После выбивки отливок из форм отработанная смесь содержит крупные спекшиеся комья, фрагменты стержней и металлические включения (дробь, облой). На начальном этапе смесь подаётся на валковую дробилку, где происходит размалывание комьев до первичного состояния. Затем материал проходит через магнитную сепарацию, которая является обязательным элементом любой системы регенерации. Извлечённый металлический лом возвращается в плавильное производство.

На стадии основной оттирки происходит непосредственное удаление связующего с поверхности зёрен. Наибольшее распространение в современной практике получили пневматические регенераторы и ударно-центробежные установки.

В пневматических регенераторах частицы смеси разгоняются сжатым воздухом в вертикальной трубе и с высокой скоростью ударяются об отражательную плиту. Разрушение связей между кварцевым песком и связующим материалом происходит вследствие удара ускоренных частиц смеси об отбойный элемент, а также за счёт взаимодействия частиц в динамическом слое регенерируемого материала [3].

В ударно-центробежных установках материал подаётся на быстро вращающийся ротор с лопатками, откуда отбрасывается на неподвижную обечайку. При соударении и истирании происходит разрушение непрочных связей. Этот тип оборудования часто применяется для смесей на органических связующих, где требуется более интенсивное воздействие.

После оттирки смесь представляет собой полидисперсную систему, содержащую кондиционные зёрна песка и пылевидную фракцию – разрушенное связующее. В современных установках для сепарации используется противоточный воздушный поток, благодаря которому смесь подаётся снизу, тяжёлые зёрна песка оседают, а лёгкая пыль уносится в циклон или рукавный фильтр [4].

Механический метод регенерации отличается относительной дешевизной оборудования, низким энергопотреблением и отсутствием

необходимости в сушке материала. Данный метод характеризуется отсутствием выбросов продуктов сгорания, как при термическом обжиге, он прост в эксплуатации, и имеется возможность быстрого его включения в существующую технологическую цепочку. Механически регенерированный песок может использоваться для приготовления единой формовочной смеси без существенного снижения её свойств [4]. Однако, механическая обработка не способна полностью удалить прочные органические плёнки от синтетических смол, а также приводит к постепенному истиранию самих песчаных зёрен с накоплением пылевидной фракции. Песок выдерживает ограниченное количество циклов регенерации, после чего требует освежения большими добавками нового материала. Метод малоэффективен для смешанных потоков, содержащих одновременно глину и органику.

Термический метод регенерации нацелен на химическое разрушение и удаление органических компонентов связующих. Этот подход считается наиболее эффективным для восстановления песков, используемых в технологиях холоднотвердеемых смесей (ХТС), где остатки смолы могут привести к браку отливок по газовым дефектам.

Термическая регенерация основана на высокотемпературном окислении органических плёнок, покрывающих кварцевые зёрна. Процесс проводят в окислительной атмосфере с избытком кислорода воздуха при температурах 700-900 °С. Наиболее эффективным и распространённым оборудованием для термической регенерации являются печи с псевдоожиженным слоем.

Перед подачей в печь песок должен быть очищен от металлических включений магнитной сепарацией и крупных комьев дроблением. Некоторые системы включают начальную механическую оттирку для удаления основной массы бентонита (в случае смешанных потоков), чтобы снизить нагрузку на термическую стадию. Песок подаётся в реактор с кипящим слоем, где он разогревается до рабочей температуры за счёт сжигания природного газа в воздушном потоке, проходящем через слой. Во время пребывания материала в зоне высоких температур происходит полное выгорание органики. Раскалённый песок должен быть быстро охлаждён до температуры, пригодной для смесеприготовления. После охлаждения песок может содержать разрушенные мелкие частицы, которые удаляют с помощью воздушной сепарации.

Термическая регенерация характеризуется наивысшим качеством регенерата. Термически регенерированный песок по свойствам близок к свежему кварцевому песку и может выдерживать десятки циклов регенерации без существенной деградации, поскольку термическая обработка восстанавливает зерно до исходного состояния. Данный метод одинаково

эффективен для фурановых, фенольных, уретановых и любых других органических связующих.

Основные барьеры для широкого внедрения термической регенерации связаны с высокими капитальными затратами на оборудование и значительный расход топлива. Однако современные установки с рекуперацией тепла позволяют снизить энергопотребление. При перегреве или неравномерном нагреве на поверхности зёрен может образоваться легкоплавкий силикатный расплав, который при охлаждении образует из частиц крупные спекшиеся комья, которые необходимо дополнительно просеивать. После просеивания необходимо классифицировать и отделять мелкие фракции зерен. Для песчано-глинистых систем термический метод рекомендуется только в комбинации с предварительной механической оттиркой (удалением большей части глины).

Комбинированная регенерация является оптимальным решением для сложных смешанных потоков, образующихся на большинстве современных литейных заводов, где одновременно используются и песчано-глинистые формы, и стержни из ХТС

Комбинированная регенерация основана на последовательном применении механических и термических воздействий в определённом порядке. Наиболее эффективной для смешанных органическо-бентонитовых песков является трёхстадийная схема: механическая очистка – термическая обработка – механическая очистка [4].

В технологическом процессе термической регенерации отработанная смесь, содержащая глинистую составляющую и органические остатки от стержней, поступает на механическую обработку. В процессе данного метода происходит удаление основной массы глинистой составляющей и снижение влажности материала для подготовки к высокотемпературной обработке. Предварительно очищенный песок направляется в печь с псевдоожиженным слоем для нагревания. На этом этапе происходит полное выгорание органических остатков от стержневых смесей и дополнительное растрескивание остаточных глинистых корок, которые не были удалены механически. После термической обработки песок охлаждается и поступает на заключительный этап механического воздействия, где происходит окончательное удаление хрупких спекшихся глинистых остатков, выполняется интенсивное обеспыливание и контроль качества регенерата.

Термомеханический метод регенерации обеспечивает максимальную степень очистки песка, недостижимую для каждого из методов по отдельности, и позволяет возвращать в производство практически весь объём переработанного материала. Он универсален для любых типов смесей, а песок выдерживает многократные циклы использования без заметной деградации свойств. Однако метод требует высоких капитальных затрат на оборудование,

отличается повышенным энергопотреблением и значительными потерями песка на истирание. Его эксплуатация сложна и требует высокой квалификации персонала, а экономическая целесообразность достигается только при достаточно больших объёмах переработки.

Вывод. Выбор метода регенерации определяется типом используемого связующего и экономической целесообразностью. Для предприятий, работающих на песчано-глинистых смесях, экономически оправдано применение механической регенерации с развитой системой обеспыливания. Для производств, использующих сложные стержневые смеси на органических смолах, необходима термическая или комбинированная регенерация для обеспечения высокого качества регенерата. Внедрение регенерации позволяет сократить закупку свежего песка на 90-95% и минимизировать экологический ущерб от захоронения отходов.

Литература:

1. Khan M.M., Mahajani S.M., Jadhav G.N., Vishwakarma R., Malgaonkar V., Mandre S. Mechanical and thermal methods for reclamation of waste foundry sand // *Journal of Environmental Management*. – 2021. – Vol. 279. – Article number 111628. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030147972031553X> (дата обращения: 14.04.2026).
2. Дубровин В.К., Кулаков Б.А., Карпинский А.В., Дубровина А.В. Влияние оборотной формовочной смеси на качество отливок // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия»*. – 2014. – Т. 14, № 2. – С. 35–40.
3. Кукуй Д.М., Одиночко В.Ф., Кирилов И.В., Бусел А.В., Воробьёв В.В., Кореньюк Г.С. Исследование возможности регенерации формовочных песков из отвалных смесей литейного производства и использования отходов регенерации // *Литьё и металлургия*. – 2009. – № 3 (52). – С. 34–36.
4. Łucarz M. Thermal Regeneration of Spent Sand with Furfuryl Binder from an Ecological and Economic Point of View // *Materials*. – 2023. – Vol. 16, No. 22. – Article number 7102. – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/22/7102> (дата обращения: 14.04.2026).

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПРОБЛЕМ ПЕРЕРАБОТКИ КРУПНОТОННАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Булычев Е.Ф., Жданко М.Р., студенты

Научные руководители Макаревич Н.Ю., Зык Н.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье определены промышленные предприятия Республики Беларусь, имеющие наибольшее количество техногенных отходов. Проблема накопления промышленных отходов рассмотрена в научно-практическом разрезе решения экологических проблем горнодобывающей отрасли промышленного сектора: разработка технологий переработки накопившихся отходов в полезные продукты и избежание образования последующих, модернизация линий производства и ликвидация нанесенного ущерба окружающей среде. Предложены основные направления их переработки.

Ключевые слова: переработка отхода, химическая промышленность, экологическая проблема, техногенная нагрузка на окружающую среду, галитовые отходы, фосфогипс, горноперерабатывающая и горнодобывающая промышленности.

Научно-технический прогресс в области использования и переработки природных ресурсов находится в прямой зависимости от применяемых на промышленных комплексах технологий. В силу несовершенства данных технологических процессов назрела острая проблема накопления крупнотоннажных промышленных отходов и вопрос о рациональном использовании всего природного потенциала добываемого ресурса. Тем самым объясняя стремление экологически безопасно развивающегося мира к полному переходу на безотходные технологии производства материалов и продукции.

Статистика по использованию техногенных отходов в среднем по показателям за последнее десятилетие составляет в долях около 32 процентов (таблица).

Из данных таблицы [1] следует, что доля используемых техногенных отходов в среднем – 31,8 % от общего количества их образования, что требует нынешними реалиями увеличение данного процента и стремление к технологиям безотходного производства.

В соответствии с общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 021-2019 «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь», опасные отходы производства классифицируются: 1 класс опасности – чрезвычайно опасные; 2 класс опасности – высокоопасные; 3 класс опасности – умеренно опасные; 4 класс опасности – малоопасные.

Наиболее высоким уровнем образования промышленных отходов

Таблица – Данные по объемам образования отходов промышленных производств Республики Беларусь

год тонн/год		2015	2018	2019	2020	2022	2023	2024
Образование отходов производства	1000	49865	60723	60837	61183	39161	50404	55348
Использование отходов производства	1000	12 164	20 106	18 433	21 629	17 765	16 874	17 827
Доля использованных отходов производства*	%	24,4	33,1	30,3	35,4	45,4	33,5	32,2

**Доля использованных отходов производства в общей массе образовавшихся отходов производства*

является горнодобывающая и горнообрабатывающая отрасли ведущих предприятий страны, таких как ОАО «Беларуськалий» (галитовые твердые отвалы, глинисто-солевые шламы), РУПП «Гранит» (гранитные отсев, пыль), ОАО «Гомельский химический завод» (фосфогипс) и другие масштабные предприятия на территории страны (рисунок 1). Из диаграмм следует, что процент использования таких отходов гораздо ниже, чем темп его образования и накопления. Данные техногенные отходы имеют ряд особенностей, препятствующих использованию и переработке материалов производства.

Лидирующую позицию по складированию техногенного массива на территории Республики Беларусь является мировой бренд производства калийных удобрений ОАО «Беларуськалий». Ежегодно в отвалы отправляется порядка 15–20 млн т галитовых отходов и 1,8–2,0 млн т глинисто-солевых шламов. Отходы хранятся на открытых участках территории предприятий и занимают более 1,9 тыс. га земель. На данный момент в шламохранилищах накопилось более 1 млрд. т. отходов (твердые отходы с NaCl и в виде суспензий водные растворы солей). Во избежание нецелевого использования пахотнопригодных земельных единиц и большого количества рассолов, на каждом рудоуправление внедрена система высотного складирования отходов,

достигающая 150 м., что является фактором просадки в рельефе местности и изменении ландшафта.

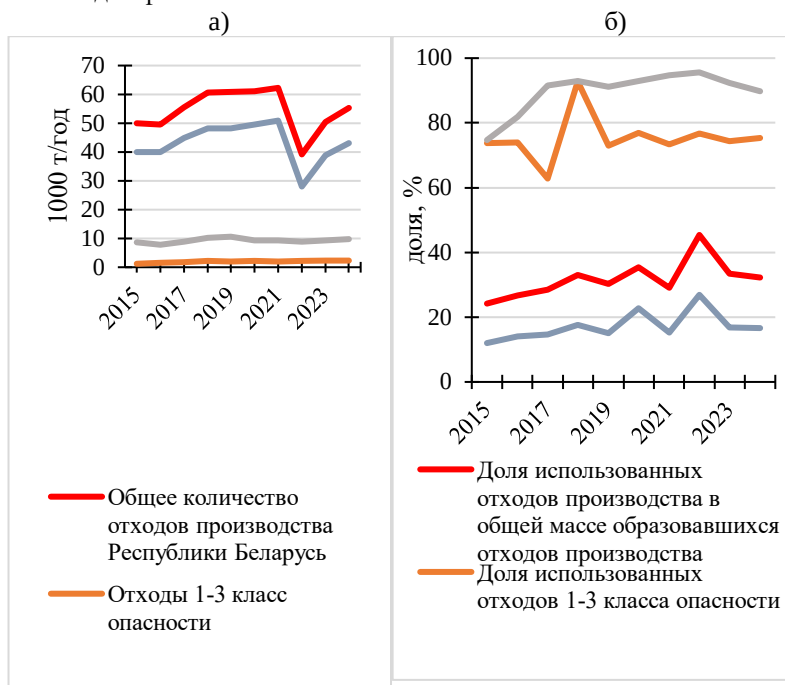


Рисунок 1 – Статистические данные по техногенным отходам Республики Беларусь за период 2015-2024 гг.:

а – образование отходов производств общее и по классам опасности 2015-2024 гг.

б – процентное соотношение использованных отходов производства в массе образовавшихся отходов производства общее и по классам опасности за 2015-2024 гг.

Сильвин (KCl) – основной продукт предприятия, производится многоступенным путем переработки (дробление, флотация, сгущение, измельчение, сушка и др.) добытой шахтным способом руды на территории Солигорского района на 6 рудоуправлениях и 4 обогатительных фабриках. Большой массив отходов образуется в силу высокого содержания KCl (94-96 % масс.) в готовой продукции, в отличие от используемого сырья, где полезного компонента в 3-4 раза меньше, порядка 25-30% в зависимости от горизонта. Разработка технологического процесса переработки

накопившегося отхода или модернизация производства линий рудоуправлений и обогащительных фабрик в безотходную технологию в настоящее время не представляется возможным. Исследования и научные открытия в данном направлении весьма актуальны и многозначительны.

Также к многотоннажному отходу, как Солигорские горы, относится белоснежные горы в Гомеле – терриконы фосфогипса. Данный отход относится к 4 классу опасности, получаемый в ходе технологической переработки апатита сернокислым способом, для производства фосфорной кислоты, комплексных минеральных удобрений (КМУ) и различной химической продукции. Хвостовой влажный остаток породы в виде бело-серого комкующегося порошка, в своем составе содержит редкоземельные элементы (РЗЭ), фтор, кислотные остатки и другие примеси, которые влияют на физико-химические свойства вяжущих из техногипса и ухудшает ряд параметров, таких как прочность, влагостойкость, время схватывания, плотность и другие.

Сильно усугубляется задача переработки накопившегося техногипса его радиоактивностью: порядка 570-580 Бк/кг, что в отличие от природного минерала гипса, в котором гораздо ниже этот показатель – 25-30 Бк/кг. Это обстоятельство препятствует широкому использованию как в строительной индустрии, так и в сельскохозяйственных целях в качестве мелиоранта.

Отвалы фосфогипса на территории предприятия занимают порядком 90 га под открытым небом в объемы более 25 млн. т. Тем самым создают техногенную нагрузку на атмосферные, литосферные, водные ресурсы, биоразнообразие и ландшафт региона. Также дестабилизируется обстановка в социальном секторе на фоне белых терриконов, высота которых достигает более 100 м. Для хранения фосфогипса в терриконах необходимо выделение новых земельных площадок, так как используется отход в малой доле (1-1,5%), остальная часть идет на долгосрочное хранение и накопление.

Направление переработки техногенных отходов с каждым годом привлекает больше внимания со стороны научного сектора. Повышенный спрос, и добыча некоторых видов природных ресурсов, способствует необходимости в разработке технологий привлечения в оборот альтернативных сырьевых баз техногенных отходов промышленных предприятий. Рассматривая фосфогипс, как аналог природного гипса с рядом примесей, следует придерживаться комплексного подхода (рисунок 2):

Первый этап переработки по извлечению РЗЭ из отхода в литературе представлен несколькими способами, основные из них:

1. минеральными кислотами;
2. конверсионным способом;
3. использование ионных смол;
4. биоготехнологическим выщелачиванием.

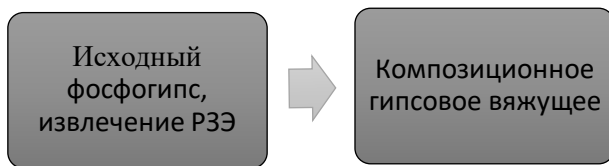


Рисунок 2 – Комплексный подход переработки фосфогипса

Несовершенство, энергозатратность и трудоемкость данных процессов не позволяет в полную мощность извлекать РЗЭ. Данное направление отражает интерес во многих научных трудах и по сей день, предлагая новые технологические схемы и методы.

Вторым этапом рассматривается остаток фосфогипса для разработки улучшенных составов композиционной смеси. Следует учитывать pH отхода, который имеет кислый характер (при извлечении РЗЭ используют чаще всего различные виды и смеси кислот), для повышения pH=7, предлагается добавлять $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 или альтернативный отход шлам химводоочистки (ХВО). В настоящее время в стране не внедрено технологий по масштабной переработке фосфогипса, следовательно, вопрос является актуальным и экологически острым.

Заключение. В некоторых странах (таких как Российская Федерация, Китайская Народная Республика, Канада и другие, в том числе и Республика Беларусь) горнодобывающая и горноперерабатывающая промышленности выступают одним из основных показателей в экономике государства. Минеральные удобрения и их комплексы являются стратегически важным продуктом в выращивании сельскохозяйственной продукции, повышая показатели урожайности и качества.

В связи с этим, высокий спрос внутренних и внешних рынков на данную категорию химической продукции увеличивает производственную мощность предприятий и находится в прямой зависимости с образованием техногенных отходов. Основная цель в научно-практическом разрезе решения экологических проблем промышленного сектора: разработка технологий переработки накопившихся отходов в полезные продукты и избежание образования последующих, модернизация линий производства и ликвидация нанесенного ущерба окружающей среде.

Литература:

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступ: <http://www.belstat.gov.by> – Дата доступа: 04.12.2024.

ПРИМЕНЕНИЕ CCUS-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Бурачевский Е.С., студент

Научный руководитель Зеленухо Е.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассмотрены технологии улавливания диоксида углерода (CO_2) как ключевое направление стратегии декарбонизации в условиях глобального изменения климата. Приведена структура парниковых выбросов в Республике Беларусь с выделением энергетического сектора в качестве основного источника эмиссии. Дана классификация основных типов процесса улавливания CO_2 . Описан метод химической абсорбции аминами.

Ключевые слова: CCUS-технологии, декарбонизация, парниковые газы, диоксид углерода, химическая абсорбция, улавливание углерода, дымовые газы.

Современный этап развития общества сопряжен с рядом экологических проблем, среди которых значимое место занимают климатические изменения. Международное сообщество, руководствуясь Парижским соглашением, направляет усилия для сдерживания роста средней глобальной температуры в пределах $1,5^\circ\text{C}$ относительно доиндустриальной эпохи. В этих условиях особую актуальность приобретает стратегия декарбонизации – комплекс мер по сокращению антропогенных выбросов парниковых газов.

Анализ структуры выбросов парниковых газов в Республике Беларусь за период 2010–2023 гг. по данным [1] показывает устойчивое доминирование двух секторов: энергетического (генерирует 62% выбросов) и аграрного (24%). Промышленность и система утилизации отходов вносят примерно равный вклад – по 7% каждый. Это распределение определяет главное направление декарбонизационной стратегии: обеспечение потребностей экономики и населения в энергоресурсах при снижении углеродоемкости валового внутреннего продукта. Приоритетное внимание уделяется сокращению выбросов диоксида углерода, образующегося при сжигании органического топлива, поскольку именно он вносит определяющий вклад в развитие парникового эффекта.

В настоящее время рассматриваются различные подходы к снижению роста концентрации диоксида углерода в атмосфере, а в долгосрочной перспективе – к ее уменьшению. Учитывая, что быстрый отказ от ископаемого топлива технологически и экономически затруднителен, значительный интерес представляет концепция улавливания, утилизации и хранения углерода (CCUS). Она позволяет снизить эмиссию при сохранении роли традиционной энергетики.

Существует четыре основных типа процесса улавливания CO_2 :

1. Улавливание после сжигания. Преимущественно реализуется через абсорбционные установки с аминowymi растворами. К этой же категории относятся адсорбция на твердых носителях, использование топливных элементов, включая элементы с расплавленным карбонатом натрия и калия, и мембранные методы разделения.

2. Кислородное сжигание. Топливо сжигается в смеси кислорода и рециркулируемого CO_2 . После удаления оксидов азота процесс выделения CO_2 упрощается до конденсации водяного пара из дымовых газов, состоящих преимущественно из углекислого газа и воды.

3. Улавливание перед сжиганием. Применяется на электростанциях с внутрицикловой газификацией. Диоксид углерода улавливается из потока топливного газа под давлением с использованием физических абсорбентов или адсорбции при переменном давлении.

4. Улавливание в химическом цикле. Этот подход основан на применении высокотемпературных циклов с оксидами металлов в качестве носителя кислорода [2].

Наибольшее распространение получил метод улавливания CO_2 после сжигания. Одним из его вариантов является химическая абсорбция, базирующаяся на протекании химической реакции (рис. 1).

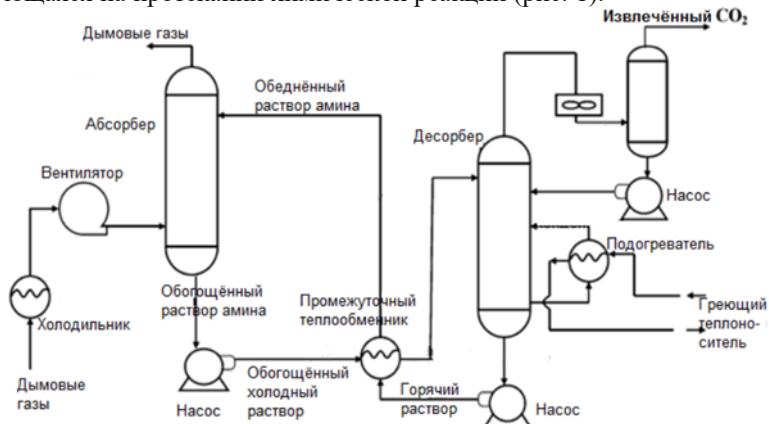


Рисунок 1 – Схема химической абсорбции CO_2

Для обеспечения эффективной работы абсорбера важным фактором является состав раствора. Например, для моноэтаноламина максимальная абсорбционная способность достигается при концентрации около 30%, однако на практике используют 8–13% растворы. Это связано с необходимостью снижения потерь реагента, которые возрастают при увеличении температуры и концентрации раствора.

Дымовой газ после экономайзера поступает в контактный холодильник, где он охлаждается для более легкой абсорбции, чем ниже температура – тем легче абсорбция. После этого охлажденный газ поступает в абсорбер снизу и поднимаются наверх. Холодный раствор амина подается и разбрызгивается в верхней части абсорбера и движется вниз. При этом протекает реакция поглощения CO_2 из дымовых газов. Далее обогащенный раствор амина насосом подается в десорбер. Греющим теплоносителем осуществляется нагрев раствора амина, в результате чего извлекаются растворенные в нем газы, а также пары воды и амина. Извлеченные в десорбере газы сепарируются и охлаждаются. Обедненный горячий раствор охлаждается, а затем направляется на рециркуляцию в абсорбер. Для экономии теплоты, подводимой для десорбции и охлаждения потока обедненного раствора амина, используется промежуточный теплообменник (регенератор), в котором теплота потока после десорбера передается обогащенному раствору, идущему в него.

Рассмотренный принцип работы абсорбционно-десорбционного контура с использованием регенерации тепла показывает, что данная технология позволяет эффективно извлекать CO_2 из дымовых газов, однако требует оптимизации рабочих параметров (концентрация абсорбента, температурные режимы) для минимизации энергозатрат и потерь реагента.

Таким образом, технологии улавливания углерода выступают в качестве возможного переходного решения, позволяющего сочетать надежность энергоснабжения с сокращением антропогенного воздействия на климат. Метод химической абсорбции, обладает высокой эффективностью извлечения диоксида углерода, однако сопряжен с рядом серьезных недостатков: высокой энергоемкостью процесса регенерации, рисками деградации сорбентов и коррозионным износом оборудования. Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на повышение энергоэффективности абсорбционных процессов, а также поиск альтернативных сорбентов с низкой токсичностью, повышенной стойкостью к примесям дымовых газов и сниженной коррозионной активностью.

Литература:

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 27.03.2026).

2. Рябов, Г.А. Технологии улавливания диоксида углерода на ТЭС, его транспортировка, полезное использование и захоронение / Г.А. Рябов и [др.]. // Экология, энергетика, энергосбережение.– М.: «Мосэнерго», 2022. – 36 с.

3. Филиппов, С.П. Возможности использования технологий улавливания и захоронения диоксида углерода при декарбонизации мировой экономики (обзор) / С.П. Филиппов, О.В. Жданев // Теплоэнергетика. 2022. № 9. С. 5-21.

БЕСПИЛОТНЫЕ СИСТЕМЫ КАК СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Василевич С.А., Гринюшко Д.Г., студенты

Научный руководитель Басов С.В.

Брестский государственный технический университет, Беларусь

В данной статье рассказывается о методах беспилотного мониторинга окружающей среды, посредством беспилотных летательных и подводных систем. А также приведены примеры использования этих систем в реальных условиях.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), дроны, мониторинг, экология.

Использование беспилотных систем для мониторинга окружающей среды является перспективным и быстроразвивающимся направлением в сфере экологии и природопользования. БПЛА или же “дроны” — это аппараты на радиоуправлении, оснащённые собственным элементом питания и способные передавать фото и видео данные по радиосвязи в пункты управления. Беспилотные системы имеют преимущество перед традиционными методами наблюдения. Они могут наблюдать за происходящим на расстоянии и без непосредственного присутствия человека. Это полезно для наблюдения за обширными территориями или опасными участками, так как не нужно рисковать жизнями людей и нанимать дорогостоящие вертолёты. Дроны оснащённые датчиками могут проводить анализ и брать образцы воздуха в верхних слоях атмосферы и делать замеры возле над промышленными предприятиями.

Примеры использования: Оценка масштабов лесных пожаров и более точное планирование восстановительных работ; Обнаружение незаконных вырубок леса и отслеживание следов браконьеров; Обнаружение несанкционированных(стихийных) свалок в лесополосах и оврагах; Качественное картографирование русел рек для более точного подсчёта паводковых рисков; БПЛА с тепловизорами могут находить скрытые очаги торфяных пожаров или тлеющие участки еще до того, как они перерастут в верховой пожар.

Основными проблемами для использования являются погодные условия и ограничение на время работы от аккумулятора. При сильном ветре и проливном дожде, использование летательных систем затруднено. Это может привести к потере дорогостоящего оборудования или пожарам.

Подводные беспилотные системы являются логичным продолжением летательных систем. Существует 2 типа таких систем: телеуправляемые и автономные подводные аппараты. Телеуправляемые аппараты управляются и передают информацию по кабелю, который подключён к судну на поверхности водоёма. Автономные аппараты работают в автономном режиме и передают информацию посредством акустики.

Они служат для подводного мониторинга водоёмов, рек, морей и океанов. Данные системы позволяют обнаруживать утечки из нефтяных трубопроводов, осуществлять забор проб воды на разных глубинах. Датчики, расположенные на подводном аппарате, могут фиксировать в реальном времени: pH воды, температуру, солёность и др. Аппараты, оснащённые сонарами, могут строить точные 3Д карты подводного рельефа и для поиска объектов на дне. Основными проблемами использования является давление и связь (для автономных систем). На больших глубинах давление воды очень большое, вследствие этого необходимо приобретать более прочные и дорогостоящие аппараты. Для автономных систем основной проблемой является связь, так как через толщу воды нельзя передавать фото и видео в реальном времени. Посмотреть данные сканирования возможно только после всплытия на поверхность. Так же отсутствие постоянной связи с пунктом управления, способствует накоплению ошибок в определении координат из-за неточности акустического метода ориентирования.

Беспилотные летательные и подводные системы являются эффективным инструментом экологического мониторинга, позволяя вести наблюдения за труднодоступными и опасными территориями без участия человека. Летательные аппараты успешно применяются для обнаружения пожаров, незаконных вырубок и свалок, в то время как подводные системы выявляют загрязнения воды и строят карты рельефа дна. Основными ограничениями для дронов остаются погодные условия, а для подводных аппаратов — проблемы связи и высокое давление на глубине.

Несмотря на эти трудности, развитие беспилотных технологий открывает новые возможности для безопасного и экономичного контроля за состоянием окружающей среды.

Литература:

1. Применение дронов в лесном хозяйстве [Электронный ресурс] - <https://dji-minsk.by/news/primenenie-dronov-v-lesnom-khozyaystve/> (Дата обращения 22.02.2026)
2. Чем беспилотники полезны экологии: опыт Геоскана [Электронный ресурс] - <https://www.geoscan.ru/ru/blog/chem-bespilotniki-polezny-ekologii-opyt-geoskana> (Дата обращения 22.02.2026)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ QR-КОДОВ И СОЗДАНИЕ ОБЩЕЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАПИСИ ОШИБОК И НАРУШЕНИЙ

Вершиловский В.А., аспирант

Научный руководитель Павловский А.И.

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

В статье рассматривается применение QR-кодов для оперативной фиксации производственных инцидентов и повышения уровня безопасности. На основе QR-кодов предлагается создание общей базы данных, которая обеспечивает централизованный сбор информации об ошибках и нарушениях, их последующий анализ и управление рисками.

Ключевые слова: QR-код, безопасность, карьер.

Добыча полезных ископаемых, осуществляемая как открытым, так и подземным способом, неизменно сопряжена с высоким уровнем профессиональных рисков для работников. Эксплуатация тяжёлой техники, постоянное шумовое воздействие, радиационное излучение, экстремальные температурные условия, ограниченная видимость и неблагоприятные климатические факторы, а также высокие темпы горных работ представляют собой комплекс серьёзных угроз для здоровья и жизни персонала.

Ключевым аспектом минимизации этих рисков является строгое соблюдение регламентов безопасности и разработка специализированных мер защиты. В данном контексте особую значимость приобретает использование передовых технических решений, включая электронные системы мониторинга, спутниковую связь и современные цифровые технологии. Внедрение этих инновационных инструментов позволяет существенно повысить уровень безопасности на горнодобывающих предприятиях, обеспечивая защиту здоровья и жизни работников.

Для повышения уровня безопасности, оптимизации контроля и предотвращения инцидентов целесообразно внедрение системы QR-кодов и централизованной базы данных. Данная система позволяет обеспечить высокую точность и оперативность фиксации инцидентов, а также повысить уровень ответственности сотрудников.

Каждый элемент инфраструктуры, транспортное средство, погрузочные зоны и участки с повышенными рисками должны быть оснащены уникальными QR-кодами. Учитывая специфические условия карьера, рекомендуется использовать пластины из нержавеющей стали или анодированного алюминия с лазерной гравировкой, которые обладают высокой устойчивостью к внешним воздействиям.

QR-коды должны быть размещены на следующих объектах:

- Техника: рекомендуется использовать 2-3 дублирующих QR-кода (на раме для инспектора, в кабине для машиниста и на кузове для визуальной идентификации).

- Инфраструктура: пикетные столбы вдоль железнодорожных путей, опоры линий электропередач и стационарные посты.

- Персональные средства защиты: каски сотрудников для мгновенной идентификации личности и проверки допусков.

Для работы с QR-кодами сотрудники используют специализированное мобильное приложение.

Процесс фиксации инцидентов осуществляется следующим образом:

1. Сотрудник сканирует QR-код объекта, на котором обнаружено нарушение.

2. Приложение автоматически загружает информацию об объекте (например, «Экскаватор №3»).

3. Сотрудник выбирает из списка категорию нарушения (например, «Несоблюдение габаритных размеров» или «Неисправность тормозной системы»).

4. При необходимости сотрудник может прикрепить фотографии или видеоматериалы, подтверждающие факт нарушения.

5. Сотрудник указывает свои ФИО и должность.

6. Приложение фиксирует точные GPS-координаты места нарушения.

7. Добавляется краткое описание ситуации.

8. Данные мгновенно отправляются в централизованную базу данных или сохраняются в памяти устройства.

Общая база данных представляет собой когнитивный центр всей системы, аккумулируя и структурируя разноплановую информацию, необходимую для эффективного функционирования и мониторинга процессов. В ее состав входят следующие ключевые элементы:

- Перечень всех маркированных объектов с детализированными характеристиками, обеспечивающими идентификацию и классификацию каждого элемента.

- Аналитическая информация о каждом зафиксированном инциденте, включающая временные, пространственные и причинно-следственные аспекты.

- Реестр пользователей системы с указанием их ролевых полномочий и уровня доступа, что позволяет осуществлять многоуровневую аутентификацию и авторизацию.

- Журнал действий, фиксирующий хронологию взаимодействий пользователей с системой, что способствует отслеживанию и анализу их активности.

- Механизм автоматической рассылки уведомлений о критических нарушениях ответственным лицам, обеспечивающий оперативную реакцию на потенциальные угрозы.

Для визуализации и локализации инцидентов используется тепловая карта, которая после сканирования и выявления нарушения маркирует соответствующую зону красным цветом. До момента подтверждения устранения нарушения путем повторного сканирования QR-кода инспектором, зона на тепловой карте остается в состоянии "красного", сигнализируя о сохраняющейся проблеме.

Преимущества внедрения данной системы включают:

1. Оперативное реагирование на незначительные отклонения, предотвращающее их эскалацию в серьезные аварии и инциденты.

2. Предоставление руководству актуальной и детализированной информации о состоянии безопасности, что способствует принятию обоснованных и взвешенных управленческих решений.

3. Выявление пробелов в обучении и дисциплине на основе анализа нарушений, что позволяет своевременно корректировать программы подготовки и повышать уровень профессионализма сотрудников.

4. Снижение частоты аварий и простоев техники, что приводит к минимизации экономических потерь и оптимизации производственных процессов.

5. Обеспечение соблюдения законодательных требований в области охраны труда и промышленной безопасности, что повышает уровень правовой и социальной ответственности организации.

Таким образом, интеграция и использование данной системы способствует созданию устойчивой и безопасной производственной среды, обеспечивая комплексный подход к мониторингу, анализу и управлению рисками.

Литература:

1. Денисова А. Р., Спасов Д. П., Галяутдинова А. Р., Использование QR-кода в промышленных целях. Лин-технологии: Бережливое производство №5, 2019.

2. Волк В. К. Базы данных. Проектирование, программирование, управление и администрирование: учебник / В. К. Волк. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 244 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). — Текст: непосредственный.

3. Левенцов В.А., Левенцов А.Н. Бережливое производство и проблемы его цифровизации // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 1. С. 20-25.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ГРУНТОВ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА**Вечера К.Г., студент****Научные руководители Евсеева Е.А., Кречко Н.А.****Белорусский национальный технический университет, Беларусь**

В аспекте рационального природопользования рассмотрена возможность утилизации многотоннажных отходов (фосфогипса, отходов гранитного производства и переработки, отходов химводоочистки) в строительстве дорог.

Ключевые слова: утилизация, строительство дороги, отходы производства

Техногенное загрязнение окружающей среды определяется в значительной мере накоплением отходов производства. Утилизация промышленных отходов позволяет эффективно снизить нагрузку на окружающую среду. В Республике Беларусь ежегодно накапливаются многотоннажные отходы: фосфогипс (Гомельский химический завод г. Гомель), гранитная пыль и другие отходы производства и переработки гранита (РУУП «Гранит» г. Микашевичи), отходы химводоочистки (ХВО) (котельные, ТЭЦ).

Состояние дорожного полотна является одним из важнейших показателей возможностей эксплуатации и логистического использования дорог. Автомобильные дороги массового использования с покрытием грунтом составляют примерно 13-14% дорог в Республике Беларусь. Логистическое назначение их как правило внутренние и технические перевозки. На прочность и долговечность дорожного полотна в первую очередь влияет состояние грунтов, относящихся к категории слабых, транспортные нагрузки, имеющие тенденцию к нарастанию, природные и климатические условия, обработка противогололедными реагентами, способствующими дополнительному разрушению полотна. Перечисленные факторы определяют необходимость усиления дорожного покрытия.

Для продления долговечности и повышения эксплуатационных показателей грунтовых покрытий используется технология стабилизации грунтов, которая выполняется механическим и химическим методами. Стабилизированные грунты можно применять на дорогах 1-2 категорий в качестве нижних слоев оснований [1]. При этом применение местного грунта понижает себестоимость в среднем на 20%.

Наряду с этим фосфогипс, гранитные отсеивы, отходы ХВО могут быть переработаны в композиционные материалы с повышенными механическими показателями с использованием местных грунтов. Механический метод усиления дорожного полотна заключается в подготовке определенного

состава грунтовой смеси и уплотнении грунта после изготовления. Между частицами гравия и песка дорожного покрытия образуются пустоты различного размера и количества.

Для увеличения плотности смеси, уменьшения количества и размера пор целесообразно добавлять в грунтовые дорожные покрытия пылевые фракции, фракции, сопоставимые с размерами заполнителей при строительстве дорог. При этом эффективно уменьшается количество и размер пор. Применение промышленных отходов обуславливает возможность частичного решения проблемы утилизации отходов:

- фосфогипса в составе гипсо- пуццолановых вяжущих с одновременным улучшением реологических свойств грунтовых покрытий во время укладки и повышению прочностных свойств дорог во время эксплуатации;

- отходов производства и обработки гранита (наибольшая эффективность прогнозируется при использовании гранитной пыли за счет увеличения поверхности взаимодействия), обладающих пуццолановой активностью в композиционных материалах, выражающейся в повышении значениях прочности, что может положительно сказываться на эффективной эксплуатации при повышении нагрузки на ось;

- отходов хво, обладающих вяжущими свойствами в композиционных материалах

Также положительно на упрочнение дорожного покрытия влияет введение в состав грунтовой смеси песка, гравия, сломанных агрегатов и шлаков, золы уноса. Изготовление смесей покрытия осуществляется на месте проведения дорожных работ или в специальных смесителях. После укладки слой смеси уплотняется.

Также необходимо учитывать влажность смеси. Обычно после изготовления смесь обладает оптимальной влажностью, что целесообразно использовать в техническом процессе.

В перспективе предполагается рассмотреть применение цемента, извести (отходы хво), отходов производства фосфогипса, гранита, органических вяжущих, синтетических смол, различных поверхностно-активных веществ при строительстве дорог.

Для стабилизации грунтов используются специализированные машины - ресайклеры [2], состоящий в основной части из фрезерного барабана с большим количеством резцов из твердого сплава. Барабан при вращении измельчает слой порошкообразного стабилизатора, помещенного перед ресайклером (рисунок 1). Ресайклер при однократном проходе гомогенизирует стабилизатор с измельченным грунтовым покрытием, с последующим укатыванием дорожным катком.

Эффективно проводить стабилизацию грунта непосредственно на месте на глубину до 50 см за один рабочий проход с большой точностью дозировки вяжущих материалов.

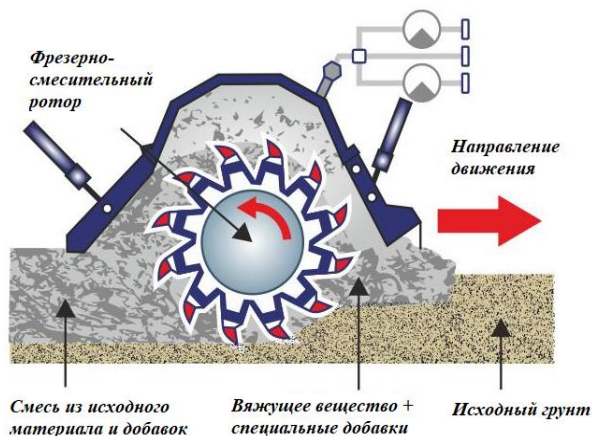


Рисунок 1 — Схема рабочего органа ресайклера

Применение отходов производства в качестве стабилизирующих добавок, позволяет значительно упростить и ускорить процесс выполнения работ, сократить стоимость и сроки строительства и одновременно обеспечить получение оснований и покрытий с повышенными прочностью, водостойкостью, более длительным сроком сохранения их несущей способности и ровности.

Литература

1. ТКП 028-2006. Автомобильные дороги. Основания из материалов, укрепленных неорганическими вяжущими. Правила устройства. – Минск: М-во транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, 2006. – 79 с.
2. Инновационные технологии в дорожном строительстве [Электронныйресурc]:<https://autosila24.ru/dorozhnoe-hozyaistvo/tehnologii/81839-innovatsionnye-tehnologii-v-dorozhnom-stroitelstve> - Дата доступа: 04.01.2021.

МОНИТОРИНГ И ОЧИСТКА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ТОННЕЛЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА

Вильчевский М.В., студент

Научный руководитель Малькевич Н.Г.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье обоснована необходимость перехода к мониторингу и очистке от ультрадисперсных частиц (PM0.1) в тоннелях метрополитена. Предложена система очистки электрофильтрации с регенерацией, адаптированная к условиям эксплуатации в Республике Беларусь.

Ключевые слова: транспортные тоннели, метрополитен, качество воздуха, ультрадисперсные частицы, электрофильтрация, экологическая безопасность

Транспорт играет уникальную роль, потому что связывает все сферы материального производства в единую систему хозяйственной деятельности. Развитая транспортная сеть имеет несомненные и неоспоримые преимущества. Но функционирование транспортных тоннелей сопровождается отрицательным воздействием транспорта на окружающую среду и на людей. Неблагоприятные экологические факторы, обусловленные функционированием транспорта воздействуют не только на пассажиров, но и на людей, которые находятся вне транспортных средств.

Современные системы мониторинга качества воздуха в транспортных тоннелях (метрополитенах, автодорожных тоннелях) в Республике Беларусь ориентированы преимущественно на контроль мельчайших твердых частиц диаметром 2 мкм (PM2.5) и 10 мкм (PM10) и в соответствии с Санитарными нормами и правилами и техническими кодексами установившейся практики. Эти показатели регламентированы и доступны для измерения стандартными оптическими счетчиками частиц. Кроме того, существующие системы мониторинга имеют нижний порог детекции 0,3 – 0,5 мкм, что делает ультрадисперсную фракцию «невидимой» для операторов.

В замкнутом пространстве тоннелей процессы износа колесных пар, рельсов, тормозных колодок и контактного провода генерируют значительное количество металлосодержащих наночастиц (железо, медь, марганец, хром). В результате пассажиры и персонал метрополитенов подвергаются хроническому воздействию твердых наночастиц. Для Республики Беларусь, где Минский метрополитен ежедневно перевозит более 800 тысяч пассажиров, а также ведется строительство новых линий, проблема оценки и снижения воздействия ультрадисперсных частиц приобретает особую актуальность.

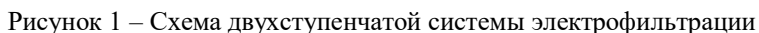
Данные, накопленные в результате отечественных и зарубежных эпидемиологических исследований, свидетельствуют о том, что наибольшую опасность для здоровья человека представляют ультрадисперсные частицы диаметром менее 0,1 мкм (100 нм). Согласно исследованиям, проведенным в Минском метрополитене, концентрация взвешенных частиц превышает в 3 – 5 раз фоновые концентрации на поверхности.

В связи с вышеизложенным необходимо осуществлять мероприятия, которые позволят снизить и ослабить негативные воздействия на человека. Для этого существуют системы вентиляции и фильтрации, которые используются в транспортных тоннелях и эффективны для частиц размером более 1 мкм. Это фильтры высокоэффективной очистки, которые задерживают до 99,95 % частиц размером 0,3 мкм, однако их эффективность в отношении частиц размером 10 – 50 нм (размер частиц износа рельсов) снижается до 60 – 80 % из-за эффекта диффузионного проскока.

Основным направлением охраны воздуха от загрязняющих веществ должна быть разработка малоотходных и безотходных технологий. Наиболее необходимым решением указанной проблемы является разработка эффективных систем очистки, улавливания твердых частиц.

В качестве мероприятия, способного кардинально снизить загрязнение воздуха в транспортных тоннелях, предложена двухступенчатая электрофильтрация с последующей сорбционной доочисткой. В отличие от электрофильтров, где частицы заряжаются и осаждаются на одной пластине, двухступенчатая схема разделяет процессы зарядки и осаждения. Первая ступень — ионизатор (корона) заряжает частицы, вторая — осадительная камера с чередующимися пластинами улавливает их под действием электростатического поля. Такая система позволяет эффективно (95 %) улавливать частицы в диапазоне 0,01 – 1 мкм при низком аэродинамическом сопротивлении (менее 50 Па), что особенно важно для систем вентиляции тоннелей.

После электрофильтрации в воздухе остаются газообразные загрязнители (формальдегид, полициклические ароматические углеводороды, сорбированные на поверхности наночастиц). Для их удаления предложена установка сорбционных патронов с активированным углем, модифицированным наночастицами оксидов металлов: титана и марганца. Такая модификация позволяет обеспечить не только адсорбцию, но и каталитическое разложение органических соединений при комнатной температуре.



- снижение выбросов тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn, Mn) в городскую среду на 90% за счет улавливания и переработки осадка;

– уменьшение техногенного теплового загрязнения за счет снижения необходимости в принудительной вентиляции (электрофильтры имеют низкое аэродинамическое сопротивление);

– снижение рисков респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний у пассажиров и персонала, что соответствует целям Государственной программы «Здоровье народа и демографическая безопасность»

Для эффективного управления системой очистки необходимо дополнить существующие сети сенсоров системы мониторинга счетчиками частиц (CPC) или диффузионными зарядными сенсорами (DCS), позволяющими измерять концентрацию частиц в диапазоне 0,01 – 1 мкм в реальном времени. В Республике Беларусь имеется опыт применения подобного оборудования в научных исследованиях (Институт природопользования НАН Беларуси), что создает базу для его промышленного внедрения.

Литература:

1. Санитарные нормы и правила «Требования к атмосферному воздуху населенных пунктов и местам отдыха населения». – Утверждены постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30.12.2020 № 143. – [Государственное производственное проектно-строительное унитарное](#) (Дата обращения 20.03.2026).

2. Санитарные нормы и правила 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – М.: Роспотребнадзор, 2021. – [Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 2 — Редакция от 24.12.2025 — Контур.Норматив](#) (Дата обращения 20.03.2026).

3. Шандала, М.Г., Новиков, С.М. Оценка риска влияния взвешенных частиц (PM₁₀, PM_{2.5}) на здоровье населения // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 4. – С. 340–345.

4. Лысенко, С.А., Коваленко, А.Д. Оценка качества воздуха на станциях Минского метрополитена // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2023. – № 2. – С. 45–52.

5. Белоусов, В.В., Семенов, А.А. Двухступенчатые электрофильтры для очистки воздуха в системах вентиляции // Вентиляция, отопление, кондиционирование. – 2022. – № 8. – С. 12–18.

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ: ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ, ИННОВАЦИИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Виноградова К. Д., студентка

Научный руководитель Морзак Г. И.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

Современные средства индивидуальной защиты необходимо рассматривать как инструменты для повышения комфорта и работоспособности работников. Рассмотренные средства защиты представляют комплексную систему защиты на производстве и при чрезвычайных ситуациях. Они выполняют определенную функцию, их сочетание позволяет минимизировать риски для здоровья и жизни человека.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты органов дыхания, средства индивидуальной защиты кожи, средства индивидуальной защиты глаз и лица, средства индивидуальной защиты головы, средства индивидуальной защиты слуха.

Для защиты человека от факторов, которые могут пагубно сказаться на его здоровье, используются средства индивидуальной защиты (СИЗ). К таким опасным факторам относятся шумы, вибрации, риск получения травм, ожогов, отравлений и радиационное воздействие. СИЗ представляют собой устройства, оборудование, одежда, защитные каски, обувь и различные аксессуары. Они могут применяться как в повседневной жизни, так и в производстве. Средства индивидуальной защиты подразделяются на средства индивидуальной защиты органов дыхания, средства индивидуальной защиты кожи, средства индивидуальной защиты глаз и лица, средства индивидуальной защиты головы, средства индивидуальной защиты слуха, защитная одежда и обувь, средства индивидуальной защиты от падения с высоты [1].

Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) предназначены для работы в условиях вероятных производственных аварий, пожаров или при повышенном содержании пыли и смога. Основное их предназначение - предотвращения попадания пыли, газов и других химических веществ в дыхательные пути.

Для эффективного использования СИЗОД необходимо учитывать следующие критерии: принцип работы, метод подачи воздуха, условия использования, целевое назначение и индивидуальное соответствие форме лица [2]. Полная классификация СИЗОД представлена на рисунке. По принципу работы выделяют: изолирующие и фильтрующие средства защиты органов дыхания (таблица 1). По способу подачи воздуха СИЗОД подразделяют на шланговые и автономные. Шланговые СИЗОД состоят из маски, капюшона, шлема или защитного костюма, исключаящих доступ окружающего воздуха. Они применяются в условиях, где необходим чистый

воздух (абразивная обработка, покраска). Автономные содержат баллон с чистым воздухом или кислородом, который переносит пользователь. Модели бывают с открытым контуром дыхания (выдыхаемый воздух выходит наружу) и закрытым (воздух проходит через абсорбент). Срок их работы ограничен объемом дыхательной смеси в баллоне и может достигать 4 часа. Такие СИЗОД применяются в спасательных работах в шахтах и в условиях низкого содержания кислорода.

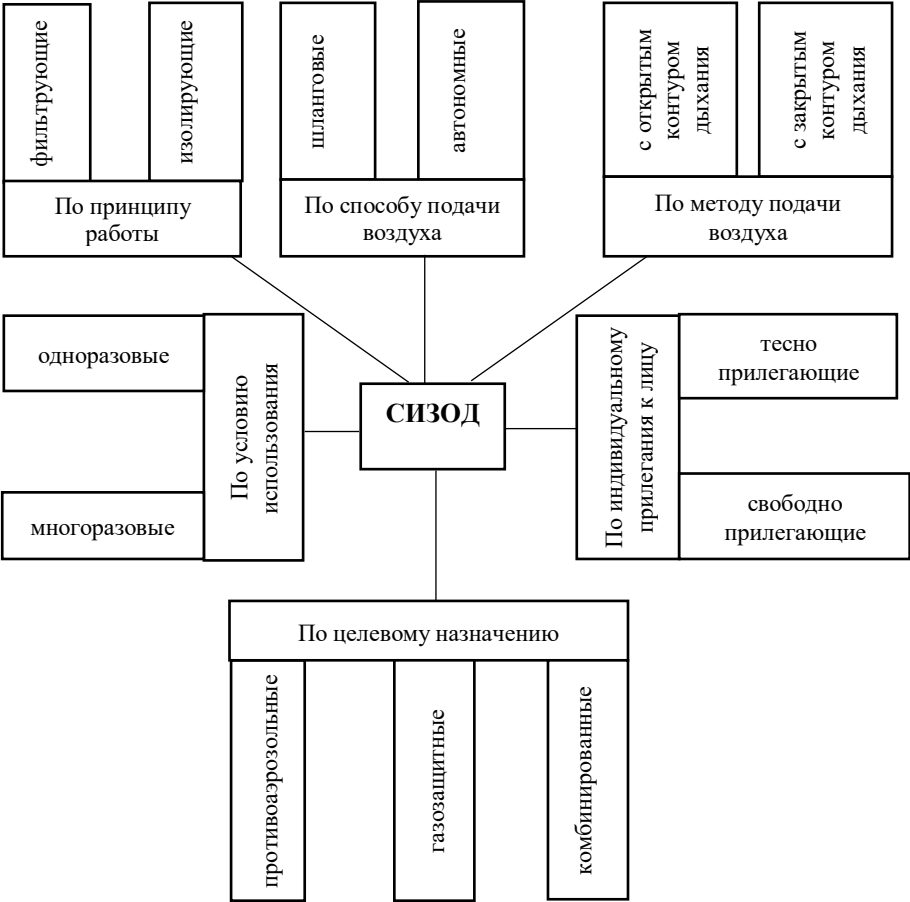


Рисунок - Классификация средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД)

Таблица 1 — Сравнительная характеристика фильтрующих и изолирующих СИЗОД

Параметр	Фильтрующие	Изолирующие
Функционирование	Зависит от условий окружающей среды	Не зависит от условий окружающей среды
Условия действия	Уровень кислорода не ниже 18%, концентрация вредных веществ не превышает допустимую норму, отсутствие токсичных веществ в воздухе	Неопределенные и потенциально опасные вещества в воздухе, отсутствие условий для фильтрации, уровень кислорода ниже 17%
Время работы	Ограничен сроком службы фильтра	От 20 минут до двух часов
Применение	В зависимости от условий производства	Защита от опасной атмосферы
Примеры	Респираторы, противогазы без использования баллонов и шлангов, маски и полумаски с фильтрами	Автономные противогазы с баллонами, противогазы со шлангом

Противоаэрозольные СИЗОД защищают от дыма, аэрозолей и токсичных туманов с помощью фильтров. Газозащитные защищают от газов и паров (кислот, органических соединений, аммиака, паров ртути) за счет адсорбции. Комбинированные обеспечивают защиту от всех видов загрязнения.

Средства индивидуальной защиты кожи (СИЗК) предназначены для изоляции человека от радиоактивной пыли, химически опасных веществ и защиты от ожогов. Они применяются на промышленных предприятиях и в чрезвычайных ситуациях. Выделяют два типа СИЗК- фильтрующие и изолирующие. Действие СИЗК фильтрующего типа основывается на обезвреживании аэрозолей или опасных паров при прохождении их через слой белья и обмундирования. Изолирующие СИЗК предназначены для полной изоляции человека от окружающей среды. Оба типа СИЗК состоят из куртки с капюшоном, комбинезона, плаща, перчаток и чулок. Простейшие средства индивидуальной защиты кожи можно найти среди обычной бытовой одежды. Главным критерием является наличие плотных, прорезиненных тканей.

Средства индивидуальной защиты глаз и лица являются одними из самых востребованных, поскольку органы зрения особенно уязвимы к воздействиям. Современные защитные очки изготавливают из высокопрочного поликарбоната, обладающего высокой ударпрочностью, легкостью и прозрачностью. Важной особенностью современных моделей

является наличие антизапотевающего покрытия и защиты от УФ. Инновационные разработки в этой области включают интеграцию защитных очков с технологией дополненной реальности (AR). Это позволяет отображать инструкции, карты, а также предупреждения об опасности, что повышает безопасность работников, особенно при выполнении опасных работ. Защитные очки нашли широкое применение в металлургии, а также в химической промышленности.

Средства индивидуальной защиты головы представляют собой каски для защиты от падающих предметов и ударов. Современные каски изготавливают из прочных полимеров, таких как ABS-пластик, который обеспечивает ударопрочность, устойчивость к высоким и низким температурам, а также имеет малый вес, что снижает нагрузку на шею при длительном ношении. Каски оснащены системами амортизации, устойчивыми к ударам. Некоторые модели имеют встроенные датчики для мониторинга ударов и температуры, позволяющие отслеживать воздействия на каску и состояние работника для предотвращения травм и быстрого реагирования.

Средства индивидуальной защиты слуха служат для снижения уровня шума до допустимых значений. Постоянное воздействие шума может привести к постепенной потере слуха, а в тяжёлых случаях — к полной глухоте. Существует два вида средств индивидуальной защиты слуха: наушники и вкладыши. Наушники полностью закрывают ухо, обеспечивая надежную защиту от шума. Они могут быть оснащены системой активного шумоподавления. Вкладыши (беруши) — это компактное и легкое средство, которое вставляется в ушной канал. Одноразовые беруши из пены с эффектом памяти обеспечивают комфортное ношение при длительном использовании, но не подходят для работ с высоким уровнем шума [3]. Выбор средств защиты слуха зависит от уровня шума (таблица 2).

Защитная одежда и обувь предназначены для защиты от механических и температурных воздействий. Огнестойкие комбинезоны, антистатическая одежда и костюмы с защитой от химических воздействий изготавливают из современных высокотехнологичных материалов, таких как Nomex или Gore-Tex. Они обеспечивают долговечность, комфорт и надежную защиту. Защитная обувь оснащена композитными носками, устойчивыми к ударам до 200 Дж, и антипрокольными стельками, что соответствует высокому классу защиты. Некоторые модели обуви имеют встроенные датчики для отслеживания усталости стопы, что позволяет контролировать состояние работника и предотвращать переутомление.

Средства индивидуальной защиты от падения с высоты необходимы для обеспечения безопасности работников, имеющих высокий риск падения. Они являются обязательным элементом экипировки в строительстве, при монтажных работах, обслуживании вышек, а также в скалолазании и

альпинизме. Страховочные системы включают привязи, тросы и анкерные устройства. Они должны соответствовать стандарту EN 361 и оснащаться амортизаторами рывка [4]. Новые модели включают системы автоматического отключения при обнаружении падения.

Таблица 2- Рекомендуемые средства защиты слуха

Уровень шума	Рекомендации
До 85 дБ	Краткосрочное воздействие безопасно, при длительном воздействии рекомендуется использовать минимальные средства защиты (вкладыши).
От 85 до 100 дБ	Опасен для человека, необходимо использовать средства защиты слуха (наушники или качественные вкладыши с достаточной степенью защиты)
Выше 100 дБ	Требуется использование наушников с активным шумоподавлением

Интеграция технологий, таких как датчики мониторинга ударов и температуры, системы активного шумоподавления, датчики физиологического состояния и дополненная реальность, делает СИЗ еще более эффективными, открывая новые горизонты для безопасности. Эти инновации позволяют не только защищать работника, но и активно отслеживать его состояние, прогнозировать риски и предотвращать травмы и несчастные случаи. Инвестиции в качественные современные СИЗ являются важнейшим вложением в сохранение жизни и здоровья человека, снижение производственного травматизма и повышение общей эффективности производства.

Литература

1.Виды, эффективность и применение СИЗОД. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://novorossiysk.avangard-sp.ru/news/expertise/sovremennye-siz-organov-dykhaniya-vidy-effektivnost-i-primenenie-v-razlichnykh-usloviyakh/> .- Дата доступа: 21.03.2026

2.Эффективное использование СИЗ: Обзор современных средств индивидуальной защиты, их правильный выбор и применение. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://acesafety.ru/blog/effektivnoe-ispolzovanie-siz-obzor-sovremennyh-sredstv-individualnoj-zashhity-ih-pravilnyj-vybor-i-primenenie/> .- Дата доступа: 21.03.2026

3.Как правильно подобрать средства защиты слуха?. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://specovka.by/stati/kak-pravilno-podobrat-sredstva-zashchity-sluha> .- Дата доступа: 21.03.2026

4.Лебедев С.М., Белянко В.В. Технические средства индивидуальной и коллективной защиты. — Минск: БГМУ, 2023.- 50с.

КОЛИЧЕСТВО ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ НА ПОЛИГОНЕ ТКО

Волоховская Е.М., магистрант

Научный руководитель Кремлёва О.Е.

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
Беларусь*

В данной статье приводится методика расчета парниковых газов от захоронения различных видов отходов на полигоне ТКО, а также результаты расчета выбросов за 2025 год.

Ключевые слова: парниковые газы, ЭкоНиП, диоксид углерода, захоронение отходов, полигон ТКО.

Проблема загрязнения атмосферного воздуха от полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) обусловлена процессами разложения органических компонентов, приводящими к выделению в атмосферу широкого спектра загрязняющих веществ. К ним относятся метан (CH_4), являющийся мощным парниковым газом, а также диоксид углерода (CO_2), сероводород (H_2S), аммиак (NH_3), окислы азота (NO_x), летучие органические соединения (ЛОС) и твердые частицы. Концентрация данных веществ в приземном слое атмосферы может достигать опасных уровней, оказывая негативное воздействие на здоровье населения, включая респираторные заболевания, аллергические реакции и сердечно-сосудистые патологии.

Согласно ЭкоНиП 17.09.08-001-2024 «Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Требования (правила) количественного определения выбросов парниковых газов» [1] суммарные выбросы парниковых газов по всем парниковым газам и источникам (категориям источников) выбросов парниковых газов с учетом их потенциалов глобального потепления рассчитываются по формуле 1

$$E_{\text{co}_2 \text{ eg.y}} = \sum_{ij} E_{ij.y} \times \text{GWP}_i \quad (1)$$

где $E_{\text{co}_2 \text{ eg.y}}$ – суммарные выбросы парниковых газов в CO_2 экв. за период y , т CO_2 экв.;

$E_{ij.y}$ – выбросы i -го парникового газа для определенного источника выбросов (категории источников) j за период y , т;

GWP_i – потенциал глобального потепления для i -го парникового газа для пересчета величин выбросов в CO_2 экв..

Категория источников выбросов парниковых газов «Захоронение твердых отходов» включает выбросы CH_4 в результате анаэробного разложения твердых отходов в местах их захоронения.

При количественном определении выбросов парниковых газов от захоронения отходов основным газом для учета является метан

Выбросы CH_4 от полигонов ТКО рассчитываются по формуле 2

$$E_{\text{CH}_4 T} = [\sum_x \text{CH}_4 \text{ образованный}_{x,T} - R_T] \times (1 - \text{OX}_T) \quad (2)$$

где $E_{\text{CH}_4 T}$ – выбросы в атмосферу CH_4 от полигона за год T , тыс. т;

$\text{CH}_4 \text{ образованный}_{x,T}$ – образованный на полигоне ТКО (потенциал образования метана) от категории/вида отходов x за год T , тыс. т;

R – рекуперированный CH_4 на полигоне ТКО за год T , для которого выполняется инвентаризация, тыс. t^4 ;

OX_T – коэффициент окисления на полигоне за год T , для которого выполняется инвентаризация.

Потенциал образования метана на полигоне ТКО учитывается как способный к разложению нестойкий органический углерод (DDOC_m)

Способный к разложению углерод в составе отходов, направленных на захоронение, рассчитывается по формуле 3

$$\text{DDOC}_m = W \times \text{DOC} \times \text{DOC}_i \times \text{MCF} \quad (3)$$

где W – масса захораниваемых отходов, тыс. т;

DOC – способный к разложению органический углерод в год помещения на полигон, доля;

DOC_i – доля DOC , способного к разложению (≤ 1 , значение принимается 0.5);

MCF – поправочный коэффициент CH_4 для анаэробного разложения в год помещения на полигон (≤ 1).

Результаты исследования. На полигоне ТКО «Рогачи-Выселка» захороняются 8 категорий отходов. За 2025 год на полигоне образовалось 61,12 тыс. тонн отходов. При расчете выбросов метана были получены следующие данные (таблица 1.)

Таблица 1. – Объемы захоронения отходов на полигоне ТКО в 2025 году

Вид отхода	Итого тыс.тон н	W, %	Wi	DOC _i	DOC	Eco2
Растительные отходы	1,0308	1,6864	0,0169	0,1	0,000 1	6,142
Древесные отходы	0,2556	0,4182	0,0041	0,43	0,001 8	
Пластик	0,0005	0,0008	8,83E- 06	1	8,83E -06	

Бумага	0,0024	0,0038	3,84E-05	0,4	1,54E-05
Пищевые	0,6824	1,1165	0,0111	0,15	0,0017
Осадки	0,5373	0,8790	0,0088	0,01	8,79E-05
Медицинские	0,0649	0,1063	0,0010	0,15	0,0002
Другое	58,5495	95,7887	0,9579	0,1	0,0096

Таким образом величина выбросов парниковых газов в эквиваленте CO₂ достигла 6,142 тысячи тонн.

Заключение. Согласно Национальному статистическому комитету Республики Беларусь, выбросы парниковых газов от отходов занимают 3 место. Мероприятия по снижению выбросов от полигонов должны носить комплексный характер. Сортировка отходов перед захоронением является одним из ключевых этапов. Целью сортировки является извлечение из общего потока ТКО материалов, пригодных для вторичной переработки, а также органических фракций, которые могут быть направлены на компостирование или анаэробное сбраживание. Разделение отходов на этапе их образования или на специализированных сортировочных комплексах позволяет существенно уменьшить объем отходов, поступающих на полигон.

Регулярный мониторинг состояния полигона, включая контроль состава и концентрации выбросов, является обязательным условием для оценки эффективности принимаемых мер и своевременной корректировки природоохранной политики.

Литература:

1. Об утверждении экологических норм и правил: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 28.03.2024 № 8-Т: в ред. От 26.04.2024 №8/41382 – <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441382p> (дата обращения 10.10.2025)

2. О регулировании выбросов парниковых газов: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 09.03.2021 № 137: в ред. От 11.03.2021 №5/48865 – <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C2210013> (дата обращения 11.10.2025)

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Гилязова А.И., студент

Научный руководитель Шавалеева С.М.

**Казанский национальный исследовательский технический университет
им.А.Н.Туполева - КАИ**

В работе рассмотрена очистка сточных вод цеха горячей прокатки металлургического производства от мелкодисперсных взвешенных частиц. Проведен сравнительный анализ эффективности ряда коагулянтов и обоснован выбор оптимального реагента, а также выполнены расчеты порога коагуляции, рабочей дозы коагулянта, кинетических параметров процесса.

Ключевые слова: сточные воды, очистка сточных вод, металлургия, взвешенные вещества, коагуляция, коагулянт, взвешенные частицы.

Металлургический комплекс является одним из крупнейших источников антропогенной нагрузки на водные объекты. Сточные воды предприятий отрасли отличаются сложным многокомпонентным составом и содержат значительное количество взвешенных веществ, включая устойчивые коллоидные системы, окалину, частицы руды и шламов [1-3].

Традиционные методы механической очистки (отстаивание, фильтрация) не всегда способны обеспечить требуемую степень удаления тонкодисперсных примесей, что обуславливает необходимость применения физико-химических методов, в первую очередь коагуляции [4-8].

Выбор оптимального типа коагулянта и его дозы является ключевой задачей, позволяющей не только достичь нормативных показателей сброса, но и снизить эксплуатационные затраты за счет сокращения расхода реагентов и объема образующихся шламов. Цель настоящей работы - исследование и сравнительный анализ эффективности коагуляционной очистки сточных вод металлургического производства от взвешенных частиц с применением солей трехвалентных металлов (Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+}) и расчет основных технологических параметров процесса.

В качестве объекта исследования приняты сточные воды цеха горячей прокатки типичного металлургического предприятия. Характеристики стоков: концентрация взвешенных веществ 1500 мг/л, pH 7,0-8,5 (нейтрально-щелочная среда), температура 15-35 °С, наличие эмульгированных масел и следов тяжелых металлов.

Для сравнительного анализа выбраны три вида квасцов:

- алюмокалиевые ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$);
- железоаммонийные ($\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$);
- хромокалиевые ($\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$).

Оценка проводилась по следующим критериям: оптимальный диапазон pH, скорость хлопьеобразования, способность удалять эмульгированные масла, совместимость с исходным pH, экологическая безопасность осадка.

Расчет порога коагуляции (минимальной концентрации электролита, вызывающей коагуляцию) выполнен по правилу Шульце-Гарди для иона-коагулянта с зарядом Z, кинетика процесса оценивалась с использованием теории быстрой коагуляции Смолуховского, часовые расходы реагентов определялись исходя из производительности установки $Q = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$, расчетных доз и концентраций рабочих растворов.

Результаты сравнительной оценки исследуемых квасцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика коагулянтов

Параметр	Алюмокалиевые квасцы	Железоаммонийные квасцы	Хромокалиевые квасцы
Действующий ион	Al^{3+}	Fe^{3+}	Cr^{3+}
Оптимальный pH	6,5-7,5	4-11	7-9
Скорость хлопьеобразования	Средняя, хлопья легкие	Высокая, хлопья тяжелые, крупные	Высокая, хлопья прочные
Удаление эмульгированных масел	Удовлетворительное	Высокое	Удовлетворительное
Совместимость с pH=7-8,5	Несовместима, требует подкисления	Полная	Частичная
Экологическая безопасность осадка	Осадок $\text{Al}(\text{OH})_3$ нетоксичен, но плохо обезвоживается	Осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$ нетоксичен, хорошо обезвоживается	Ион Cr^{3+} токсичен, шлам требует специальной утилизации

На основании проведенного анализа в качестве основного коагулянта выбраны железоаммонийные квасцы. Они эффективно работают в широком

диапазоне рН (4-11), что полностью соответствует исходному значению рН стока (7,0-8,5) без необходимости дополнительной коррекции; образуют тяжелые, быстро осаждающиеся хлопья $\text{Fe}(\text{OH})_3$, обеспечивая высокую степень осветления (до 98,7%); образующийся шлам нетоксичен и хорошо обезвоживается, что упрощает его утилизацию.

Расчет технологических параметров показал, что порог коагуляции составляет 0,165 ммоль/л, а рабочая доза коагулянта - 79,5 мг/л.

Для обеспечения эффективного осаждения и компенсации кислотности, выделяющейся при гидролизе, рекомендуется использование флокулянта полиакриламид (ПАА) в дозе 1 г/м³ и подщелачивание известковым молоком $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Практическая доза извести, рассчитанная стехиометрически по количеству вносимого Fe^{3+} (8,12 г/м³) с коэффициентом запаса 1,3, составила 21 г/м³.

Кинетические расчеты показали, что начальная концентрация частиц в воде составляет $3 \cdot 10^6$ част/см³; теоретическая константа скорости быстрой коагуляции $1,08 \cdot 10^{-11}$ см³/с; число частиц через 20 мин (1200 с) перемешивания составило $2,89 \cdot 10^6$ част/см³.

На основе полученных доз определены часовые расходы реагентов для потока 50 м³/ч (таблица 2).

Таблица 2 - Часовые расходы реагентов

Реагент	Концентрация рабочего раствора, %	Расход, м ³ /ч
Коагулянт (железоаммонийные квасцы)	10,0	0,03
Флокулянт (ПАА)	0,1	0,05
Известковое молоко ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	10,0	0,0095

Проведенный сравнительный анализ показал, что для очистки сточных вод металлургического производства с нейтрально-щелочной средой и высоким содержанием мелкодисперсных взвесей наиболее эффективным и экологически безопасным коагулянтом являются железоаммонийные квасцы. Они обеспечивают высокую скорость хлопьеобразования, хорошее удаление эмульгированных масел и образуют нетоксичный, легко обезвоживаемый осадок. Рассчитанные основные технологические параметры процесса и часовые расходы реагентов для рассматриваемой установки могут быть использованы при проектировании или модернизации систем очистки сточных вод металлургических предприятий.

Литература

1. Жуков, А. И. Методы очистки производственных сточных вод: учебное пособие для вузов / А. И. Жуков, И. Л. Монгайт, И. Д. Родзиллер. - Москва: Стройиздат, 2014. - 336 с.
2. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии: учебник для вузов / С. С. Воюцкий. - 2-е изд. - Москва: Химия, 1975. - 512 с.
3. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. - Москва: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2018. - 728 с.
4. Жмур, Н. С. Технологические процессы экологической безопасности. Очистка сточных вод: учебник / Н. С. Жмур. - Москва: Изд-во АСВ, 2015. - 352 с.
5. Лапин, В. В. Очистка сточных вод металлургических предприятий / В. В. Лапин, В. А. Приходько // Экология и промышленность России. - 2020. - № 5. - С. 34-39.
6. Морева, Ю. Л. Теоретические основы очистки и обезвреживания выбросов и сбросов: учебное пособие. Ч. 1 / Ю. Л. Морева, Ю. М. Чернобережский, А. В. Лоренцсон. - СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. - 82 с.
7. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебник для вузов / Ю. Г. Фролов. - 2-е изд. - Москва: Химия, 1989. - 464 с.
8. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия: учебник для вузов / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. - 4-е изд. - Москва: Высшая школа, 2006. - 444 с.

Головач К.А.

Научный руководитель Водчиц Н.В.

Полесский государственный университет, Беларусь

*В статье рассматривается процесс получения культуры бактерий *Acetobacter*, выделенных из объектов окружающей среды. В ходе исследования проведен сравнительный анализ образцов и выявлен наиболее эффективный природный источник для получения жизнеспособной культуры данных микроорганизмов.*

*Ключевые слова: чайный гриб, вино, бактерии *Acetobacter*, уксусная кислота, среда GYC.*

Введение. Уксусная кислота, также известная как этановая, является одним из наиболее значимых и исторически известных органических соединений. Это летучая кислота, узнаваемая по кислому вкусу и повсеместно присутствующая в пищевых продуктах. Она является основой уксуса [4].

Кислоту получают различными способами, включая химическое окисление ацетальдегида а, для пищевых целей используют уксуснокислосое брожение этанола. Именно этот процесс представляет собой ключевой биологический окислительный механизм, при котором с помощью специализированных уксуснокислых бактерий спирт преобразуется в уксусную кислоту [5, с. 7].

Производители уксуса – это грамотрицательные бактерии, принадлежащие к роду *Acetobacter*, семейства *Pseudomonadaceae*. Данные микроорганизмы являются облигатными аэробами и развиваются исключительно при свободном доступе кислорода. Характерным признаком их жизнедеятельности является быстрое формирование на поверхности субстрата беловатой пленки, которая в короткие сроки полностью покрывает площадь контакта жидкости с воздухом [6, с. 22].

Целью данной работы является получение культуры бактерий *Acetobacter* из образцов чайного гриба и вина, в условиях учебной лаборатории.

Материалы и методы исследования. Исследования проводились в микробиологической лаборатории УО "Полесский государственный университет". Объектами исследования являлись красное вино 2018 года, уксуснокислые бактерии, чайный гриб, культивируемый в микробиологической лаборатории УО "Полесский государственный университет".

Для выделения *Acetobacter* вино оставляли, в контакте с воздухом, во флаконах на 3–4 дня при температуре 28 °С. На поверхности жидкости образовывалась пленка, которую стерильной стеклянной палочкой переносили в селективную среду, обогащенную уксусной кислотой [6, с. 23].

Для выделения *Acetobacter* из чайного гриба, отбирали жидкость, в которой он находился, и переносили на селективную среду, также обогащенную уксусной кислотой [7, с. 24].

Изолирование чистых культур уксуснокислых бактерий проводили на дифференциально-диагностической среде GYC [2, с. 60].

Идентификацию изолятов осуществляли по морфологическим и культуральным признакам, учитывая характерные для ацетобактерий свойства [2, с. 59, 6, с. 22].

Результаты и их обсуждение. На селективной среде, содержащей красное вино, возможно, из-за кислотности среды образования пленки не произошло. У вина pH 3,0–4,0, уксуснокислые бактерии, выделенные из него, являются ацидофильными. В селективной среде, приготовленной для эксперимента, pH – 6, что могло быть вероятной причиной остановки роста бактерий и их гибели.

Еще одной причиной отсутствия уксуснокислых бактерий является интенсивный рост дрожжевой микрофлоры. Учитывая значительный срок выдержки вина (2018 год), превалирование в нем определенных штаммов дрожжей могло привести к ингибированию бактерий рода *Acetobacter* вследствие их конкуренции за ограниченный питательный субстрат.

Через 3-е суток в образце с чайным грибом, на поверхности было отмечено образование беловатой пленки, что свидетельствует о наличии в среде уксуснокислых бактерий. Также отмечалось появление крошащейся кожистой пленки, свидетельствующей о росте дрожжей [7, с. 24]. Для идентификации была проведена окраска по Граму [3, с. 52–53].

Микроскопическое исследование выявило грамотрицательные (окрашенные в красный цвет) палочковидные клетки, расположенные в виде коротких цепочек (Рисунок 1).

Данные морфологические признаки позволяют предположить наличие уксуснокислых бактерий [6, с. 22].

С целью точной идентификации бактерий *Acetobacter* был выполнен посев на дифференциально-диагностическую среду GYC. Для этого отбирали пробу культуральной жидкости, содержащую предполагаемые бактерии, и распределяли ее по поверхности плотной питательной среды в чашках Петри. Чашки выдерживали в термостате при 28 °С в течение 72 часов.

Агар GYC используется для выявления кислотообразующих микроорганизмов и считается "стандартной питательной средой" для выращивания уксуснокислых бактерий. Компоненты, составляющие

питательную среду, обладают определенными свойствами. Глюкоза – ферментируемый углевод, служит источником углерода и энергии. Дрожжевой экстракт является источником витаминов, особенно витаминов группы В [1]. Карбонат кальция образует характерный прозрачный ореол вокруг колоний, так как некоторые из них во время своей жизнедеятельности потребляют кальций [2, с. 62].

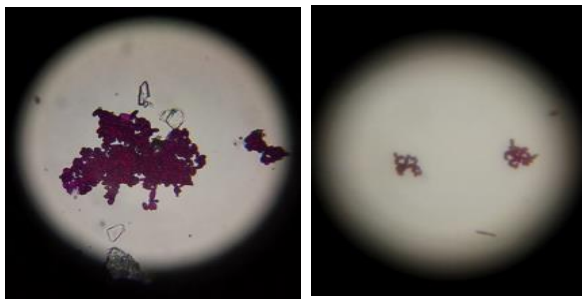


Рисунок 1 – Бактерии из чайного гриба под микроскопом (увеличение 1000х)

В результате было выявлено появление слизистых колоний на поверхности питательной среды (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Колонии уксуснокислых бактерий на среде ГYC

Колонии имели неправильную форму со сплошным ровным краем, плоский профиль и блестящую поверхность, что согласуется с описаниями уксуснокислых бактерий [2, с. 62].

Выводы. Микроорганизмы, выделенных из субстрата чайного гриба, на основании изученных морфологических и культуральных характеристик были идентифицированы как уксуснокислые бактерии рода *Acetobacter*.

В красном вине (2018 года) рост уксуснокислых бактерий не наблюдался. Это могло быть связано с кислотностью селективной среды и интенсивным ростом дрожжевой микрофлоры.

Литература:

1. Агар GYC (GYC Agar) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://micro-lab.org/catalog/sukhie-sredy-agar/agar-gyc-gyc-agar>. – Дата доступа : 15.03.2026.
2. Боиштян, А. В. Выявление оптимального источника для изолирования уксуснокислых бактерий / А. В. Боиштян [и др.] // Труды Технического Университета Молдовы. – 2022. – № 55. – С. 59-62.
3. Жук, О. Н. Микробиология: лабораторный практикум : в 2 частях / О. Н. Жук, Я. С. Камельчук, Т. А. Сеньковец ; Министерство образования Республики Беларусь, УО "Полесский государственный университет". – Пинск : ПолесГУ, 2024. – Часть 1. – 68 с.
4. Николашкина, А. А. Секреты уксусной кислоты / А. А. Николашкина // Bulletin of Medical Internet Conferences. – 2014. – Т. 4, № 5. – С. 868–869.
5. Проблемы современных интеграционных процессов и пути их решения : сборник статей / Агентство международных исследований ; редакционная коллегия: А. А. Сукиасян (ответственный редактор) [и др.]. – Тюмень : Стерлитамак : АМИ, 2021. – 254 с.
6. Шашко, А. В. Селекция продуцентов : методические рекомендации к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 1-31 01 01 Биология, 6-05-0511-06 Биотехнология, 6-05-0511-01 Биология / А. В. Шашко. – Пинск : ПолесГУ, 2025. – 38 с.
7. Шокатаева Д. Х. Популяционно-генетическая и экологическая структура вида. Изолирование бактерий вида *Komagataeibacter* – продуцента бактериальной целлюлозы из микробиоценоза чайного кваса / Д. Х. Шокатаева [и др.] // Биологический вид в структурно-функциональной иерархии биосферы: сб. материалов XV Междунар. науч.-практ. экол. конф. – Белгород, 2018. – С. 23–26.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ НА ПАХОТНЫХ ЗЕМЛЯХ БЕЛАРУСИ

Головач А. И., магистрант

Научный руководитель Веремейчик Л.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассматриваются последствия применения пестицидов на пахотных землях Республики Беларусь. Применение пестицидов является неотъемлемой частью современного сельского хозяйства, однако его влияние на экосистемы и здоровье человека требует тщательной оценки. В работе анализируются основные виды пестицидов, их влияние на почву, воду и биоразнообразие.

Ключевые слова: пестициды, пахотные земли, экологическая оценка, Республика Беларусь, устойчивое сельское хозяйство, биоразнообразие.

Получение высоких урожаев в растениеводстве требует применения пестицидов. Необходимость их использования возникает из-за существенных потерь урожая, которые по самым скромным подсчетам составляют от 24 до 46 % мирового сельскохозяйственного производства [1].

Современное сельскохозяйственное производство невозможно представить без применения химических пестицидов, которые являются основой защиты растений от вредителей и болезней. В Беларуси, как и в других странах, их применение связано с необходимостью повышения урожайности и улучшения качества сельскохозяйственной продукции. Однако чрезмерное использование удобрений и пестицидов приводит к загрязнению почвы, ухудшению ее качества и снижению биоразнообразия в почвенном профиле. Исследование взаимодействия пестицидов с почвенной микрофлорой имеет особое значение, поскольку микроорганизмы играют ключевую роль в формировании плодородия и детоксикации почвы от ксенобиотиков. Одной из актуальных задач остается поиск альтернатив токсичным пестицидам — новых препаратов, которые менее вредны для почвы и могут разлагаться под воздействием микроорганизмов.

Для анализа экологических последствий применения пестицидов использованы данные из научной литературы, отчеты государственных органов и экологических организаций. Рассматриваются основные группы пестицидов, применяемых в Беларуси, их химические свойства и механизмы действия.

Природно-климатические условия Беларуси способствуют тому, что на территории страны могут активно распространяться и развиваться 65 видов опасных вредителей, 100 видов болезней и 300 видов сорняков. По сведениям РУП «Институт защиты растений», возможные потери урожая — даже только от 40 наиболее вредоносных сорняков — могут достигать таких значений: по

льносоломе — 63,0–80,6, по льносеменам — 72,0–86,4, по зеленой массе и зерну кукурузы — 83,0–90,4, по корнеплодам сахарной свеклы — 94,0–98,8, по картофелю — 41,0–92,1, а для зерновых, зернобобовых и рапса — 30–50 %. [2].

Своевременно проведенная защита растений с обязательным применением химических средств обеспечивает сохранение от 5 до 12 ц/га урожая зерна, 50–180 ц/га картофеля, корнеплодов, 2,5 ц/га льноволокна при окупаемости затрат в 1,5–2 раза и более [3].

В Беларуси сегодня ведущим методом защиты растений является химический, то есть применение пестицидов. Они активно используются как сельскохозяйственными организациями, так и фермерами и дачниками. Если в настоящее время отказаться от использования пестицидов, то урожайность снизится почти на 50 %. Однако большинство людей осознаёт, что применение пестицидов пагубно влияет на окружающую среду и здоровье человека.

Пестициды — это ядовитые вещества, используемые для уничтожения вредителей и возбудителей болезней растений, а также различных паразитов, сорняков, вредителей зерна и зернопродуктов, древесины, изделий из хлопка, шерсти и кожи, эктопаразитов домашних животных и переносчиков опасных заболеваний человека и животных. В основном пестициды — это ядовитые вещества, которые отравляют организм-мишень. Кроме того, к пестицидам относят стерилизаторы — вещества, вызывающие бесплодие у паразитов, и ингибиторы роста, замедляющие развитие целевых организмов. Иногда их называют ядохимикатами, однако данный термин охватывает весь широкий спектр химических средств защиты растений, включая яды, стерилизаторы и ингибиторы роста.

По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, в 2022 году было внесено 10 850 тонн пестицидов, а в 2024 их объём составил 13 167 тонн [4]. Это может означать, что в стране наблюдается рост использования пестицидов, что может быть связано с увеличением площадей сельскохозяйственных угодий, повышением продуктивности сельского хозяйства или необходимостью борьбы с растущим количеством вредителей и болезней растений. В соответствии с Государственным реестром средств защиты растений и удобрений, на территории Республики Беларусь на 2026 г. разрешены к применению 127 инсектицидов и акарицидов, 246 фунгицидов, 107 препаратов для предпосевной обработки семян, 419 гербицида [5].

Наиболее использующиеся группы пестицидов в Беларуси — гербициды, инсектициды, фунгициды, протравители, регуляторы роста, десиканты, дефолианты, родентициды и другие. Как правило, около 70 % применяемых средств — это гербициды. Больше всего пестицидов используют в Минской и Гродненской областях — около 1,8–2 кг на гектар, в Витебской области — около 0,9 кг/га.

Гербициды в пахотных почвах Республики Беларусь оказывают угнетающее действие на почвенную микрофлору и попадают в почву в

основном при внесении (на поверхность или в верхний слой), а также при смыве дождями и переносе частиц по полю. В одном кубическом сантиметре здоровой почвы содержатся миллионы бактерий, участвующих в процессах почвообразования. Даже если пестицидами обрабатывают зеленые части сорняков, полезные микроорганизмы могут пострадать: действующие вещества способны попадать в почву с корневыми выделениями или после гибели растений. Дальнейшее поведение остатков определяется сочетанием деградации (в основном микробное разложение и гидролиз), удержания на частицах почвы (гумус и глина) и частичной миграции при достаточной подвижности вещества и инфильтрации. Концентрации и длительность присутствия зависят от типа почвы, погодных условий (влажность, температура, осадки) после обработки, дозы и кратности применения в севообороте. Кратковременное сильное подавление почвенных бактерий может иметь долговременные последствия: изменяется водный баланс почвы, снижается концентрация гумуса, падает интенсивность процессов фиксации азота, а затем запускается цепь взаимосвязанных процессов, лишаящая почву плодородия. В результате ухудшения экологического статуса микробиологическая оценка почвы после применения гербицидов позволяет достаточно эффективно и быстро выявлять произошедшие изменения.

Инсектициды обычно классифицируют по способу их действия. Кишечные яды, например мышьяк, отравляют вредителей, поедающих обработанные ими растения. Инсектициды контактного действия, например, ротенон, убивают насекомых, попав на поверхность их тела. Фумиганты, например, метилбромид, действуют, проникая в организм через дыхательные пути.

Еще один способ классификации исходит из химической природы инсектицидов: их делят на неорганические или органические (природные и синтетические). Неорганические, в частности соединения фтора, не очень эффективны и накапливаются в почве. Природные органические инсектициды, такие, как алкалоид никотин, в основном уже вышли из применения; впрочем, пиретрумом до сих пор широко используются в частном секторе, поскольку он не опасен для теплокровных животных. Чаще всего сейчас употребляются синтетические органические соединения, особенно фосфорорганические, сероорганические, карбаматы и пиретроиды. Почти все хлорорганические инсектициды, в том числе и ДДТ, запрещены в большинстве стран, поскольку отравляют окружающую среду.

Сегодня в Беларуси осуществляется строгий контроль за использованием химических средств защиты растений. В соответствии с Законом «О защите растений» от 25 декабря 2005 г., допускаются к применению только те пестициды, которые прошли государственную проверку и регистрацию [6]. На сегодняшний день в государственном реестре

зарегистрировано около 700 наименований таких препаратов, большинство из которых — комплексные, то есть содержащие 2-3 действующих вещества.

Экологическая оценка применения пестицидов на пахотных землях Беларуси показывает, что при современном уровне химизации сохраняется риск деградации почвенного плодородия и загрязнения сопредельных сред. Критическими факторами являются низкая сорбционная емкость дерново-подзолистых почв и высокая миграционная способность пестицидов.

Несмотря на объективную необходимость защиты растений, все участники процесса должны учитывать не только важность применения пестицидов, но и стремиться максимально снизить их негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека. Несоблюдение технологических регламентов, нарушение доз внесения и отсутствие должного контроля за обращением с пестицидами может привести к тяжелым последствиям: гибели посевов, накоплению токсичных остатков в почве и воде, а также к превышению гигиенических нормативов содержания пестицидов в продуктах и отрицательно отразится на здоровье населения.

Приоритетным направлением экологизации земледелия следует считать внедрение интегрированной защиты растений, основанной на точном соблюдении регламентов, прогнозировании фитосанитарной обстановки и расширении использования биологического метода. Требуется дальнейший мониторинг за метаболитами пестицидов, обладающими кумулятивными свойствами, а также разработка региональных нормативов предельно допустимых концентраций с учетом почвенно-климатических особенностей Беларуси.

Литература:

1. Агроэкология: учеб. для вузов по агроном. специальностям / Черников В.А., Алексахин Р.М., Голубев А.В. [и др.]. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
2. Защита растений: учеб. пособие / Л.Г. Коготько, Е.В. Стрелкова, П.А. Саскевич Минск: РИПО. – 2016. – 327 с.
3. Миренков, Ю.А. Химическая защита растений: учебно-методическое пособие / Ю.А. Миренков, П.А. Саскевич. – Горки: БГСХА, 2024. – 143 с.
4. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. - <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii/2/f-2-vnesenie-udobrenii/f-4-vnesenie-pestitsidov/> (Дата обращения 05.04.2026).
5. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений Республики Беларусь (по состоянию на 03.04.2026). - <https://ggiskzr.by/reestr-szr/> (Дата обращения 05.04.2026).
6. О защите растений: Закон Республики Беларусь, 25 дек. 2005 г., № 77-3 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. — 2006. — № 1. — 2/1174.

МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАЗМЫ

Горбунова М. А., магистрант

Научный руководитель Котов Д. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Беларусь

В данной статье рассматривается влияние плазменной обработки воды на ее физико-химические свойства в зависимости от параметров и режимов генерируемой плазмы. Рассматриваются виды плазменной обработки, условия формирования и параметры плазмы, генерируемой при атмосферном давлении.

Ключевые слова: плазма атмосферного давления, диэлектрический барьерный разряд, плазменная обработка воды.

Вода, активированная плазмой (plasma activated water (PAW)), благодаря своей уникальной биохимической активности является перспективной в технологиях пищевой промышленности, сельского хозяйства, экологии и биомедицинских отраслях и может быть потенциальной альтернативой химическим удобрениям. Доказано, что вода, активированная плазмой, эффективна для обеззараживания пищевых продуктов, прорастания семян, улучшения роста растений. Практическая значимость технологии заключается в применении и масштабировании процессов, рассмотренных в исследовании. Экономическая значимость состоит в энерго- и ресурсосбережении, низкой материалоемкости технологии.

Одним из основных применений плазмы в природоохранном секторе является очистка промышленных сточных вод за счёт образования озона, который является сильным окислителем и способен разлагать токсичные материалы. Таким образом, очистка от оксидов азота (NO_x) и серы (SO_2), а также разрушение летучих органических компонентов и удаление тяжёлых металлов являются распространёнными применениями плазмы в этом секторе, где используются как высокоэнергетические электронные пучки, коронные разряды и диэлектрические барьерные разряды (ДБР), так и другие разряды для обработки растворов. С другой стороны, значительный потенциал плазмы в области медицины привёл к созданию нового независимого медицинского направления, называемого «плазменная медицина» или «плазменная биомедицина» [1].

Для конкретного случая модификации свойств воды с помощью электрического разряда дальнейшая оптимизация представляет собой сложную задачу из-за большого разнообразия конструкций и материалов реакторов, типов разрядов и рабочих параметров. Конструкция и материалы

влияют на энергоэффективность, а также рабочие параметры влияют на выходные свойства воды после обработки.

Классификация реакторов на основе используемого режима разряда [2]:

- 1) Коронный
- 2) Тлеющий разряд
- 3) Дуговой разряд
- 4) Диэлектрический барьерный разряд (ДБР)

Коронный разряд, – возникает при резко выраженной неоднородности электрического поля вблизи одного или обоих электродов. Подобные поля формируются у электродов с очень большой кривизной поверхности. Важно отметить, что размеры и движение водной фазы в реакторах этого типа могут существенно влиять на энергоэффективность. Тлеющий разряд характеризуется небольшой силой тока (десятки миллиампер), относительно высоким напряжением (десятки и сотни вольт), низким давлением газа. Дуговой разряд характеризуется большой силой тока (десятки и сотни ампер) и сравнительно небольшим напряжением (несколько десятков вольт). Формированию дугового разряда предшествует короткий нестационарный процесс в пространстве между электродами – разрядном промежутке. Длительность этого процесса (время установления) обычно $\sim 10^{-6}$ - 10^{-4} сек в зависимости от давления и рода газа, длины разрядного промежутка, состояния поверхностей электродов и т.д. Дуговой разряд получают, ионизуя газ в разрядном промежутке. Дуговой разряд может также возникнуть в результате пробоя электрического разрядного промежутка при кратковременном резком повышении напряжения между электродами. Если пробой происходит при давлении газа, близком к атмосферному, то нестационарным процессом, предшествующим дуговому разряду, является искровой разряд. Дуговой разряд может возникать практически при любом давлении газа, от менее 10^{-5} мм рт. ст. до сотен атм. Дуговой разряд может протекать не только при постоянном, но и при переменном напряжении между электродами.

Диэлектрический барьерный разряд (ДБР) – это разряд в газовой среде, заполняющей промежуток между электродами, один или оба из которых покрыты диэлектриком. При приложении к электродам переменного напряжения в газе возникает электрическое поле, определяемое приложенным к электродам напряжением и зарядами на поверхности диэлектрика. Разряд возникает, если напряжение между электродами превышает напряжение пробоя. Системы ДБР различаются конфигурацией электродов (параллельные, копланарные, цилиндрические, пористые электроды), формой сигнала (синусоидальный переменный ток, прямоугольный постоянный ток, треугольный постоянный ток и т. д.) и/или частотой (от 50 Гц до 50 кГц).

Плазма, генерируемая в конфигурации ДБР для обработки воды, составляет 27% систем, описанных в литературе. Широкое применение барьерного разряда в технике обуславливается возможностью возбуждения нестационарной низкотемпературной плазмы при атмосферном давлении, что значительно снижает стоимость технологических процессов с их применением и упрощает их. Также достоинством ДБР по сравнению с другими типами разрядов атмосферного давления является отсутствие прямого деструктивного воздействия на обрабатываемый объект. Применение электрических разрядов низкого и атмосферного давления позволяет в широком диапазоне варьировать параметры плазмы и выбирать оптимальные условия обработки в зависимости от свойств тестируемого материала [1].

Механизмы обработки воды могут быть разделены по принципу работы реактора на три вида [3]:

- 1) разряд в газовой фазе над поверхностью воды (рисунок 1, а);
- 2) разряд в жидкой фазе (рисунок 1, б);
- 3) разряд в многофазных средах или гибридная разрядная система газ/жидкость (рисунок 1, в).

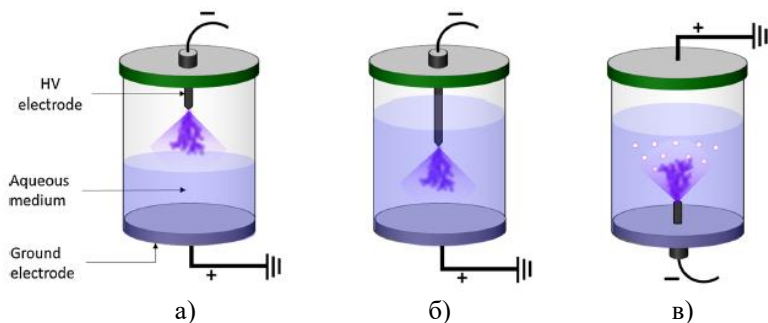


Рисунок 1 – Схематическое изображение различных разрядных систем для обработки воды

Атмосферная плазма генерирует активные формы кислорода и азота (АФК), которые взаимодействуют с водой и встраиваются в неё. Типы и относительная концентрация АФК зависят от метода генерации плазмы и от конкретного используемого газа. Типичные долгоживущие виды могут включать нитриты (NO_2^-), нитраты (NO_3^-), озон (O_3) и пероксид водорода (H_2O_2). Короткоживущие формы, такие как гидроксильные радикалы ($\text{OH}^\cdot$), супероксид-анион-радикал ($\text{O}_2^\cdot$), синглетный кислород ($^1\text{O}_2$), оксид азота (NO) и пероксинитрит ($\text{ONOO}^\cdot$), существуют только в течение короткого промежутка времени с периодом полураспада порядка секунды.

Концентрация активных форм, присутствующих в воде, приводит к образованию раствора с более высоким окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП), более низким рН и более высокой проводимостью, чем у необработанной воды, и имеет значительные концентрации кислот, таких как азотная (HNO_3) и азотистая кислота (HNO_2). Синергетические эффекты АФК в воде, активированной плазмой, обуславливают ее биохимические свойства и многочисленные применения.

В исследовании Thirumdas, R. и др. [4] были измерены значения рН (а) и проводимости (б) воды, обработанной плазмой диэлектрического барьерного разряда (рисунок 2). Время обработки – 0 соответствует необработанной деионизированной воде. Значительное снижение рН было обнаружено даже после короткого времени обработки. Например, необработанная деионизированная вода имела начальный рН 6,96, а после 1 минуты плазменной обработки снизилась до 3,85. При более длительном времени обработки рН продолжает снижаться, но медленнее, достигая значений, близких к 3,00. Проводимость же продолжает значительно расти со временем обработки, с максимумом 529 мкСм/см через 30 минут плазменной обработки.

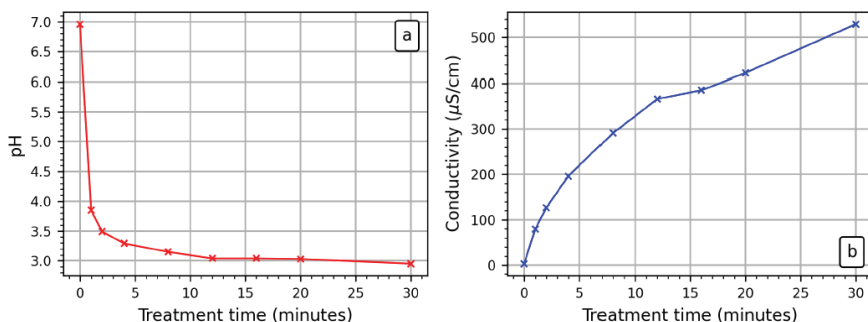


Рисунок 2 – Измеренные значения рН (а) и проводимости (б) обработанных образцов для различного времени обработки

В исследовании Бурмистрова Д. Е. и др. [5] дистиллированная вода подвергалась воздействию холодной атмосферной плазмы (ХАП), создаваемой пьезотрансформатором. Время обработки составляло от 30 сек до 10 мин. Проводилась регистрация спектров поглощения и пропускания после обработки воды ХАП с использованием спектрометра. Поглощение было самым высоким для нитрит-иона (NO_2^-) и нитрат-иона (NO_3^-). Значение рН было получено с помощью рН-метра. Отмечалось увеличение проводимости воды с увеличением времени обработки. Величина рН, снижалась в

зависимости от продолжительности обработки, что связано с накоплением нитрат- и нитрит-анионов в среде, активированной ХАП. Концентрация пероксида водорода увеличивалась в зависимости от продолжительности обработки воды ХАП.

Проведенные исследования [4, 6, 7] показывают, что среды, обработанные холодной плазмой, могут сохранять бактерицидные свойства в течение длительного времени, а также доказывают успешность использования холодной атмосферной плазмы для стерилизации поверхностей, заживления ран, стимуляции иммунитета и др.

Взаимодействие атмосферной плазмы с водой приводит к ряду сложных химических реакций, которые изменяют физико-химические свойства жидкости. pH воды, обработанной плазмой, уменьшается с увеличением времени обработки, в то время как проводимость увеличивается. Поскольку pH является мерой концентрации ионов водорода в растворе, а проводимость – мерой способности раствора проводить электрический ток, эти простые измерения позволяют быстро определить эффективность обработки.

Вода, активированная плазмой, действует как антимикробный агент, а повышенная концентрация азотсодержащих соединений также действует как натуральное удобрение. Таким образом, применение обработки растворов холодной атмосферной плазмой является перспективным решением для биомедицины и фармакологии, является перспективной технологией в пищевой, сельскохозяйственной промышленности.

Литература:

1. Melo, T.F.d Plasma–SalineWater Interaction: A Systematic Review / Melo, T.F.d [et al.] // Materials. – 2022. – №15. – 4854 p.
2. Patrick, V. Electrical Discharge in Water Treatment Technology for Micropollutant Decomposition / Patrick Vanraes [et al.]. – 2016.
3. Zeghioud, H. Review on discharge Plasma for water treatment: mechanism, reactor geometries, active species and combined processes / Hichem Zeghioud [et al.] // Journal of Water Process Engineering. – 2020. – №38.
4. Thirumdas, R. Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture / Thirumdas Rohit [et al.] // Trends in food science & technology 77. – 2018. – 21-31 p.
5. Бурмистров, Д. Е. Получение и применение воды, обработанной холодной атмосферной плазмой / Д. Е. Бурмистров и др. // Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН. – 2021. – Москва, Россия.
6. Choi, E. H. Plasma bioscience for medicine, agriculture and hygiene applications / E. H. Choi [et al.] // Journal of the Korean Physical Society. – 2022.
7. He, J. Comparing inactivation of Escherichia coli O157:H7 on fresh produce using plasma-activated mist / J. He [et al.] // Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2024. – №93.

РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Грицев Т.В., Раинчик В.А., студенты

Научный руководитель Морзак Г. И.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассматривается структура Национальной системы радиационного мониторинга Республики Беларусь. Анализируются методы контроля объектов окружающей среды, принципы автоматизированного наблюдения за зонами влияния Белорусской АЭС, а также подходы к радиологическому контролю продукции. В силу постчернобыльского наследия и начала эксплуатации собственной атомной электростанции, радиационный мониторинг в Республике Беларусь относится к числу приоритетных задач государственного уровня.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, Национальная система мониторинга окружающей среды, средства радиационной защиты источников ионизирующего излучения.

Радиационный мониторинг — один из компонентов Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС). Постоянные наблюдения за радиационным фоном проводятся на протяжении нескольких десятилетий и одним из основных направлений функционирования системы является отслеживание как за изменениями его уровня на территории Беларуси, так и своевременно определять внешнюю угрозу загрязнений. В Беларуси НСМОС выполняет такие задачи, как наблюдения за:

- естественным радиационным фоном;
- техногенным радиационным фоном в районах воздействия потенциальных источников радиоактивного загрязнения;
- радиоактивным загрязнением атмосферного воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод;
- для оценки трансграничного переноса радиоактивных веществ;

Развитие НСМОС на территории Беларуси было обусловлено необходимостью ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС [1]. С учетом выявленного ореола, масштаба и уровня радиоактивного загрязнения в первые десятилетия после аварии радиационный мониторинг в зоне максимального загрязнения были преобладающими. В рамках НСМОС проводились масштабные обследования всей территории страны, интенсивно изучались пространственные миграционные процессы радионуклидов в наземных и водных экосистемах.

Сегодня, спустя 40 лет после аварии на ЧАЭС, с учетом проведенных масштабных дезактивационных и восстановительных работ, радиационная

обстановка на пострадавших территориях не относится к аварийной - стабильна, контролируема и предсказуема. Наблюдается снижение доз облучения как за счет естественных физических процессов (радиоактивного распада, горизонтальной и вертикальной миграции), так и проводимых реабилитационных мероприятий.

Материально-техническая база НСМОС постепенно совершенствуется. Для ее обновления широко внедряются системы автоматизация процессов от отбора проб исследуемых объектов окружающей среды до математического анализа и обработки данных.

Для контроля радиационной обстановки в зоне влияния Белорусской АЭС внедрены автоматизированные непрерывно работающие установки, которые позволяют ежедневно производить как отбор проб атмосферного воздуха, так и измерения уровней мощности дозы γ -излучения. Пункты наблюдений НСМОС работают с метеостанциями. Для проведения регулярных ежемесячных наблюдений организация работ по автоматизации отдельных видов наблюдений на стационарных пунктах наблюдения невозможно или экономически неоправданно. Полевые работы по отбору проб остаются важной частью процесса осуществления радиационных измерений. Основные способы отбора проб исследуемых объектов показаны на рисунке 1.

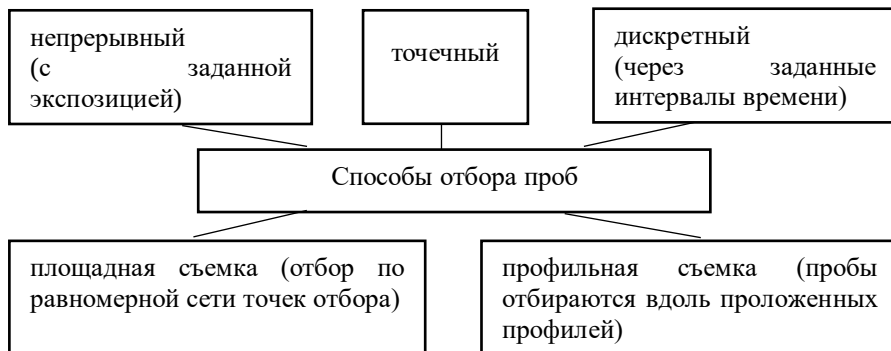


Рисунок 1- Основные способы отбора проб исследуемых объектов

При способе площадной съемки отбираются пробы по равномерной сети точек, что позволяет геохимически картировать территорию, выделять ареалы аномалий и определять источники загрязнений. При профильном отборе проб, учитывается роза ветров относительно источника выброса. Результаты такой съемки позволяют анализировать изменение радиационного загрязнения по мере удаления от источника. В случае обследования территории для оценки плотности загрязнения почвы радионуклидами

учитывается площадь поверхности земли, с которой была взята проба. Первые три способа, как правило, используются при проведении радиационного мониторинга в рамках НСМОС, на выбранных пунктах наблюдений с определенной периодичностью. Четвертый и пятый характерны для масштабных обследований местности в случае инцидентов радиационного характера или при проведении научных исследований.

Для оценки плотности загрязнения почвы радионуклидами учитывается площадь земли, с которой взята проба. Отсутствие одинаковых методических подходов и опыта в проведении подобных обследований не позволяло получать сопоставимые данные. Для разработки и применения унифицированных методик при отборе проб был разработан быстрый и экономичный способ оснащения оборудованием с одинаковыми характеристиками - использовали кольца высотой 5 см, изготовленные из трубы нержавеющей стали определенного диаметра в качестве пробоотборного оборудования.

Место расположение пункта мониторинга вертикальной миграции радионуклидов в почве должно удовлетворять требованиям: охватывать площадь земельного участка 500×500 м (не менее); участок должен оставаться в естественных (не подверженных антропогенному воздействию) условиях с момента последнего радиоактивного загрязнения; размещаться в районах с различным уровнем радиоактивного загрязнения в типичных ландшафтногеохимических условиях.

При неблагоприятных радиационных условиях необходимо использовать средства радиационной защиты источников ионизирующего излучения (СИЗ ИИ). Основным назначением СИЗ ИИ является защита от отрицательного воздействия излучения источниками ИИ с целью снижения риска радиационного облучения и обеспечения безопасности при ведении работ персонала [2]. Наибольшему риску облучения подвергается персонал в следующих сферах экономической деятельности: атомная энергетика, радиоизотопная дефектоскопия, радиохимическая промышленность, медицина (рентгенодиагностика, радиационная терапия, ядерная медицина), ликвидация аварийных ситуаций на АЭС, мероприятия по дезактивации радиоактивного загрязнения, научные исследования с использованием радиоактивных изотопов и с применением ускорителей заряженных частиц.

Изготовление СИЗ ИИ регламентируется требованиями СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» с использованием защитных материалов на основе соединений свинца, барита, вольфрама, кадмия, фтористых соединений. Классификация СИЗ ИИ по назначению представлена на рисунке 2. Содержание основных требований к СИЗ ИИ при их выборе и использовании представлены в таблице.

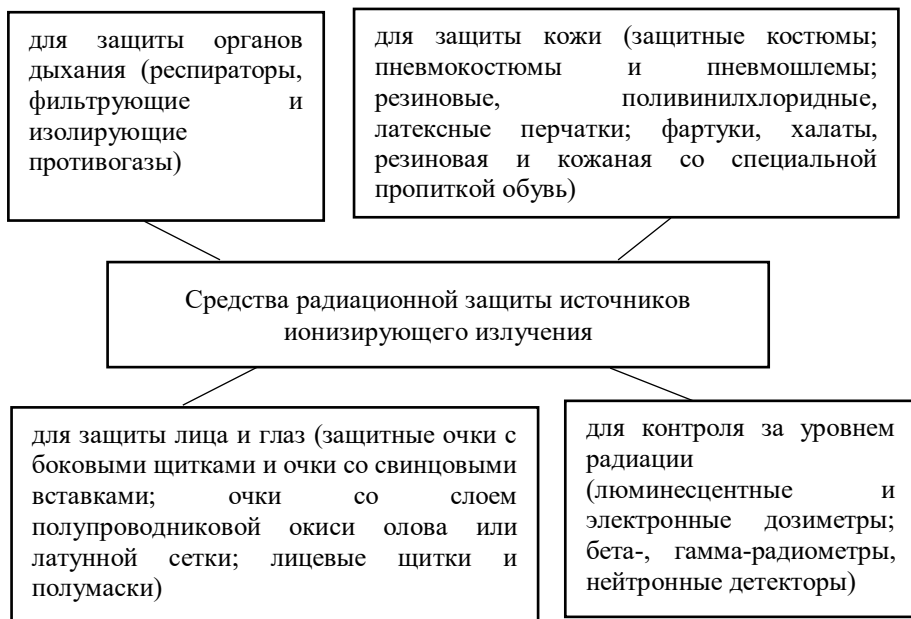


Рисунок 2- Классификация СИЗ ИИ по назначению

Обеспечение радиационной безопасности является неотъемлемым условием устойчивого развития общества, защиты здоровья человека и окружающей среды. Анализ современных подходов к этой проблеме показывает, что эффективная система радиационной безопасности базируется на трех ключевых принципах: обоснования (исключение неоправданного облучения), оптимизации (поддержание доз на минимально возможном уровне) и нормирования (не превышение установленных пределов доз). Критически важную роль в реализации этих принципов играет система радиационного мониторинга. Постоянный контроль за уровнями ионизирующего излучения на объектах использования атомной энергии, в медицинских учреждениях, промышленности, а также в объектах окружающей среды (атмосфера, вода, почва, продукты питания) позволяет своевременно выявлять отклонения от естественного радиационного фона и оперативно реагировать на потенциальные угрозы. Особую значимость радиационный мониторинг приобретает в зонах потенциального риска — вблизи АЭС, предприятий по переработке ядерного топлива, хранилищ радиоактивных отходов. Мониторинг служит научной основой для принятия решений о реабилитации территорий, контроле за продуктами питания и воде,

а также о медицинском наблюдении за облученными группами населения. Несмотря на достигнутые успехи, остаются нерешенные задачи: гармонизация национальных норм радиационной безопасности на международном уровне, создание унифицированных баз данных радиационного мониторинга, повышение доступности дозиметрического контроля для населения (особенно в регионах с природными радиационными аномалиями).

Таблица - Основных требований к СИЗ ИИ

Показатель	Параметр
тип ИИ	альфа-, бета-, гамма-излучение, нейтронное излучение, вторичное ионизирующее излучение
уровень радиационного облучения	размер и мощность дозы, время экспозиции
условия работы	открытые или закрытые помещения, наличие пыли, влаги, других вредных факторов
универсальность и эффективность защиты	обеспечение достаточной степени защиты от всех видов ИИ, существующих на рабочем месте
срок службы	достаточный срок службы, чтобы выдерживать условия эксплуатации
обеспечение комфортности ношения	не должны ограничивать движения человека.

Таким образом, радиационная безопасность и мониторинг образуют единую динамическую систему, эффективность которой определяется не только техническим оснащением, но и организационной структурой, нормативно-правовой базой и уровнем профессиональной компетентности специалистов. Дальнейшее развитие этой системы должно быть направлено на интеграцию в концепцию «нулевого вреда» для человека.

Литература:

1.Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: тридцать лет развития и совершенствования. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: –<https://belgidromet.by/ru/news-ru/view/natsionalnaja-sistema-monitoringa-okruzhajuschej-sredy-respubliki-belarus-tridtsat-let-razvitija-i-6869/>- Дата доступа 28.03.2026.

2.ЭУМК по учебной дисциплине «Безопасность жизнедеятельность человека» для специальности 6-05-0311-02 «Экономика и управление» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Инженерная экология»; сост.: А. А. Хрипович [и др.]. – Минск: БНТУ, 2025.

РАСЧЕТ ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА НА УЧАСТКАХ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ (НА ПРИМЕРЕ ПРОСПЕКТА СТРОИТЕЛЕЙ, Г. НИЖНЕКАМСКА)

Данилов К.О.¹, студент

Научный руководитель Шагидуллин А.Р.^{1,2}

**¹Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, г.Казань, Российская Федерация**

**^{1,2}Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация**

Обоснована необходимость оценки качества атмосферного воздуха в зонах влияния автомагистралей. Проведена апробация расчетных методов определения приземных концентраций компонентов выбросов передвижных источников загрязнения для выбранной автомагистрали. Рассчитано пространственное распределение максимальных разовых концентраций основных компонентов выбросов (частицы РМ_{2,5}, азота диоксид, азота оксид, серы диоксид, углерода оксид, метан, формальдегид, бензин, керосин и группы суммации азота диоксид и серы диоксид) на прилегающих к проспекту Строителей территориях. Оценена степень превышения предельно допустимых концентраций. Наибольшие уровни загрязнения установлены вблизи перекрестков.

Ключевые слова: автотранспорт, выбросы в атмосферу, загрязняющие вещества, выхлопные газы, максимальная разовая концентрация.

Улично-дорожная сеть города является одним из основных элементов планировочной структуры города, обеспечивающая логистические связи между участками городских территорий. Сеть городских улиц и дорог и должна обеспечивать соответствие пропускной способности сети перспективным объемам движения и допустимые уровни загрязнения атмосферного воздуха. В городах происходит постоянный рост численности автотранспортных средств, сопровождающийся увеличением их вклада в уровень загрязнения атмосферного воздуха. Выбросы от автотранспорта поступают на малой высоте с небольшой скоростью в зону дыхания человека. Неблагоприятные параметры рассеивания автомобильных выбросов формируют максимумы концентраций компонентов выбросов, в том числе, в зонах жилой застройки [1].

Уровень загрязнения атмосферного воздуха на участках улично-дорожной сети определяется, в основном, численностью перемещающихся автотранспортных единиц, их техническими параметрами и состоянием дорожного полотна. Разработка методов расчета рассеяния вредного вещества в атмосферном воздухе от передвижных источников загрязнения является

одной из сложно решаемых задач экологического мониторинга качества атмосферного воздуха, ввиду влияния значительного количества факторов на рассеивание компонентов выбросов [2-4].

В рамках настоящего исследования была поставлена задача определения уровня загрязнения воздуха выбросами автотранспорта, на примере нагруженной автомагистрали — проспект Мира (от ул. 30 лет Победы до ул. Баки Урманче) в г. Нижнекамск.

Для определения количества выбросов вредных веществ, поступающих на том или ином участке улично-дорожной сети с выхлопами автотранспорта, используется «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха» [5], разработанная для выполнения инвентаризации выбросов при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха.

Согласно данной методике, определение выбросов основывается на данных наблюдений за интенсивностью движения автотранспорта (количеством проездов за установленный временной промежуток в 20 мин) с выделением 5 отдельных категорий: легковые автомобили, автофургоны и микроавтобусы массой до 3,5 тонн, грузовые автомобили от 3,5 до 12 тонн, грузовые автомобили свыше 12 тонн, автобусы более 3,5 тонн.

Для определения максимальных разовых концентраций вредных веществ наблюдения проводятся в периоды максимальной транспортной нагрузки.

Следующим этапом, на основе полученных данных наблюдений, с учетом представленных в методике пробеговых выбросов (удельных значений выбросов загрязняющих веществ на единицу длины автодороги для каждой категории транспорта) и протяженности исследуемого участка пути, проводится расчет количества выбрасываемых загрязняющих веществ.

Методика позволяет рассчитывать выбросы для следующих вредных веществ (групп веществ): углерода оксид (CO), азота оксид (NO), азота диоксид (NO_2), взвешенные мелкодисперсные частицы $\text{PM}_{2,5}$, бензин, керосин, серы диоксид (SO_2), формальдегид (CH_2O), бензапирен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$), установлены только среднегодовые ПДК), метан (CH_4).

Дальнейшим этапом является проведение расчета рассеивания загрязняющих атмосферный воздух веществ, который позволяет собственно установить ожидаемые концентрации вредных веществ, формируемых на прилегающих к автодороге территориях выбросами автотранспорта.

Расчеты рассеивания проводились с использованием программного обеспечения УПРЗА «Эколог» (4.70). Программа реализует методику расчета рассеивания загрязняющих веществ [6].

Расчеты выполнялись с полным перебором метеорологических условий в пределах климатической характеристики г. Нижнекамск для определения максимальных разовых концентраций. Таким образом, дальнейшие результаты детализированы для веществ, имеющих установленные максимальные разовые предельно допустимые концентрации [7].

После изучения расположения исследуемого участка дороги и находящейся под его влиянием городской застройки, были определены параметры расчетной сетки для проведения расчетов распределения концентраций (полей концентраций). Расчеты проводились для прямоугольника 800*560 м. Шаг расчетной сетки выбран равным 20 м.

Также были определены характерные точки размещения ближайших к проезжей части строений. Расчеты проводились с детализацией максимальных концентраций в точках, указанных в табл. 1.

Таблица 1 — Расчетные точки для детализации максимальных разовых концентраций

Код	Координаты (м)		Высота (м)	Комментарий
	X	Y		
1	2284958,00	458768,50	2,00	Проспект Мира, 95
2	2285301,50	459170,00	2,00	Проспект Мира, 83
3	2285287,50	459333,50	2,00	Проспект Мира, 76
4	2285564,50	459409,00	2,00	Проспект Мира, 75
5	2285085,50	459330,00	2,00	Проспект Строителей, 64
6	2284759,50	459090,50	2,00	Улица Фикрята Табеева, 17

Полученное в результате расчетов распределение концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках указано в табл. 2. Для оценки степени негативного воздействия полученных абсолютных концентраций вредных веществ использовались установленные максимальные разовые предельно допустимые концентрации.

Как можно видеть из табл. 2, ожидаемые максимальные разовые концентрации для углерода оксида, азота оксида, мелкодисперсных частиц PM_{2,5}, бензина, керосина, серы диоксида, формальдегида и метана не

превышают 0,1 ПДК, т.е. 10% от предельно безопасных значений. Для группы 6204 из двух веществ (азота диоксид, серы диоксид) с суммацией вредного воздействия приведенные концентрации составляют значения на уровне ПДК и выше.

Таблица 2 — Распределение концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках

Код вещества	Наименование вещества	Распределение концентраций, доли ПДК
0010	Взвешенные частицы PM _{2,5}	0,012-0,04
0301	Азота диоксид (Двуокись азота; пероксид азота)	0,63-2,18
0304	Азот (II) оксид (Азот монооксид)	0,05-0,18
0330	Сера диоксид	Менее 0,01
0337	Углерода оксид (Углерод окись; углерод монооксид; угарный газ)	0,03-0,11
0410	Метан	Менее 0,01
1325	Формальдегид (Муравьиный альдегид, оксометан, метиленоксид)	Менее 0,01
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый) (в пересчете на углерод)	0,007-0,03
2732	Керосин (Керосин прямой перегонки; керосин дезодорированный)	Менее 0,01
6204	Азота диоксид, серы диоксид	0,39-1,37

Максимальные из полученных значений наблюдаются для диоксида азота. По данному веществу приземные концентрации в часы наиболее

интенсивного движения транспорта при самых неблагоприятных для рассеивания метеорологических условий могут достигать значения, двукратно превышающие ПДК. Полученные поля приземных концентраций для диоксида азота и суммы 6204 представлены на рис.1, 2.

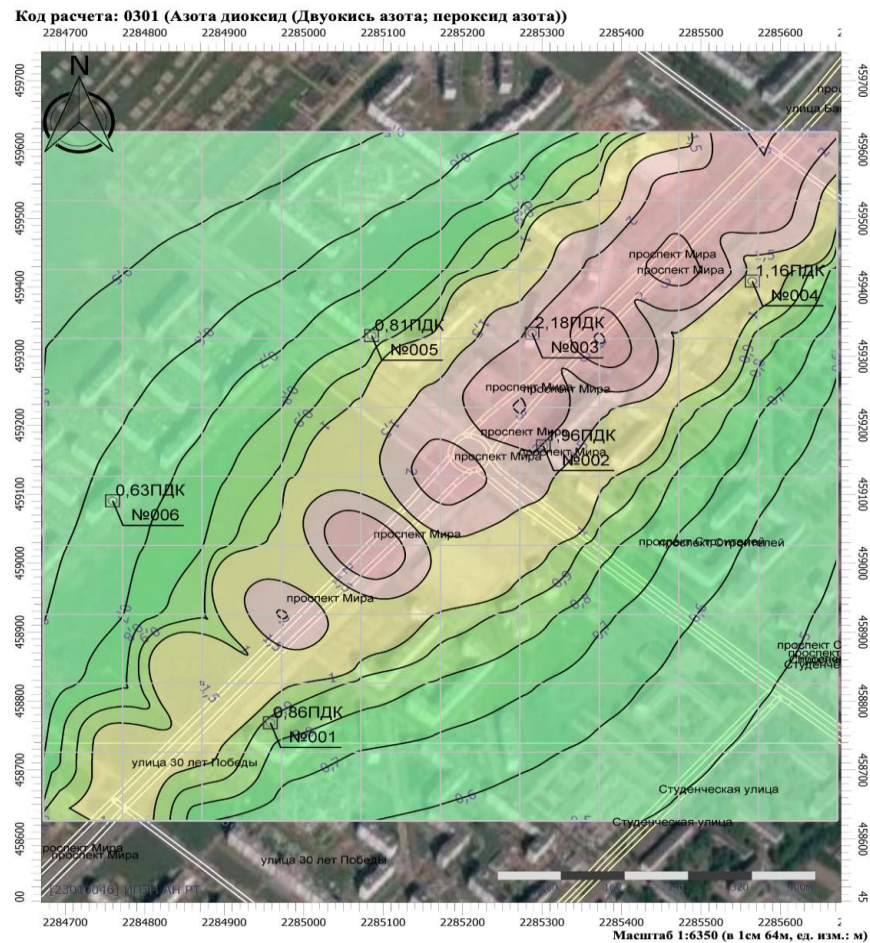


Рисунок1. — Поле максимальных концентраций диоксида азота

Код расчета: 6204 (Азота диоксид, серы диоксид)

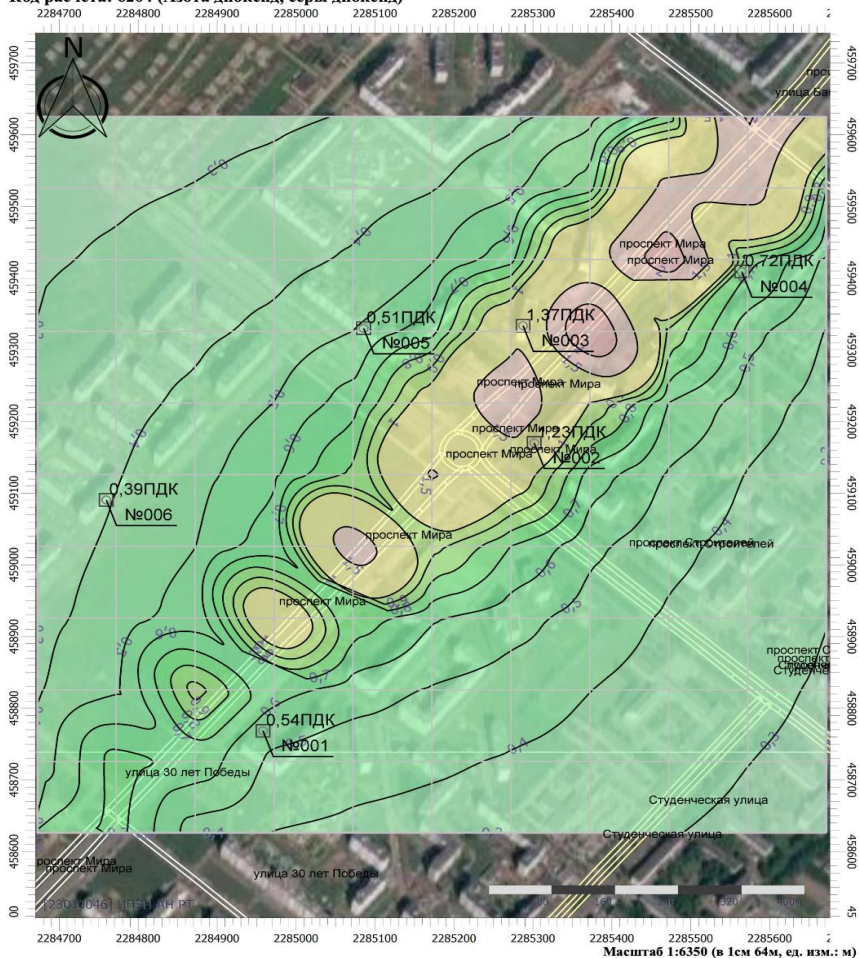


Рисунок 2. — Поле максимальных концентраций суммации 6204

Таким образом, в зависимости от интенсивности движения транспорта на участках улично-дорожной сети и особенностей застройки на прилегающих к автомагистралям территориях, при неблагоприятных условиях автотранспорт может формировать концентрации вредных веществ с превышением действующих ПДК.

Литература:

1. Nikolaeva O. (2018) Review: Road Transport as the Key Source of Environmental Pollution in Cities, and the Associated Human Health Risks. Urban Studies and Practices, vol. 3, no 3, pp. 25–35. DOI: <https://doi.org/10.17323/usp33201825-35>.
2. Тунакова Ю.А., Григорьева И.Г., Шагидуллина Р.А. Области применения моделей для расчета распределения примесей в приземном слое атмосферного воздуха // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 20. С. 163-166.
3. Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Валиев В.С., Григорьева И.Г., Кузнецова О.Н. Разработка моделей прогноза концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха на основании значимых метеорологических параметров // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 179-181.
4. Рахманин Ю.А., Леванчук А.В. Качественная и количественная характеристика загрязнения окружающей среды продуктами эксплуатационного износа компонентов дорожно-автомобильного комплекса // Успехи современной науки. 2016. №4. С. 158-162.
5. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха (утверждена приказом Минприроды России от 27 ноября 2019 года № 804)
6. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273)
7. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2).

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ АДСОРБЕНТОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ CU И NI ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Данилов К.О., студент

Научный руководитель: Галимова А.Р., доцент, к.х.н.

**Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, г.Казань, Российская Федерация**

Эксперименты показали, что использование разработанного композитного сорбента на основе кокосового угля и природного цеолита приводит к выраженному снижению концентрации ионов никеля (Ni^{2+}) и меди (Cu^{2+}) уже в первые 60 минут контакта с модельными растворами. Контрольные замеры проводились через 10, 30 и 60 минут, и по результатам наблюдалось постепенное уменьшение концентрации ионов металлов с течением времени.

Ключевые слова: Тяжелые металлы, композитный сорбент, селективная сорбция, промышленные стоки, адсорбционная способность.

Загрязнение водных объектов промышленными выбросами, в состав которых входят медь и никель, создает существенные риски для экологии и здоровья человека. Накопление ионов Cu^{2+} и Ni^{2+} в гидросфере запускает процессы биоаккумуляции и мутагенеза, оказывая выраженное токсическое воздействие. Для людей последствия контакта с такими загрязнителями проявляются в форме анемии, нарушения репродуктивных функций и замедления физического развития.

В связи с этим критически важной задачей становится внедрение эффективных методов очистки стоков. Особый интерес представляют сорбционные методы с использованием природных компонентов. Применение смешанных сорбентов позволяет достичь синергии, повышая поглонительную способность и избирательность очистки при одновременном снижении эксплуатационных расходов. Данная работа посвящена сопоставительному анализу комбинированных материалов для селективного извлечения ионов Ni^{2+} и Cu^{2+} , а также изучению кинетики их адсорбционной активности.

Технология приготовления фильтроматериалов:

1. Для экспериментальных исследований использовали активированный кокосовый уголь высшего сорта и гидролизный лигнин. Готовили комбинированный фильтроматериал из двух сорбентов в соотношении 1:1. Общая масса навески составила 0,5г.

2. Для экспериментальных исследований использовали цеолитсодержащую породу Татарско-Шатрашанского месторождения,

размером фракции 0,2-0,8 мм и активированный кокосовый уголь высшего сорта. Готовили комбинированный фильтроматериал из двух сорбентов в соотношении 1:1. Общая масса навески составила 0,5г.

3. Для экспериментальных исследований использовали цеолитсодержащую породу Татарско-Шатрашанского месторождения, размером фракции 0,2-0,8 мм и гидролизный лигнин. Готовили комбинированный фильтроматериал из двух сорбентов в соотношении 1:1. Общая масса навески составила 0,5г.

Были подготовлены модельные растворы для ионов металлов Cr(III), Cu(II) и Ni(II) с концентрацией 5 мг/л. В стаканы емкостью 250 мл поместили полученный фильтроматериал массой по 0,5 г с модельными растворами каждого металла объемом 100 мл. Измеряли концентрации ионов металлов в течение 10, 30, 60 минут.

Эффективность сорбции E_s [%] вычислялась для каждого металла по формуле: $E_s = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \cdot 100$;

Где C_0 [$\frac{мг}{л}$] — начальная концентрация металла в растворе, C_e [$\frac{мг}{л}$] — начальная концентрация металла в растворе после адсорбции на сорбенте.

Адсорбционную ёмкость рассчитали по формуле: $A_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \cdot V$;

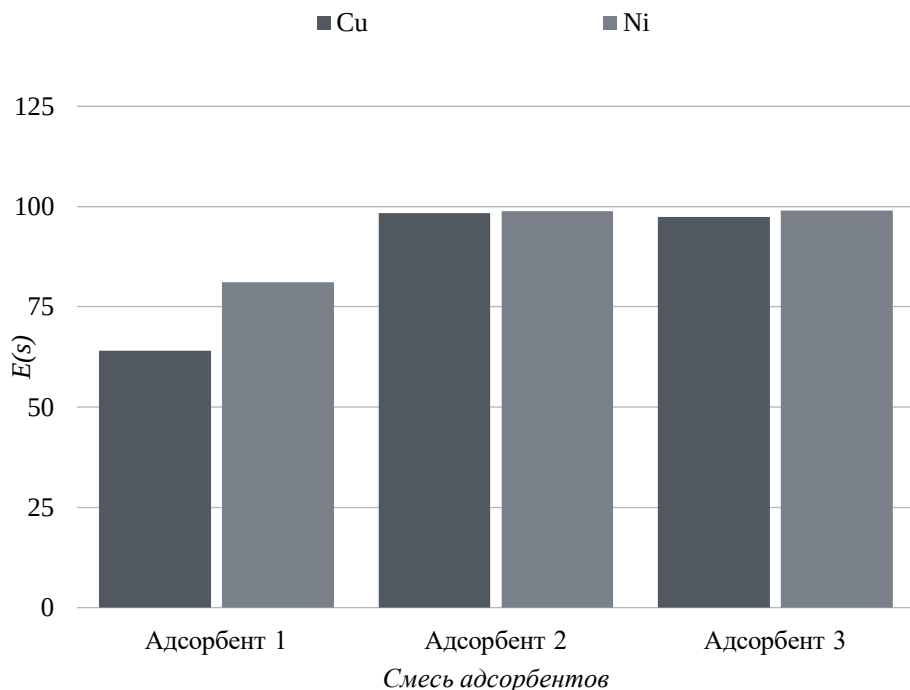
Где A_e [$\frac{мг}{г}$] — адсорбционная ёмкость адсорбента, V [л] — объём, m [г] — масса адсорбента.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1. — Концентрация ионов металлов до и после адсорбции фильтроматериалом.

Металл	Адсорбент	Время [мин]	Концентрация после адсорбции [$\frac{мг}{л}$]

Cu^{2+}	1) активированный кокосовый уголь высшего сорта и гидролизный лигнин	10	3,6	
		30	3,6	
		60	1,8	
Ni^{2+}		10	2,4	
		30	1,7	
		60	0,94	
Cu^{2+}		2) активированный кокосовый уголь высшего сорта и цеолитсодержащая порода Татарско – Шатрашанского месторождения, размером фракции 0,2 – 0,8 мм	10	0,193
			30	0,118
			60	0,084
Ni^{2+}	10		0,056	
	30		0,055	
	60		0,054	
Cu^{2+}	3) гидролизный лигнин и цеолитсодержащая порода Татарско – Шатрашанского месторождения, размером фракции 0,2 – 0,8 мм		10	0,132
			30	0,132
			60	0,132
Ni^{2+}		10	0,064	
		30	0,057	



		60	0,051

Рисунок 1. — Эффективная ёмкость смеси сорбентов по истечению 60 минут

Анализ динамики процесса не показывает конкретных закономерностей. Однако динамика поглощения ионов меди изученными смесями сорбентов демонстрирует менее заметный рост во времени. В случае с ионами никеля временной фактор оказывает существенное влияния на эффективность поглощения. На основе полученных результатов установлено, что композиция из гидролизного лигнина и активированного кокосового угля обладает наименьшим сорбционным потенциалом по отношению к обоим металлам в сравнении с альтернативными составами.

Тем не менее, синергия свойств предложенных материалов позволяет существенно повысить эффективность очистки стоков. Применение данных разработок экономически оправдано за счет доступности сырьевой базы и увеличения ресурса фильтрующих элементов. Подобный подход полностью

соответствует стратегии экологической безопасности и принципам устойчивого природопользования.

Литература:

1. Панфилова О. Н. Степанов С.В., Доочистка сточных вод от ионов тяжелых металлов сорбентами на основе природных материалов // Самарский Государственный технический университет - 2023
2. Е. Г. Филатова, Ю. Н. Пожидаев, О. И. Помазкина, Адсорбция ионов цинка(II) и хрома(III) модифицированными цеолитами // Иркутский национальный исследовательский технический институт – 2020 г.
3. Охрана труда. Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации: официальный сайт. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/c50/4293808608.pdf?ysclid=mnoqy4zvf308263971> (дата обращения: 02.04.2026).
4. Охрана труда. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования: официальный сайт. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/c50/4293808608.pdf?ysclid=mnor8327pb588506270> (дата обращения: 02.04.2026).
5. Шатрова А.С., Богданов А.В., Тюкалова О.В. Сорбция тяжелых металлов лигнинсодержащими осадками целлюлозно-бумажной промышленности // Известия томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 5. – С. 66–74.
6. Линник В. Н., Линник Л. И., Молоток Е. В., Галушков П. А. Концентрационная зависимость сорбции ионов никеля(II) сульфированным гидролизным лигнином // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С: Фундаментальные науки. – 2004. – № 4. – С. 56–58
7. Линников О. Д., Родина И. В., Бакланова И. В., Сунцов А. Ю. Сорбция ионов Cu(II) активированным углём марки БАУ-А // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 554–562.
8. Янкова В.Г., Удянская И.Л., Слонская Т.К. и др. Исследование адсорбционной активности энтеросорбента на основе гидролизного лигнина // Вопросы практической педиатрии. – 2022. – Т. 17, № 1. – С. 150-156.
9. Зиникова И.В., Пяткова А.В., Гротов А.С. Исследование сорбционных свойств цеолитсодержащих пород Татаро-Шатрашанского месторождения по отношению к ионам тяжелых металлов // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 384-391.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕХИМИИ И ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Денисенко В.А.¹, бакалавр

Научный руководитель Шагидуллин А.Р.^{1,2}

¹*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия*

²*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия*

В данной статье приводятся результаты расчета приземных концентраций компонентов выбросов в зоне влияния нефтехимического предприятия с учетом вклада автотранспорта. Проанализировано суммарное загрязнение атмосферы с оценкой вклада транспортных потоков в формирование уровня загрязнения воздуха.

Ключевые слова: рассеивание выбросов, нефтехимическое предприятие, автотранспорт, приземные концентрации, группы суммаций, максимальные разовые концентрации, поля концентраций.

В условиях современного города автотранспорт выступает одним из основных источников поступления загрязняющих веществ в атмосферу, и его негативное воздействие неизбежно усугубляется воздействием стационарных источников загрязнения. В отличие от организованных выбросов из стационарных источников, автомагистраль представляет собой линейный неорганизованный источник выбросов, характеризующийся переменной интенсивностью движения, составом транспортного потока и высотой выброса, близкой к поверхности земли. Комплексный расчет приземных концентраций от стационарных и передвижных источников необходимым для обоснования природоохранных мероприятий и обеспечения экологической безопасности территорий и населения [1-3].

Оценивалось совокупное воздействие выбросов от стационарных источников крупного нефтехимического предприятия, производящего различные виды каучука, гликоли, пластики, полиэфирные и прочую нефтехимическую продукцию, и передвижных источников загрязнения.

При расчете рассеивания определялись концентрации компонентов выбросов в приземном слое атмосферного воздуха (C , мг/м³) [4]. В пределах ближайших жилых зон были определены расчетные точки, а для анализа пространственного распределения концентраций загрязняющих веществ на прилегающей территории задан расчетный прямоугольник размером 18 км на 18 км, с шагом расчетной сетки – 1000 м. Для проведения расчетов

рассеивания использовалось программное обеспечение УПРЗА «Эколог» (версия 4.70) [5].

Расчеты рассеивания для определения максимально разовых концентраций проводились от всех источников предприятия с учетом одновременности их работы, с перебором скоростей ветра в интервале от 0,5 м/с до значения U^* с шагом 0,1 м/с и направлений ветра в интервале от 0 до 360° с шагом 1° (U^* - значение скорости ветра, которая превышает в данном регионе согласно метеорологическим наблюдениям в 5% случаях), с целью определения наиболее неблагоприятных метеорологических условий.

Расчет рассеивания проводился по отдельным веществам, определенным как приоритетные и группам суммаций примесей. Результаты расчетов максимальных разовых концентраций загрязняющих веществ в точках ближайших жилых зон представлены в таблице 1, с выражением в абсолютных величинах, а также в долях предельно допустимых концентраций (ПДК) или ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ).

Таблица 1 – Результаты расчета максимальных разовых концентраций в точках ближайших жилых зон

Код	Наименование	ПДК, мг/м ³	Максимальная концентрация	
			доли ПДК	мг/м ³
0415	Смесь предельных углеводородов C ₁ H ₄ -C ₅ H ₁₂	200	0,0043	,8523
0330	Сера диоксид	0,5	0,0318	,0159
0337	Углерода оксид (Углерод окись; углерод моноокись; угарный газ)	5	0,0431	,2157
0301	Азота диоксид (Двуокись азота; пероксид азота)	0,2	0,8007	,1601
0304	Азот (II) оксид (Азот монооксид)	0,4	0,0650	,0260
2902	Взвешенные вещества	0,5	0,0060	,0030
0303	Аммиак (Азота гидрид)	0,2	0,1959	,0392
6010	Азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол	-	0,8882	-
6038	Серы диоксид и фенол	-	0,0656	-
6043	Серы диоксид и сероводород	-	0,0442	-
6204	Азота диоксид, серы диоксид	-	0,5173	-
6003	Аммиак, сероводород	-	0,2039	-

На рисунке 1 в качестве примера результатов расчетов приведена карта полей изолиний с расчетами максимальных разовых концентраций для группы суммации 6010 (азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол).

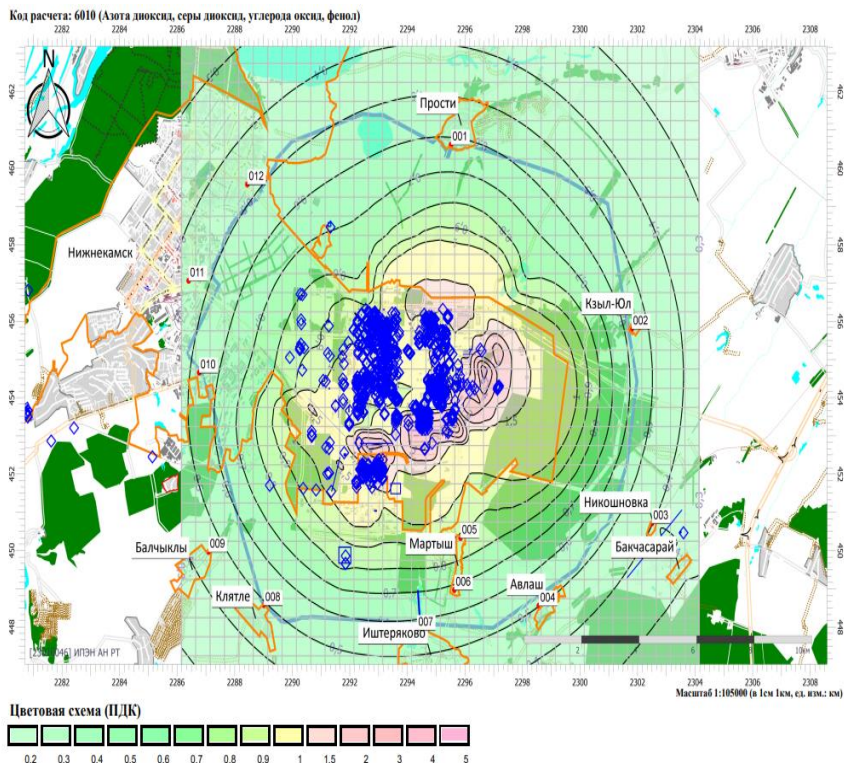


Рисунок 1 – Поля максимальных разовых концентраций группы суммации 6010 (азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол) в зоне влияния предприятия

Для оценки вклада выбросов автотранспорта, движущегося по прилегающей дорожной сети, в формирующийся уровень загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха, на представленном ниже рисунке 2 приведены поля максимальных разовых концентраций загрязняющих веществ, рассчитанные с учётом одновременного влияния как промышленных источников предприятия, так и автомобильной дороги. Такой комплексный подход позволяет более достоверно оценить реальную экологическую

Код расчета: 6010 (Азота диоксид, серы диоксида, углерода оксид, фенол)

Масштаб 1:115000 (в 1 см 1,2 км, ед. изм.: км)

135

Учет вклада выбросов автотранспорта дополнительно к выбросам стационарных источников предприятия нефтехимии вносит значительные изменения получаемые поля концентраций. Изолинии концентраций охватывают жилые районы за пределами промзоны с увеличением концентраций компонентов выбросов, поступающих и от стационарных и от передвижных источников загрязнения.

Таким образом, необходимость учета выбросов автотранспорта при оценке влияния стационарных источников выбросов связана с более адекватным определением зон распространения компонентов выбросов и определением требуемого комплекса природоохранных мероприятий.

Литература:

1. Тунакова Ю. А., Новикова С. В., Шагидуллина Р. А., Шагидуллин А. Р. Повышение точности расчетов приземных концентраций примесей в зоне действия полимерных производств (на примере оксида углерода) // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 20. – С. 179-180.
2. Тунакова, Ю. А. Области применения моделей для расчета распределения примесей в приземном слое атмосферного воздуха / Ю. А. Тунакова, И. Г. Григорьева, Р. А. Шагидуллина // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 20. – С. 163-166.
3. Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Валиев В.С., Григорьева И.Г., Кузнецова О.Н. Разработка моделей прогноза концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха на основании значимых метеорологических параметров//Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 179-181.
4. Приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (зарегистрировано в Минюсте России 10.08.2017 № 47734).
5. УПРЗА «Эколог» 4.60 [Электронный ресурс] // ОАО Фирма «Интеграл». URL: <https://integral.ru/shop/cargo/372.html> (дата обращения 01.04.26).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРЕДПРИЯТИЙ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Денисюк Д.В., студент

Научный руководитель Морзак Г. И.

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь, Минск

Хлебопекарная промышленность — важнейшая отрасль пищевой промышленности, обеспечивающая население хлебом и играющая значительную роль в социальной и политической стабильности страны. Высокая производительность труда в этой сфере достигается благодаря современному техническому оснащению. Производственный процесс включает использование оборудования для бестарного хранения муки и других ингредиентов, просеивания, дозирования, замеса и разделки теста, формования, расстойки, выпечки, упаковки, заморозки и разморозки полуфабрикатов, а также нарезки готовой продукции.

В статье рассмотрены основные стадии технологического процесса приготовления хлебобулочных и кондитерских изделий. Показаны основные воздействия исследуемого производства на окружающую среду.

Ключевые слова: технологический процесс, хлебобулочные и кондитерские изделия, природоохранные меры, воздействия на окружающую среду.

Предприятий хлебопекарной промышленности производит широкий ассортимент продукции, основными категориями которой являются:

- хлеб. Различные сорта хлеба из пшеничной, ржаной, ржано-пшеничной муки и их смесей. Сюда входят традиционные сорта (например, нарезной батон, формовой хлеб, подовый хлеб), так и более специализированные виды (например, цельнозерновой хлеб, хлеб с отрубями, бездрожжевой хлеб, диетические сорта);

- батоны. Мягкие хлебобулочные изделия, как правило, из пшеничной муки, различных форм и размеров;

- булочные изделия. Сладкая и несладкая выпечка, включая булочки, рогалики, пирожки, ватрушки, сочники, круассаны, пончики и многое другое. Они могут быть с различными начинками (фруктовыми, творожными, мясными, овощными) и без них;

- сдобные изделия. Выпечка с высоким содержанием сахара, жиров и яиц, такая как кексы, рулеты, куличи, печенье, пряники;

- диетические хлебобулочные изделия. Продукция, разработанная для людей с особыми потребностями в питании, например, хлеб с пониженным содержанием углеводов, безглютеновый хлеб, хлеб с пониженным содержанием соли.

Технологический процесс на хлебозаводе — это последовательность операций, которые превращают сырье (муку, воду, дрожжи и др.) в готовые хлебобулочные изделия [1 - 3].

Для приготовления хлебобулочных и кондитерских изделий на хлебозаводе осуществляется последовательность технологических процессов и операций:

подготовительные операции →приготовление теста →разделка теста →выпечка →охлаждение, упаковка и хранение →реализация продукции

Подготовительные операции. Все поступающее сырье, вспомогательные, тароупаковочные материалы и выпускаемая продукция должны отвечать требованиям действующих стандартов, технических условий, медико-биологических требований, иметь гигиенические сертификаты или качественные удостоверения.

Подготовка сырья к производству производится в отдельном помещении - подготовительном отделении.

Растваривание сырья, полуфабрикатов и подсобных материалов производится после предварительной очистки тары от поверхностных загрязнений. Мешки с сырьем перед опорожнением очищают щеткой и аккуратно вспарывают по шву. Бидоны и банки с сырьем зачищают от поверхностных загрязнений и дезинфицируют. Стекланные банки и бутылки тщательно осматривают и отбирают разбитые и треснувшие. После вскрытия тары сырье пересыпается или перекладывается во внутрицевую маркированную тару.

Приготовление теста. Мука просеивается для удаления примесей и насыщения кислородом. Дрожжи должны пройти стадию активирования (разводятся в теплой воде с добавлением небольшого количества сахара). Согласно рецептуре, все ингредиенты точно дозируются с помощью автоматических весов и дозаторов, соль и сахар растворяются в воде и подготавливаются другие добавки (например, масло, молоко, улучшители теста). Это критически важный этап, так как от точности дозирования зависит качество теста и готового хлеба. Ингредиенты смешиваются в тестомесильной машине. Цель замеса — равномерно распределить все компоненты и сформировать клейковину. В процессе замеса тесто насыщается кислородом. Параметры замеса (время, скорость) зависят от вида теста и типа муки. Замешанное тесто помещается в специальные емкости для брожения при определенной температуре и влажности. Дрожжи начинают активно размножаться, выделяя углекислый газ, который разрыхляет тесто. В процессе брожения также происходят сложные биохимические процессы, влияющие на вкус и аромат будущего хлеба. Длительность брожения зависит от способа тестоведения и рецептуры.

Разделка теста. По окончании процесса брожения тесто проходит стадию разделки, которая включает в себя следующие операции:

- деление теста на куски;
- округление тестовых заготовок;
- предварительная расстойка;
- тестовых заготовок;
- окончательная расстойка.

Выпечка. После расстойки тестовые заготовки аккуратно помещаются в печь. Внутри печи поддерживается высокая температура (от 180 до 280°C, в зависимости от сорта хлеба и типа печи). Тепло передается тесту несколькими способами: конвекцией (горячим воздухом), кондукцией (через контакт с горячей поверхностью пода или формы), и излучением (от нагревательных элементов печи). Под действием высокой температуры влага с поверхности теста испаряется, образуя румяную корочку. Цвет корочки зависит от температуры выпечки, вида муки и наличия добавок. В начальной стадии выпечки брожение продолжается за счет остаточной активности дрожжей. Тесто увеличивается в объеме (происходит "пружинистость" или "подъем"). Крахмал в тесте клейстеризуется, поглощая влагу и образуя структуру мякиша. Белки в тесте денатурируются, фиксируя структуру мякиша. При выпечке происходят сложные химические реакции (реакция Майяра), которые формируют характерный аромат и вкус хлеба. Операторы контролируют температуру и время выпечки, чтобы обеспечить равномерное пропекание и желаемый цвет корочки.

Охлаждение, упаковка и хранение. Следующими этапами в приготовлении готовой продукции являются постепенное охлаждение изделий до определенной температуры, упаковка готового продукта для сохранения ее свежести и товарного вида, хранение готовой продукции на складе перед отправкой в торговые точки.

Реализация продукции. Хлеб и хлебобулочные изделия реализуются в соответствии с требованиями правил по осуществлению торговли данной продукцией, а также с соблюдением сроков и правил по хранению и перевозке. На каждую партию хлеба, хлебобулочных, кондитерских изделий разрабатываются сертификаты и удостоверения качества.

Продажа хлеба и хлебобулочных изделий производится в специализированных фирменных хлебных и хлебокондитерских магазинах, хлебных отделах продовольственных магазинов и универсамов, в магазинах потребительской кооперации по торговле товарами повседневного спроса, хлебных и продовольственных палатках, павильонах, автомагазинах и из автоматов.

Готовая продукция перевозиться в специально выделенном для перевозки транспорте. Хлеб, хлебобулочные и кондитерские изделия при

погрузке и выгрузке должны быть защищены от воздействия атмосферных осадков. Все готовые изделия после выхода из печи могут находиться розничной торговле не более:

- 36 часов - хлеб из ржаной и ржано-пшеничной и ржаной обдирной муки, а также смеси пшеничной и ржаной сортовой муки;
- 24 часов - хлеб из пшенично-ржаной и пшеничной обойной муки, хлеб и хлебобулочные изделия массой более 200 г из сортовой пшеничной, ржаной сеянной муки;
- 16 часов - мелкоштучные изделия массой 200 г и менее (включая бублики).

По истечении этих сроков хлеб и хлебобулочные изделия изымаются из продажи и возвращаются на хлебозавод как черствые.

Предприятий хлебопекарной промышленности, как и многие другие промышленные предприятия, оказывают определенное воздействие на окружающую среду. Это воздействие проявляется в следующих основных аспектах:

1. Выбросы в атмосферу:

- продукты сгорания топлива. При работе печей, особенно устаревших моделей, в атмосферу выбрасываются продукты сгорания топлива (углекислый газ, оксиды азота, серы и др.), которые способствуют загрязнению воздуха и изменению климата;

- мучная пыль. В процессе производства образуется мучная пыль, которая может вызывать загрязнение воздуха в районе предприятия;

2. Сбросы сточных вод:

- моющие средства. Сточные воды могут содержать остатки моющих средств, используемых для очистки оборудования;

- органические вещества. В стоках присутствуют органические вещества, которые при попадании в водоемы могут привести к их загрязнению и нарушению экологического баланса;

3. Образование отходов:

- упаковочный материал;
- брак продукции;
- остатки сырья (например, обрезки теста).

4. Потребление ресурсов:

- энергопотребление. Хлебозаводы потребляют значительное количество энергии для работы печей, тестомесильных машин и другого оборудования.

- водопотребление. Производство хлеба требует значительных затрат воды.

Для минимизации воздействий на компоненты окружающей среды от производственной деятельности на предприятии необходимо разрабатывать и осуществлять комплекс природоохранных и природозащитных мер. Основными мероприятиями по реализации этих мер являются [4, 5]:

- модернизация оборудования. Использование современных печей с более высокой эффективностью и меньшим валовым объемом выбросов;
- системы очистки воздуха. Установка фильтров для улавливания мучной пыли и других загрязняющих веществ;
- очистка сточных вод. Применение систем и сооружений по очистке производственных сточных вод перед их сбросом.
- совершенствование системы обращения с отходами. Использование мало- и безотходных технологий;
- энергосберегающие технологии. Внедрение инновационных технологий, позволяющих снизить потребление энергии и воды.
- использование экологически безопасной упаковки. Переход на биоразлагаемую или перерабатываемую упаковку.

Приоритетными направлениями в развитии хлебопекарной промышленности РБ являются:

- повышение уровня производства, внедрение прогрессивных экологически безопасных и ресурсосберегающих технологий;
- разработка новых технологий и лечебно-профилактического ассортимента хлебобулочных изделий;
- улучшения качества изделий, повышения микробиологической безопасности и сохранения свежести готовой продукции;
- совершенствование инвестиционной и маркетинговой деятельности предприятий хлебопекарной отрасли.

Литература:

1. Бурчакова И. Ю. Организация процесса приготовления и приготовление сложных хлебобулочных, мучных кондитерских изделий: учеб. для студентов учреждений сред. проф. образования/ И. Ю. Бурчакова, С. В. Ермилова.- М.: Изд. Центр «Академия», 2016.- 384с.
2. Ауэрман, Л. Я. Технология хлебопекарного производства: учеб. / Л. Я. Ауэрман. – 9-е изд., перераб. и доп. – М: Профессия, 2009. – 416 с.
3. Пашенко, Л. П. Технология хлебобулочных изделий: учеб. пособие / Л. П. Пашенко, И. М. Жаркова. – М.: Колос С, 2008. – 389 с.
4. Ветошкин, А. Г. Процессы и аппараты защиты окружающей среды / А. Г. Ветошкин. - М.: Высшая школа, 2008. -639 с.
5. Буторина, Л. Ф. Инженерная экология и экологический менеджмент: учеб. / М. В. Буторина, Л. Ф. Дроздова, Н. И. Иванов; под ред. Н. И. Иванова. - М.: Логос, 2004. - 520 с.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ОАО "КОБРИНСКИЙ МАСЛОДЕЛЬНО- СЫРОДЕЛЬНЫЙ ЗАВОД

Денисюк Д.В., студент

Научный руководитель Морзак Г.И.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье рассмотрены экологические аспекты работы ОАО «Кобринский МСЗ». Освещены вопросы водоотведения, спользования биорегулятора «Биофокс», внедрения системы нанофльтрации и повторного использования конденсата для экономии ресурсов.

Ключевые слова: ОАО «Кобринский МСЗ», охрана окружающей среды, сточные воды, водопользование, очистные сооружения, нанофльтрация, биорегулятор «Биофокс», ресурсосбережение, специальное водопользование, водоотведение, водопотребление.

Открытое акционерное общество «Кобринский маслодельно-сыродельный завод» это предприятие с 80-летним опытом работы и уникальными традициями производства. История ОАО «Кобринский маслодельно-сыродельный завод» берет начало в 1939 году. В помещении бывшей панской конюшни был оборудован и начал работать маслозавод. После Великой Отечественной войны помещения были реконструированы. С каждым годом увеличивалось поступление молока и появилась необходимость в расширении производства. Было принято решение о строительстве нового, оснащенного современной техникой и технологией завода. [1]

Сегодня ОАО «Кобринский МСЗ» современное предприятие со своими традициями, высокой культурой производства, оснащённое современным автоматизированным оборудованием, высококвалифицированными специалистами.

ОАО «Кобринский МСЗ» выпускает более 150 наименований продукции. Основу ассортимента составляет сыры полутвёрдые, твёрдые, мягкие, масло, цельномолочная и кисломолочная продукция, мороженое, сыры плавленые, майонез и соус майонезный, молоко сухое цельное и обезжиренное, сухая молочная сыворотка, сыворотка молочная концентрированная, заменители цельного молока. [2]

Деятельность ОАО «Кобринский МСЗ» связана с воздействием на окружающую среду, деятельность предприятия в области экологической безопасности и охраны окружающей среды является одним из приоритетных направлений.

Основополагающие принципы политики предприятия в области экологической безопасности и охраны окружающей среды:

- снижение отрицательного воздействия производственной и иной деятельности на окружающую среду и предотвращение ее загрязнения;
- рациональное использование природных ресурсов, сырья, материалов;
- постоянное совершенствование методов управления природоохранной деятельностью.

Сточные воды образуются на всех стадия производства, так как мойку резервуаров, насосов и трубопроводов для молочного сырья проводят ежедневно по мере их опорожнения в следующей последовательности:

- ополаскивание водой,
- промывание щелочным раствором,
- ополаскивание от остатков щелочного раствора, и обработка горячей водой для дезинфекции.

По мере образования минеральных отложений из-за жесткости воды необходима кислотная мойка не реже 1 раза в 15–20 дней кислотным раствором. При мойке стеклянной и полимерной тары используют также щелочные и кислотные моющие средства.

Сточные воды, образующиеся при переработке молока делятся на загрязненные и незагрязненные. Источником незагрязненных сточных вод служат конденсаты холодильных установок, используемых для охлаждения молока и молочной продукции. Загрязненные сточные воды являются продуктом, образующимся после мытья оборудования, технологической трубопроводной системы, емкостей для транспортировки различного объема, в том числе автомобильных и железнодорожных цистерн, фляг и прочей тары. Также источником образования загрязненных сточных вод являются стоки после уборки производственных помещений, мытья панелей и полов. Загрязненные сточные воды составляют 20–50% от общего объема образующих стоков. Они состоят из проливов молока и продукции из него, остатков моющих веществ, применяемых при мойке емкостей для перевозки и хранения молока и молочной продукции, отходов производства продукции, а также стоков, образующихся при мытье производственных помещений.

ОАО «Кобринский МСЗ» строго соблюдает законодательство РБ об охране окружающей среды с целью снижения (предотвращения) вредного воздействия на окружающую среду, повышает экологическую культуру, рационально использует природные ресурсы (экономить воду и электроэнергию). выполнение операции идет строго по установленным технологическим процессам, предотвращая вредное воздействие на окружающую среду, аварийные инциденты и ситуации и выполняя требования экологической, производственной и пожарной безопасности.

На ОАО «Кобринский МСЗ» имеется разрешение на специальное водопользование №Бел16/БРС. Разрешение выдано 26 января 2012 года и действительно до 25 января 2027 года.

Учет расхода сточных вод производится косвенным методом. Производительный аналитический контроль за качеством сточных вод, отводимых в канал Бона, производится производственной лабораторией предприятия, аттестат аккредитации: ВУ/112 02.2.0.1256 от 30.06.2000.

Водозаборные скважины эксплуатируются поочередно, обеспечивая хозяйственно-питьевые и производственные нужды предприятия.

Нормативно-расчетная потребность в подземных водах ОАО «Кобринский МСЗ» составляет 2268,5 м³/сут (828 тыс. м³/г). Суммарная производительность водозаборных скважин на момент их бурения – 4008 м³/сут.

Сточные воды ОАО «Кобринский МСЗ» отправляются на районные очистные сооружения водоканала с допустимыми ПДК.

Очистные сооружения г. Кобрин введены в эксплуатацию в декабре 1980 года. Проектная производительность очистных сооружений 16000 м³/сут. В настоящее время на очистные сооружения поступает около 8000–10000 м³/сут. сточных вод. Технологическая схема очистных сооружений города Кобрин представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – технологическая схема очистных сооружений города Кобрин

На предприятии проведен ряд мероприятий позволяющих снизить потребление воды:

- использование новых фильтрующих элементов на установке нанофильтрации NF в цехе СОМ и мороженого,
- внедрена система подогрева тепла сыворотки для подогрева молока (рисунок 2),



Рисунок 2 – Система подогрева тепла сыворотки для подогрева молока

- внедрены автоматические конденсаторные установки на трансформаторных подстанциях,
- осуществляется сбор конденсата со всех моечных станций и со всего оборудования в цехе по производству полутвердых сыров и возврат конденсата с целью повторного использования для нужд котельной,
- осуществляется сбор воды с последнего ополаскивания технологического оборудования для предварительного ополаскивания технологического оборудования,
- установлена система мойки высоким давлением для санитарной обработки автомолцистерн в приемно- моечном отделении,
- установлена централизованная система пенной мойки низким давлением для наружной обработки технологического оборудования, полов и стен,
- в 2019 г. была расширена производительность установки сгущения сыворотки нанофильтрации в цеху СОМ и мороженого с 25 т/час до 35 т/час, что привело к сокращению использования воды для мойки оборудования.

Установка вышеуказанного оборудования имеет следующие преимущества:

- расход моющих средств сокращается в пять раз,
- экономия общего водопотребления на нужды санитарной обработки,
- снижается нагрузка на канализационные сети.

В 2021 году на ОАО «Кобринский МСЗ» были разработаны нормативы водоотведения и водопотребления согласованные Брестским областным комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды. На основании решения от 1 декабря 2021 г. № 160 выдано разрешение на специальное водопользование сроком на пять лет с 01.12.2021 г. по 01.12.2026 г.

С 2020 года предприятие использует биорегулятор «Биофокс» для нормализации ПДК сточных вод и снижения нагрузки на канализационные сети КУПП «Кобринрайводоканал».

Ведется постоянный мониторинг за сбором сточных вод, отводимых для очистки в городскую канализацию, дождевых (талых) сточных вод, сбрасываемых в канал Бона, кроме того, ежемесячно осуществляется контроль сточной воды на выпуске в горканализацию лабораторией канализации КУПП «Кобринрайводоканал». Был установлен счетчик РСВУ 1400 Ду 50 №1907001 водоотведения для определения количества сбрасываемого пермиата в сети канализации [3].

В 2020 году была проведена переоценка запасов подземных вод ООО «Интерпоиск». Разработан «Отчет о результатах переоценки эксплуатационных запасов пресных вод участка водозабора ОАО «Кобринский МСЗ» по состоянию на 24.12.2020 год».

Литература:

1. ОАО «Кобринский МСЗ» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kobrincheese.com/>. Дата доступа: 05.04.2026.
2. Ассортимент продукции ОАО «Кобринский маслодельно-сыродельный завод».
3. Водопотребление и водоотведение ОАО «Кобринский маслодельно-сыродельный завод».

ОЦЕНКА УРОВНЯ НАКОПЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ЛАБОРАТОРИЯХ УНИВЕРСИТЕТА

Дубанос Д.А., студент

Научный руководитель: Юхневич Г.Г.

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно

В статье рассматриваются отличия в динамике содержания углекислого газа в воздухе микробиологической и химической лабораториях учебного корпуса университета при проведении занятий.

Ключевые слова: лаборатории университета, углекислый газ, объемная концентрация, динамика.

Контроль качества микроклимата в помещениях учебных и научных учреждений является важным фактором обеспечения безопасности, комфорта, продуктивности сотрудников и обучающихся. Одним из ключевых показателей воздушной среды является концентрация углекислого газа, повышенный уровень которого напрямую влияет на когнитивные функции, внимание и работоспособность. Высокие концентрации углекислого газа увеличивают частоту и глубину дыхания, сначала вызывают учащение сердцебиения, а затем, наоборот, брадикардию. В связи с увеличением вязкости крови значительно увеличивается и нагрузка на сердце. Изменения в центральной нервной системе также носят фазный характер: сначала наблюдается повышение, а затем снижение возбудимости нервных образований [1].

Лабораторные помещения учебных и научных учреждений обладают рядом специфических особенностей, влияющих на режим воздухообмена. К ним относятся высокая плотность техники и оборудования, наличие экспериментальных установок, переменная интенсивность использования приборов, вентиляционная система и др. В учебных заведениях оптимальным уровнем концентрации CO_2 в помещении принимается диапазон: 800–1000 ppm. Отметка на уровне 1400 ppm является пределом допустимого содержания углекислого газа в помещении. Если его больше, то качество воздуха считается низким [1,2].

Цель работы – оценка уровня углекислого газа в воздухе микробиологической и химической лабораторий высшего учебного заведения при проведении учебных занятий.

Динамику накопления углекислого газа измеряли в химической и микробиологической лабораториях учебного корпуса факультета биологии и экологии ГрГУ имени Янки Купалы. Объем микробиологической лаборатории составляет 105,9 м³, химической – 107,7 м³. Исследования проводили на

протяжении трех последовательных сдвоенных учебных занятий длительностью 85 мин, включая 5-минутный перерыв (пар). Пары начинались в 8:30, 10:05 и 11:40. Количество учащихся составляло 12 человек.

Для измерения концентрации углекислого газа использовали газоанализатор «Стационарный комплекс анализа химического состава воздуха» (СКВ – 02.00.000 РЭ) (производитель – Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси). Объемную долю углекислого газа измеряли в ppm (*partspermillion*– частей на миллион), что соответствует 10^{-6} или 0,0001%.

На рисунках 1 и 2 представлена изменение уровня углекислого газа в лабораториях университета при проведении учебных занятий в осенний период. Установлено, что содержание углекислого газа значительно меняется в течение дня и зависит от разных факторов.

В микробиологической лаборатории в течение 1-ой пары наблюдается постепенное накопление углекислого газа с повышением значений до 1800 ppm, что связано с длительным использованием спиртовок и недостаточном воздухообмене при пребывании студентов (рис. 1). После проветривания путем открытия окон в течение 2-й пары отмечается снижение концентрации углекислого газа до 650 ppm с последующей стабилизации на уровне 600 ppm на протяжении 3-й пары.

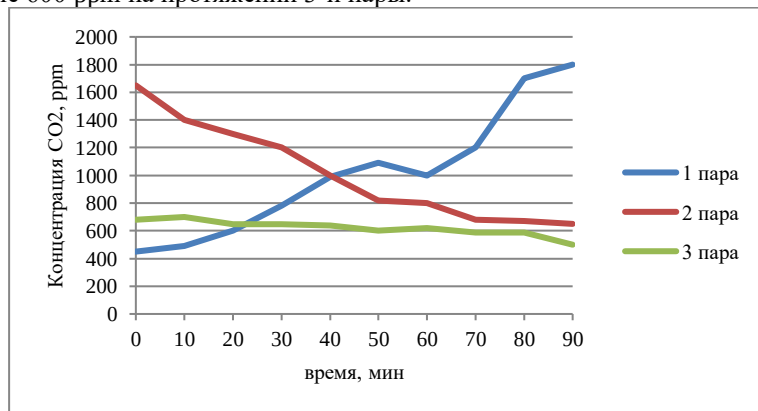


Рисунок 1 – Динамика объемной концентрации углекислого газа в микробиологической лаборатории

Иная картина наблюдается в химической лаборатории, где во время проведения всех занятий фиксируются более высокие показатели. К середине 1-й пары концентрация углекислого газа достигла 1800 ppm, а к концу – 2340 ppm (рис. 2). Такой высокий уровень загрязнения сохраняется в учебном помещении на протяжении проведения 2-й пары. Это обусловлено совокупностью факторов,

таких как высокая плотность студентов, выделение углекислого газа в ходе химических реакций, недостаточная эффективность вытяжных шкафов и приточно-вытяжной вентиляции. Последующее проветривание путем открытия окон в течение 20 мин во время 2-й пары и всей 3-й пары привело к снижению концентрации углекислого газа до 910–1200ppm.

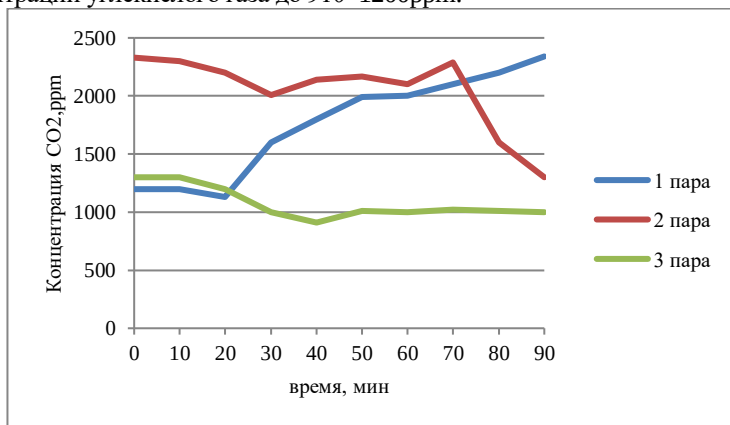


Рисунок 2 – Динамика объемной концентрации углекислого газа в химической лаборатории.

Таким образом, в воздухе при проведении занятий в химической лаборатории университета углекислого газа накапливается в 1,9 раза выше по сравнению с микробиологической лабораторией. В периоды пиковой учебной нагрузки качество воздушной среды в лабораториях не соответствует рекомендуемым санитарно-гигиеническим нормам, что может способствовать снижению концентрации внимания, повышенной утомляемости студентов и преподавателей. Полученные данные обосновывают необходимость усиления вентиляционного режима, регулярного проветривания с целью обеспечения безопасных и комфортных условий образовательного процесса.

Литература:

1. Новосельцев, В.Г. Проблема превышения содержания углекислого газа в воздухе жилых и общественных зданий/ В.Г. Новосельцев, С.В. Бойко, Д.В. Матлашук // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2020. – №2. – С. 68 – 70.
2. Здания жилые и общественные нормы воздухообмена: ГОСТ 30494-2011. – Введ. 01.01.13. – М: Межгосударственная научно-технической комиссия по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (МНТКС): Технический комитет по стандартизации ТК 465 «Строительство», 2019 – 6 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИРОДООХРАННОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОДЕКС

Жданко М.Р., студент

Научный руководитель Макаревич Н.Ю.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассматривается вопрос о принятии в обозримом будущем законодательного проекта – Экологического Кодекса Республики Беларусь. В настоящее время законодательная сторона экологического правового регулирования не систематизирована и требует структурирования правовых норм в природопользовании и охранной деятельности Республики Беларусь.

Ключевые слова: Экологический Кодекс, экологическое законодательств, охрана окружающей среды.

В современном высокотехнологичном мире, где высокий темп потребления и нерационального использования природного потенциала превышает возобновление природных ресурсов, экологическое образование и просвещение выступают приоритетом и единственным безопасным путем развития цивилизованной страны и всего человечества в целом. В настоящее время экология — это наука не только о всех живых формах и взаимосвязь между ними в окружающей среде, но и синтез научно-практического знания антропогенного воздействия на системы природы, человека и мира как единого организма.

Накопление опыта в экологической области (катастрофы, чрезвычайные ситуации, глобальные изменения климата и др.) позволяет осознать критичность и кризисные изменения необратимых процессов в природе. В связи с этим, дальнейшее развитие общества должно происходить, интегрируя экологические блоки знаний на всех уровнях государства: экономическом, политическом, духовном, социальном.

Для интегрирования в тенденции развития и создания безопасных условий жизни, необходимо учитывать следующие критерии:

- Законодательная база правоприменения и правоотношений в области охраны окружающей среды;
- Разработкам в научной сфере сосредоточить внимание на безотходные технологии, переработку техногенного накопленного массива отходов и

модернизацию действующих технологических процесс рационально используя весь потенциал природного капитала;

- Все уровни образовательной системы ориентировать на экологический вектор, повышения ответственности («экослед»), воспитание высоконравственных и цельных личностей;
- Обеспечить заинтересованность и фокус передовых промышленных комплексов на проведение природоохранных мероприятий и проектов экологического характера;
- Повышение экологической грамотности населения, беспрепятственный доступ к экологической информации по выбросам/сбросам/отходам.

В Республике Беларусь в 2024-2025 гг. для дальнейшего функционирования законодательной базой в области охраны окружающей среды перед Министерством природных ресурсов была поставлена задача по созданию нового правового акта – Экологического кодекса. Для оптимизации действующего массива правовых актов (8 законов и 6 кодексов по составляющим природы) с разработанными новыми блоками (квотирование, дополнение в экологической экспертизе, а также стимулирующие инструменты по внедрению «зеленой экономики» и др.) кодекс включает в себя: 10 разделов, 43 глав и 349 статей – на стадии проекта, документ состоит из 513 страниц печатного текста и таблиц.

В качестве одного из разделов регулирования в рамках Экологического кодекса рекомендуется включить правоотношения, связанные с охраной окружающей среды и рациональным природопользованием при внедрении наилучших доступных технологий. Такой подход должен учитывать баланс с международными требованиями и нормами, действующими в рамках Евразийского экономического союза, и быть адаптирован к условиям Республики Беларусь.

Анализ опыта некоторых европейских стран (Франция, Германия, Италия и др.), принявших собственные экологические законы, показывает, что единого подхода к кодификации в области охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов и смягчения последствий изменения климата не существует. Государства либо используют множество отдельных законов по различным направлениям природоохранного и природоресурсного законодательства, либо разрабатывают комплексные кодифицированные акты, направленные на системное регулирование указанных правоотношений.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Жерносек Д.К., студент

Научный руководитель Малькевич Н.Г.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье приводится анализ возведения строительства мостовых сооружений на окружающую природную среду. Изложены инженерно-технические мероприятия, направленные на обеспечение устойчивого развития транспортной инфраструктуры Республики Беларусь.

Ключевые слова: строительство, мостовые сооружения, безопасность жизнедеятельности, окружающая среда, геологическая среда, водные объекты.

Строительство мостовых сооружений является инженерным комплексом, в котором участвует большое количество рабочих, инженерно-технических работников, используется землеройно-транспортные и дорожностроительные машины, а так же применяются различные строительные материалы. На всех этапах строительства в целях экологической безопасности руководствуются действующими требованиями к охране природной среды. Отрицательное воздействие необходимо ограничивать до установленных предельно допустимых уровней.

Безопасность жизнедеятельности человека рассматривается как охрана труда строителей и как обеспечение безопасной среды обитания для населения, проживающего в зоне строящегося объекта. Требования технической надежности конструкций и экономической эффективности, уступают место концепции устойчивого развития, требующей учета экологических и социальных факторов на всех этапах жизненного цикла мостовых сооружений.

Строительный этап возведения мостовых сооружений является наиболее агрессивным с точки зрения воздействия на окружающую среду, так как оказывает комплексное воздействие на все компоненты окружающей среды: атмосферный воздух, водные объекты, почву, недра, а также на флору и фауну. При производстве земляных работ, устройстве фундаментов опор и подъездных путей происходит видоизменение естественного ландшафта, внедрение в геоморфологическое строение, что может активизировать опасные экзогенные процессы оползни, осыпи и эрозию почв. Нарушение условий поверхностного стока и естественного уровня грунтовых вод приводит к

переувлажнению либо, наоборот, осушению прилегающих территорий, что сказывается на продуктивности сельскохозяйственных угодий и устойчивости экосистем.

Строительство мостов через водные преграды критически влияет на гидрологический режим рек. Сужение и загрязнение русла при строительстве опор, а также сбросы загрязняющих веществ в периоды строительных работ нарушают условия обитания рыб.

Строительная техника и технологические процессы являются источниками значительного загрязнения и запыления воздушной среды, почвы и водных объектов продуктами сгорания топлива, строительных материалов (цементная пыль, лакокрасочные материалы). Они также оказывают шумовое и вибрационное воздействие. Особую опасность представляет использование обеспыливающих и противогололедных материалов на временных дорогах, которые попадают в почву и водоёмы.

Воздействие мостов на водные объекты начинается задолго до их эксплуатации и продолжается на протяжении всего жизненного цикла сооружений. Установка опор и строительство подходов к мосту ведёт к изменению русла (метод «сухого» строительства). Сужение живого сечения реки увеличивает скорость течения в месте перехода, что вызывает размыв дна у опор и заиливание участков ниже по течению. Это нарушает естественный процесс питания подземных вод и может привести к заболачиванию прибрежных территорий или к их осушению. Свайные забивки и вибрационное погружение шпунтов создают под водой высокий уровень шума. Для многих видов рыб и водных млекопитающих это является стрессовым фактором, который дезориентирует их, а также постоянное освещение территории строительной площадки в ночное время нарушает суточный ритм жизни фауны водоемов.

Инженерные и организационные меры обеспечения экологической безопасности при выполнении строительных работ включают совершенствование проектных решений, одним из которых является современная система экологического проектирования, которая предполагает многоцелевую оптимизацию. Проекты должны уравнивать экономические затраты, экологические и социальные цели. Это достигается путём применения инновационных материалов, таких как высококачественный «зелёный» бетон («зелёный» бетон – это экологически чистый строительный материал, производимый с минимальным воздействием на окружающую среду за счет использования отходов, таких как шлак, зола и стекло), что позволяет сократить выбросы CO₂ при производстве работ и повысить долговечность конструкций. В Республике Беларусь «экологичный» бетон чаще используется при реконструкции мостов.

Примером успешного применения таких материалов служит реконструкция моста через реку Свислочь в границах Минской кольцевой автомобильной дороги (МКАД), выполненная в 2022-2023 годах. При устройстве монолитных пролетных строений и укреплении опор использовалась бетонная смесь с добавлением золы–уноса с Лукомльской ГРЭС, что позволило сократить расход портландцемента на 18 %, уменьшить тепловыделение при твердении бетона и снизить техногенную нагрузку на акваторию реки в процессе производства работ. Применение данного решения было согласовано с Минским городским комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды в рамках требований экологического проектирования.

Технологические и организационные меры при строительстве мостов для снижения нагрузки на окружающую среду: локализация воздействия строительных площадок с учетом стесненных условий; предотвращение попадания горюче–смазочных материалов в грунт и воду. Для краткосрочного предотвращения пыления следует применять увлажнение водой, а для долгосрочного обработку временных дорог специальными обеспыливающими материалами в строго регламентированных количествах, согласованных с природоохранными органами.

Важным аспектом экологической безопасности является также внедрение систем мониторинга состояния окружающей среды в период строительства мостов. Современные подходы предусматривают проведение регулярных замеров качества атмосферного воздуха, уровня шума, вибрации, а также отбор проб воды и донных отложений в зоне производства работ. Данные мероприятия позволяют оперативно корректировать технологические процессы при превышении допустимых уровней воздействия и обеспечивают прозрачность природоохранной деятельности для контролирующих органов и общественности. Такой подход реализуется, в частности, при строительстве крупных мостовых переходов в рамках государственных программ развития транспортной инфраструктуры Республики Беларусь.

Таким образом, обеспечение экологической безопасности при строительстве мостовых сооружений требует комплексного учета факторов воздействия на атмосферный воздух, водные объекты, геологическую среду и биотические компоненты. Применение организационно–технологических решений от локализации строительных площадок до использования материалов с низким экологическим следом и организации экологического мониторинга позволяет минимизировать техногенную нагрузку.

Интеграция природоохранных требований на всех этапах строительства выступает необходимым условием реализации принципов устойчивого развития в транспортной инфраструктуре Республики Беларусь.

ПРИНЦИПЫ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Иванчикова Д.И., Черных И.Д., студенты

Научный руководитель Кляусова Ю.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассматривается экономика замкнутого цикла как альтернатива традиционной линейной модели производства и потребления. Определяются ключевые принципы циркулярной экономики. Описываются особенности внедрения принципов циркулярной экономики в странах Европейского союза, Китае и Беларуси.

Ключевые слова: циркулярная экономика, ресурсосбережение, экологизация, устойчивое развитие, зелёная экономика, окружающая среда.

Республика Беларусь обладает ограниченной сырьевой базой и высокой зависимостью от импорта энергетических ресурсов, комплектующих для промышленности, сырья и прочих видов ресурсов. На этом фоне экономия ресурсов, во многом определяющая переход от модели линейной экономики, направленной на добычу ресурсов для производства, а после утилизацию отходов, к модели циркулярной экономики, позволяющей экономно использовать природные ресурсы и снижать темпы загрязнения окружающей среды, становится стратегической необходимостью для промышленной сферы страны.

Экономика замкнутого цикла является своего рода альтернативой традиционно используемой линейной экономики. Отличия заключаются в её основных принципах:

1. Производимые продукты разрабатываются для повторного использования, ремонта и переработки, что существенно сокращает объём отходов и необходимость в привлечении новых ресурсов.
2. Максимизация использования произведённых продуктов, предполагающая наиболее полное и длительное использование товаров в течение его жизненного цикла, что способствует снижению общего потребления ресурсов и их эффективному использованию.
3. Все отходы или побочные продукты рассматриваются как потенциально полезные ресурсы. Они перерабатываются и повторно используются в производстве.
4. Распространено совместное пользование, прокат, аренда товаров длительного пользования [1.].

В циркулярной экономике конец срока службы продукта заменяется его восстановлением, реставрацией и повторным использованием. Кроме того, реализуется переход к использованию возобновляемых источников энергии, а

также не допускается применение токсичных веществ, вредящих окружающей среде.

Таким образом экономика замкнутого цикла позволяет снизить негативное воздействие промышленных предприятий на природу, уменьшить производственные издержки за счёт снижения потребления первичных ресурсов, уменьшить нагрузку на здоровье людей и, также, за счёт формирования новых рабочих мест повышает благосостояние населения.

Эффективное внедрение принципов циркулярной экономики в жизнь общества неизбежно требует инновационных решений не только в производственной сфере в качестве, к примеру, новых технологий, но и на социальном и законодательном уровнях. Помимо этого, необходимо активно внедрять практику обучения людей соблюдению принципов экономики замкнутого цикла. Решающую роль в переходе страны от линейной концепции экономики к циркулярной играет государство, способное на законодательном уровне внедрять необходимые ограничивающие, стимулирующие или вынуждающие меры. При помощи механизмов субсидий и налогов государство имеет возможность поддерживать предпринимателей, применяющих новые бизнес-идеи. Также больших государственных капиталовложений требуют научные разработки, направленные на создание высокотехнологичных инноваций. Внедрение новых образовательных практик также является сферой деятельности государства.

В мировом сообществе по применению принципов экономики замкнутого цикла лидируют страны европейского союза. Многим из них удалось эффективно организовать переход к циркулярной модели через нормативные цели по сбору вторсырья, его переработке и сокращению захоронения отходов. Правительствами некоторых стран, к примеру Германии, Швеции, введена система расширенной ответственности производителей за переработку и утилизацию отходов, а также на социальном уровне глубоко привиты принципы их обязательной сортировки.

В качестве индикатора для анализа и сопоставления доли вторичных материалов в экономике используется Circular Material Use Rate (CMUR). По итогам 2024 года по величине индикатора CMUR лидируют Нидерланды – 32,7%, Бельгия – 22,7% и Италия – 21,6%.

В целом в экономике Европейского Союза около 12,2% используемых материалов являются переработанными и повторно использованными в производстве [2]. Среди европейских стран в Швеции применяется модель обращения с отходами, основанная на сочетании переработки и утилизации при минимальном полигонном захоронении. Ещё в 2018 году менее 1% бытовых отходов отправлялось на полигоны, 47% перерабатывалось, а 52% использовалось для производства энергии. Пищевые отходы в Швеции

перерабатывают в биогаз, используемый в качестве топлива для транспорта и для обогрева жилых домов [3].

В вопросе по использованию атомной энергетики в Евросоюзе всё не однозначно. Несмотря на то, что добыча энергии на атомных электростанциях считается достаточно чистой, среди европейских стран противниками их использования являются Германия, Австрия, Люксембург, Дания, Португалия, Ирландия, Греция и Италия. Причинами тому могут послужить произошедшие за недолгое время существования ядерной энергетики катастрофы, соответственно отсюда и возникает нежелание подвергать не только свою, но и соседние страны экологическому, в частности радиационному риску.

Китайский опыт применения циркулярной экономики основывается на государственном регулировании: её принципы и стратегии закреплены в законодательстве и направлены на сохранение ресурсов и охрану окружающей среды, снижение уровня выбросов углерода, использование реформ и инноваций в качестве основного инструмента, а также развитие экологической культуры населения. Примером использования законодательного механизма в практике внедрения циркулярной экономики являются изменения в Законе об охране окружающей среды 2014 года, которые установили систему штрафов за превышение норм загрязнения предприятиями, а также обязательное раскрытие данных о выбросах компаниями. В энергетике Китая выросла доля возобновляемых источников энергии, включая солнечную и ветровую, что внесло вклад в экологизацию энергоснабжения Китая. В образовательных учреждениях Китая осуществляется интеграция принципов экономики замкнутого цикла в программы подготовки инженеров и менеджеров, что позволит в перспективе внедрять продуманные инновационные подходы и разработки на предприятиях страны [4].

В Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года была отмечена необходимость обеспечения экологической безопасности населения страны [5].

Для достижения поставленных целей стратегия предусматривает использование комплекса экономических и организационных механизмов:

1. Экономическое стимулирование путем внедрения специализированных экономических инструментов для поощрения циркулярных бизнес-моделей.
2. Стимулирование спроса на экологически сертифицированные товары и продукцию, произведенную из вторичного сырья.
3. Инфраструктурное развитие, поддержка инвестиционных проектов по созданию объектов сортировки и переработки отходов.
4. Проведение научных исследований для разработки инновационных технологий и подготовка квалифицированных кадров для новых отраслей циркулярной экономики.

Стратегия устанавливает ряд количественных показателей, которые должны быть достигнуты к 2035 году:

1. Снижение энергоёмкости ВВП с 388,1 до 268 кг у.т./млн руб.
2. Увеличение доли возобновляемых источников энергии в валовом потреблении ТЭР с 7,9% до 9%.
3. Снижение интенсивности образования отходов производства на единицу ВВП.
4. Поддержание уровня использования отходов производства на уровне не менее 90%.
5. Увеличение уровня использования ТКО с 31,1% в 2021 году до 90% в 2035 году [6].

Одним из наиболее показательных примеров практической реализации циркулярной экономики и достижения целей Национальной стратегии в Беларуси является использование технологии сжигания твердых коммунальных отходов для получения альтернативного топлива, которое используется для замены традиционных ископаемых видов топлива (природного газа, угля) в энергоемких производствах, в частности, при обжиге клинкера для производства цемента. Технология решает сразу две ключевые государственные задачи: экологическую, сокращая объемы захоронения отходов, и энергетическую, снижая зависимость от импорта энергоресурсов за счет использования местных отходов.

Флагманом внедрения этой технологии в Беларуси является холдинг «Белорусская цементная компания». Пилотный проект был реализован на заводе ОАО «Красносельскстройматериалы» (Гродненская область), где в августе 2021 года была запущена специализированная технологическая линия по сжиганию переработанных отходов в качестве топлива. В 2024 году предприятие использовало свыше 15 900 тонн альтернативного топлива. Уже в 2025 году этот показатель достиг 7 500 тонн [7].

Циркулярная экономика рассматривается как модель производства и потребления, ориентированная на сокращение объёма отходов и более рациональное использование ресурсов. Ключевыми элементами такой модели выступают восстановление, повторное применение и переработка материалов, на базе которых формируются устойчивые бизнес-подходы.

Практика внедрения принципов циркулярной экономики в Европейском союзе, Китае и Беларуси показывает различие стратегий, связанных, прежде всего, с национальными условиями. В Евросоюзе развиваются законодательные меры и программы поддержки, направленные на переход к циркулярной модели. Китай делает упор на развитие инновационных технологий и осуществление зелёных инвестиций. Беларусь же находится на начальной стадии внедрения данных принципов, что формирует предпосылки для дальнейшего развития данного направления.

Таким образом, переход к экономике замкнутого цикла связан с определёнными трудностями, но при этом открывает возможности для роста конкурентоспособности, создания рабочих мест и улучшения состояния окружающей среды. Дальнейшее развитие и практическое внедрение принципов циркулярной экономики на местном, национальном и глобальном уровнях формирует условия для устойчивого развития и долгосрочного социально-экономического благополучия.

Литература:

1. Ресурсный потенциал отходов городского хозяйства : монография / А. А. Загорская, С. В. Максимова, Т. С. Жилина и др. – Тюмень : ТИУ, 2025. – 165 с.
2. Eurostat. Over 12% of materials in the EU come from recycling [Электронный ресурс]. – URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20251119-1> (дата обращения: 16.02.2026).
3. Революция вторичной переработки в Швеции: отходы как полезный ресурс [Электронный ресурс] // W2E.ru : блог. – URL: <https://www.w2e.ru/blog/revolyutsiya-vtorichnoy-pererabotki-v-shvetsii-otkhody-kak-poleznyy-resurs/> (дата обращения: 16.02.2026)
4. Опыт Китая в развитии циркулярной экономики : материалы международной научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава в рамках 20-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике», Минск, 26-28 апреля 2022 / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: А. В. Плясунков [и др.]. – Мн. : БНТУ, 2022. – С. 28-31
5. Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ Экология» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ecoinfo.by/post/13683.html> (дата обращения: 18.02.2026)
6. Национальная стратегия развития экономики замкнутого цикла (циркулярной экономики) Республики Беларусь [Электронный ресурс] – URL: <https://rlst.by/2024/06/20/natsionalnaya-strategiya-razvitiya-ekonomiki-zamknutogo-tsikla-tsirkulyarnoy-ekonomiki-respubliki-belarus/> (дата обращения: 18.02.2026)
7. Belarusian cement industry expands use of RDF [Электронный ресурс] – URL: <https://globalcement.com/news/19906-belarusian-cement-industry-expands-use-of-rdf> (дата обращения: 18.02.2026)

RDF-ТОПЛИВО: ТЕХНОЛОГИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ

Исакова П.С., студент

Научный руководитель Зеленуха Е.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассматривается альтернативный способ получения энергии путем использования RDF-топлива. Описаны требования к сырьевой базе и технологические этапы подготовки RDF. Приведена сравнительная характеристика выбросов загрязняющих веществ при использовании традиционного (уголь) и альтернативного топлива в цементной промышленности.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, RDF-топливо, альтернативный источник энергии, выбросы загрязняющих веществ, цементная промышленность.

Для Республики Беларусь, как и для многих стран мира, проблема накопления твердых коммунальных отходов (ТКО) сохраняет высокую степень актуальности. Согласно статистическим данным [1] в 2024 г., в стране образовалось 4263,00 тыс. тонн ТКО (рис. 1), что на 280,40 тыс. тонн превышает показатель 2023 года. При этом удельный показатель образования ТКО на душу населения составил 466,79 кг/чел, что также демонстрирует устойчивую тенденцию к росту.

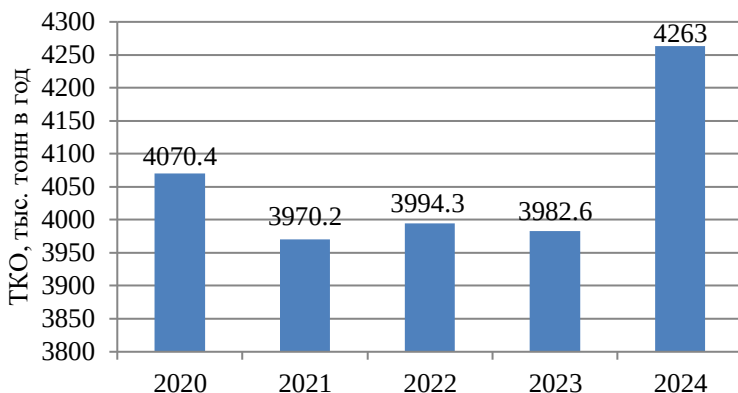


Рисунок 1 — Динамика образования ТКО в Республике Беларусь в 2020 – 2024 годах

Актуальность переработки ТКО обусловлена не только увеличением их объема, но и экологическими рисками, связанными с захоронением: загрязнением почв и грунтовых вод фильтратом, эмиссией парниковых газов, изъятием из хозяйственного оборота значительных земельных площадей. В связи с этим особый интерес представляет технология производства RDF-топлива. Данный способ позволяет решить две ключевые задачи: существенно сократить объемы отходов, направляемых на захоронение, и обеспечить замещение невозобновляемых энергетических ресурсов (угля, природного газа) за счет использования высококалорийной фракции отходов.

RDF-топливо (Refuse Derived Fuel) – это твердое топливо, получаемое из предварительно сортированных и прошедших механическую обработку отходов. В отличие от необработанной исходной массы отходов, RDF характеризуется стабильными теплотехническими показателями (теплотворной способностью, зольностью, влажностью), что делает его пригодным для использования в промышленных энергетических установках.

В качестве потенциального сырья для производства RDF рассматриваются высококалорийные компоненты, входящие в состав ТКО. К ним относятся: древесные отходы, макулатура (бумага и картон), отходы пластмасс и полимерных материалов, резина, а также текстильные отходы и отходы химических волокон. Оптимальный состав смеси, обеспечивающий хорошие теплотехнические характеристики согласно исследованиям [2], представлен на рисунке 2.

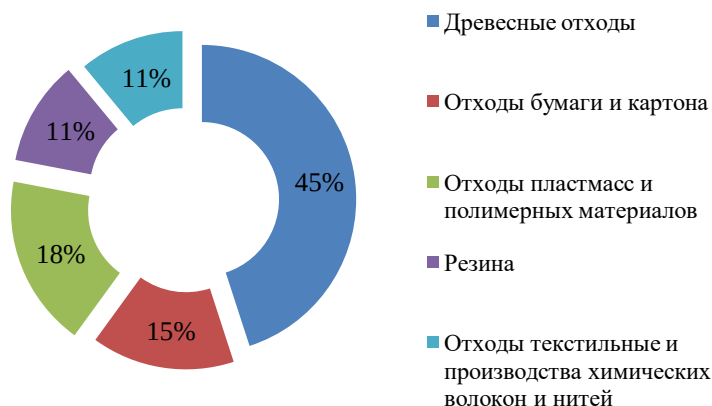


Рисунок 2 – Состав RDF-топлива из ТКО

Важным условием безопасности производства и последующего сжигания RDF-топлива является строгий входной контроль сырья. Из состава отходов, направляемых на переработку, должны быть исключены: отходы с неустановленным классом опасности; токсичные компоненты 1 и 2 классов опасности; галогеносодержащие материалы, в частности поливинилхлорид (ПВХ) и фторопласт; ртутьсодержащие изделия, свинцовые аккумуляторы и никель-кадмиевые отходы.

Основными технологическими этапами производства RDF-топлива являются:

- сортировка – извлечение крупногабаритных предметов, металлов, стекла и опасных компонентов;
- измельчение - приведение фракции отходов к однородному размеру;
- сушка - снижение влажности сырья для повышения теплотворной способности;
- гранулирование или брикетирование - формирование однородных гранул или брикетов для удобства транспортировки и использования в топочных устройствах.

Основными потребителями RDF-топлива выступают промышленные предприятия, оснащенные высокотемпературными энергетическими установками с эффективными системами очистки дымовых газов.

Наиболее перспективной отраслью для применения RDF является цементная промышленность. Печи обжига клинкера характеризуются следующими преимуществами: длительное время пребывания газов в зоне высоких температур обеспечивает полное сгорание; отсутствие зольного остатка – минеральная часть топлива интегрируется в структуру клинкера.

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика выбросов загрязняющих веществ от производства цемента при традиционном сжигании угля и при использовании топливной смеси, содержащей 20% горючих фракций ТКО [3].

Анализ данных, приведенных в таблице 1, показывает, что соблюдение технологического регламента и контроль состава исходного сырья позволяют использовать RDF без значительного увеличения эмиссии загрязняющих веществ. Показатели по диоксиду азота и диоксиду серы остаются на уровне, сопоставимом со сжиганием угля. Отмечается увеличение выбросов твердых частиц, однако современные системы газоочистки, применяемые на цементных заводах, позволяют эффективно улавливать эти примеси.

Таким образом, производство и использование RDF-топлива из твердых коммунальных отходов представляет собой эффективный инструмент реализации принципов «зеленой» экономики.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика выбросов загрязняющих веществ при использовании различных видов топлива

Выбросы, мг/м ³	Твердое топливо	Добавка 20% RDF
Твердые частицы	20	30
Азота диоксид	500	500
Серы диоксид	50	50
Гидрохлорид	-	10
Гидрофторид	-	1
Общий органический углерод	-	20
Тяжелые металлы и их соединения суммарно	0,5	0,5

Данное направление способствует сокращению объёмов отходов, направляемых на полигоны; снижению потребления исчерпаемых природных ресурсов (уголь, природный газ); уменьшению антропогенной нагрузки на атмосферу за счет изменения топливного баланса промышленных предприятий.

Литература:

1. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Е.И. Громадская, Д.В. Цубленок, М.В. Водейко, И.Ю. Буко, М.И. Струк, Л.А. Кравчук, С.В. Савченко, О.Ю. Круковская, Е.П. Овчарова, С.Г. Живнач, Н.К. Быкова, Н.М. Баженова, В.В. Парфенов; Под общей редакцией Д.В. Цубленок – Минск: РУП «ЦНИИКИВР», 2025 г. – 198 с.
2. Производство и использование RDF-топлива в Республике Беларусь / Е.О. Щербина [и др.] // Природопользование и экологические риски: материалы науч.-практ. конф., Минск, 5 июня 2019 г. – Минск: БГТУ, 2019. – С. 48-54.
3. ЭкоНиП 17.08.06-001-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух (в том числе озоновый слой). Требования экологической безопасности в области охраны атмосферного воздуха». – 44 с.
4. Концепция создания мощностей по производству альтернативного топлива из твёрдых коммунальных отходов и его использования (утверждена Советом Министров Республики Беларусь №664 от 22.08.2016).

ПЕРАВАГІ І НЕДАХОПЫ ВЫТВОРЧАСЦІ І ВЫКАРЫСТАННЯ БІЯПАЛІВА Ё СУЧАСНЫМ СВЕЦЕ

Івашкевіч М.М., Сталярова С.А., студенты

Навуковы кіраўнік Сідорская Н.У.

Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт замежных моў, Беларусь

У гэтым артыкуле разгледжаны віды і пакаленні біяпаліва. аналіз ролі біятаніва ў сучаснай энергетычнай палітыцы і эканоміцы. Прааналізаваны ключавыя перавагі выкарыстання біятаніва, такія як зніжэнне выкідаў парніковых газаў, аднаўляльнасць рэсурсаў і эканамічная выгода для сельскай гаспадаркі. Аўтар таксама акцэнтуюе ўвагу на недахопах, уключаючы пытанні нізкай эфектыўнасці, канкурэнцыю з прадукцыяй харчавання і экалагічныя сцэнарыі, якія выклікаюць занепакоенасць.

Ключавыя словы: экалогія, глабальнае пацяпленне; біяпаліва, біягаручае; вуглякіслы газ, паліва, шкода.

Пытанне экалогіі і глабальнага пацяплення асабліва востра разглядаецца ў сучасным свеце. Планета моцна пакутвае ад дзеянняў чалавека. Найбольшую шкоду наваколлю аказвае прыроднае паліва (вугаль, нафта, газ). Іх спальванне выклікае выдзяленне ў атмасферу вялікай колькасці вуглякіслага газу, які затрымліваецца ў ёй з-за парніковага эфекту і спрыяе павышэнню сярэдняй тэмпературы на планеце. Чалавецтва вельмі даўно заўважыла змены ў клімаце і пачало распрацоўваць метады барацьбы з глабальным пацяпленнем. Адным са спосабаў вырашэння праблемы з прыродным палівам прынята лічыць вырабленне і выкарыстоўванне біяпаліва.

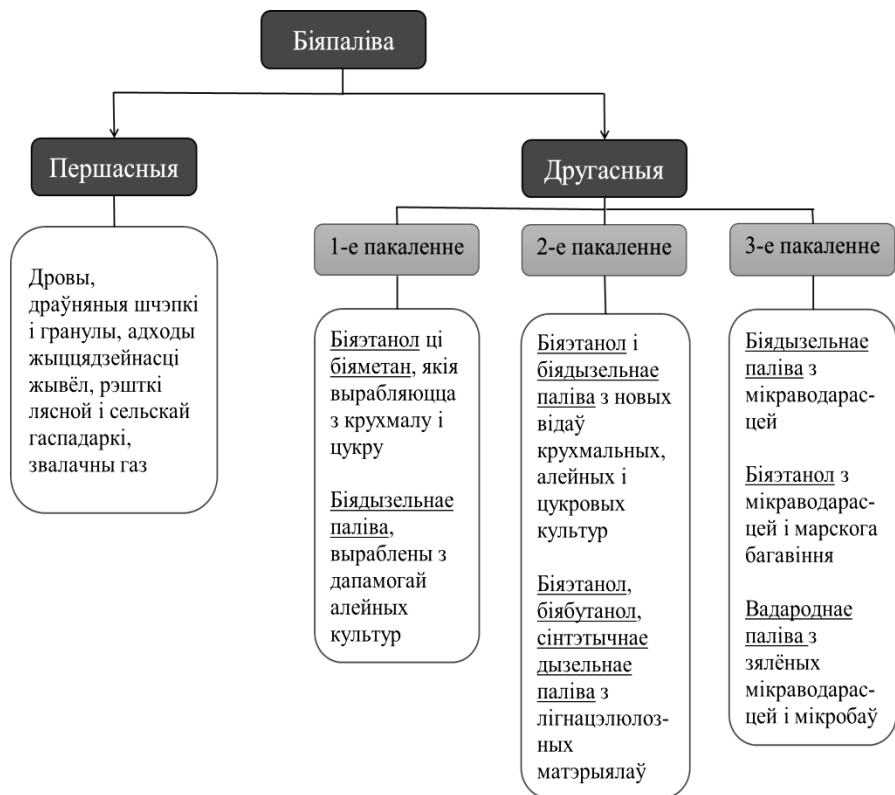
Біялагічнае паліва (біяпаліва) - паліва, вылучанае з біямасы. Гэта могуць быць расліны, адходы жыццядзейнасці жывёл і нават багавінне.

На малюнку 1 разгледжана класіфікацыя біяпаліва. Пад паняццем “першааснае біяпаліва” разглядаюцца матэрыялы, якія выкарыстоўваюцца ў сваёй першапачатковай форме без дадатковай хімічнай апрацоўцы.

Больш шырокай групай з’яўляецца другаснае паліва. Яны ўключаюць у сябе чатыры пакленні. Большасці класіфікацый падзяляюць другаснае паліва толькі на тры групы, так як трэцяе і чацвёртае пакаленні вельмі падобныя, але ў гэтым артыкуле будуць разгледжаны іх адрозненні.

Першае пакаленне біяпаліва. Гэта біяпаліва, вырабленае з дапамогай перапрацоўкі сельскагаспадарчых харчовых раслін у біяэтанол, біабутан ці біядызельнае паліва праз працэсы трансэстрыфікацыі ці браджэння (біядызель). Таксама да гэтага пакалення датычацца наступныя спосабы

ўтварэння: змешванне алею з прыродны палівам (біяэтанол) ці выкарыстоўваючы чысты алей як паліва [1]. Біяэтанол ці біабутан, вырабляюцца з крухмалу (з пшаніцы, бульбы, кукурузы, ячменю і інш.) і цукру (з цукровага трысняга, цукровых буракоў і інш.) [2].



Малюнак 1 - Віды і пакаленні біяпаліва

Біядызель, вырабляецца з дапамогай пераэтэрыфікацыі алейных культур (рапс, соя, сланечнік, пальмавы, какасовы алей, кулінарны алей, жывёльныя тлушчы і інш.) [2].

Другое пакаленне біяпаліва. Сюды адносяць біяпаліва, вырабленае на землях, на якіх не могуць расці сельскагаспадарчыя культуры. Пры

вытворчасці выкарыстоўваюць нехарчовыя расліны ці рэшткі ад выраблення прадуктаў харчавання. У тэхналогіі распрацоўкі ўваходзіць вытворчасць этанолу з целюлозы, біяпаліва з ятрофы (маніёкі, міскантусу), працэс Фішара-Тропша і іншыя спосабы газіфікацыі біямасы [1].

Трэцяе пакаленне біяпаліва. Гэта пакаленне таксама вырабляюць на глебе, не падыходзячай да сельскай гаспадаркі, з выкарыстаннем інтэгрыраваных тэхналогій, якія дапамагаюць атрымаць як само паліва (ці яго папярэднік, напрыклад, раслінны алей), так і сыравіну для яго. У гэтым выпадку абавязкова выконваецца разбурэнне біямасы. Дзякуючы гэтаму спосабу ўтварэння біяпаліва, з мікраводарасцей і марскога багавіння вырабляецца біяэтанол, біядызель і вадароднае паліва [1].

Чацвёртае пакаленне біяпаліва. Як і ўказвалася раней, чацвёртае і трэцяе пакаленні вельмі падобныя. Сыравіна для чацвёртага пакалення таксама вырабляецца на несельскагаспадарчых землях. У большай частцы вырошчваюцца водарасці. Аднак найбольшым адрозненнем з'яўляецца тое, што пры ўтварэнні біяпаліва чацвёртага пакалення не выкарыстоўваецца разбурэнне біямасы.

Біяпаліва чацвёртага пакалення выкарыстоўвае генную інжынерыю для паляпшэння якасці арганізмаў для вытворчасці біяпаліва. Гэта ўключае ў сябе такія характарыстыкі, як палепшанае выкарыстанне цукру, больш высокі сінтэз ліпідаў і павышаны фотасінтэз. Такім чынам ліпіды мікраводарасцей дапамагаюць у вытворчасці алканаў, якія з'яўляюцца асноўнымі кампанентамі машыннага паліва [1].

Апісаныя вышэй спосабы выраблення біялагічнага паліва адназначна маюць уплыў на сусветную экалогію, але, як і ва ўсіх галінах прамысловасці, вытворчасці і выкарыстоўванне такога прадукту мае свае перавагі і недахопы.

Асноўныя перавагі біяпаліва перад звычайным прыродным палівам:

1) Распрацоўка патрабуе ўдзел сельскай гаспадаркі. Большая частка сыравіны для першага пакалення біяпаліва вырошчваецца на урадлівай глебе. За гэтымі раслінамі патрэбны нагляд спецыялістаў. Такім чынам з'яўляецца больш новых працоўных месцаў для жыхароў малых гарадоў ці вёсак [4, 6].

2) У адрозненні ад прыроднага паліва, біялагічнае з'яўляецца аднаўляльнай крыніцай гаручага.

3) Біяпаліва мае высокі цэтанавы лік. Яно запальваецца хутчэй, чым звычайнае дызельнае паліва [6].

4) Біяпаліва вылучае менш вуглякіслага газу пры згаранні.

5) Вытворчасць біяпаліва, з'яўляецца амаль безадходным [4].

6) Зніжае залежнасць краін ад імпарту прыроднага паліва ці газу.

Недахопы распрацоўкі і выкарыстання біяпаліва:

1) З-за выкарыстання сельскагаспадарчых зямель і сыравіны, якая таксама вырабляецца для харчовай прамысловасці, з'яўляецца высокая канкурэнцыя за рэсурсы [4].

2) Для вырошчвання большай часткі сыравіны для першага пакалення біяпаліва, якое карыстаецца найбольшай папулярнасцю сярод вытворцаў, расхінаюцца землі, на якіх да выкарыстання не займаліся сельскай гаспадаркай. Расхінанне прымушае выходзіць у атмасферу парніковыя газы, якія знаходзіліся ў глебе [3].

3) Біяпаліва мае высокі сабекошт.

4) Біяпаліва мае нізкую тэмпературу згарання, таму выкарыстанне паліва ў рухавіку павышаецца [6].

5) Пры тэмпературах ніжэй за нуль біялагічнае гаручае можа рабіцца густым (гелепадобным). Гэта робіць складаным завядзенне рухавіку ў халодную зіму [6].

6) Тэрмін захоўвання біяпаліва карацей, чым у звычайнага паліва [6].

7) Кошт прадуктаў сельскай гаспадарк павышаецца пры выкарыстанні і ў харчовай, і ў энэргетычнай прамысловасці [4].

8) Уцечка ці распаўсюджванне прадуктаў вытворчасці біяпаліва можа нанесці моцную шкоду навакольнаму свету [5].

9) Шмат фермераў выкарыстоўвае антыбіётыкі і пестыцыды пры вырошчванні раслін для вытворчасці біялагічнага гаручага, што не падабаецца жыхарам населеных пунктаў, знаходзячыхся паблізу ад прамысловых палатак [4].

Думкі экспертаў наконт біялагічнага паліва вельмі адрозніваюцца. Перавагі, якія павінныя паляпшаць стан навакольнага свету, перакрываюцца недахопамі. З усіх пакаленняў біяпаліва, найбольшую папулярнасць і аб'ёмы выкарыстання мае першае. Гэта больш выгадна з эканамічнай кропкі погляду.

Самымі частымі па выкарыстанню для распрацоўкі біяпаліва раслінамі з'яўляюцца кукуруза і цукровы трыснёг. На іх вырошчванне сыйдзе менш грошай, чым на доўгую працу з мікраводарсцямі з трэцяга і чацвёртага пакалення. Для вырошчвання кукурузы спатрэбіцца толькі глеба. Але ў гэтым і хаваецца самы вялік недахоп вытворчасці біяпаліва.

9 кастрычніка 2025 года часопіс Transport and Environment апублікаваў даследаванне, якое пацвердзіла, што расхінанне зямель пад вырошчванне сыравіны для біяпаліва вырабляе на 16% больш вуглякіслага газу, чым прыроднае паліва. [3]

Чалавецтва працягвае шукаць метады вырашэння праблемы глабальнага пацяплення. На жаль, на сённяшні дзень, біяпаліва прыносяць свету больш шкоды, чым задумвалася з самага пачатку, і не з'яўляецца “панацэяй” ад глабальнага выраблення парніковых газаў.

Літаратура:

1. Панцхава, Е.С., Электростанции на биотопливе (биомассе). (Бакалавриат). (Магистратура). (Специалитет). Монография./ Е.С. Панцхава – Москва : КноРус, 2022. – 468 с.

2. Reda Abou-Shanab, GREEN RENEWABLE ENERGY FOR SUSTAINABLE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT [Электронны рэсурс] / Reda Abou-Shanab – Рэжым доступу: URL: <https://www.researchgate.net> . – Дата доступу: 12.04.2026.

3. Biofuels globally emit more CO2 than the fossil fuels they replace - study [Электронны рэсурс] – Рэжым доступу: URL: <https://www.transportenvironment.org> . – Дата доступу: 12.04.2026.

4. Rocío López, Understanding first, second, third, and fourth generation fuels [Электронны рэсурс] / Rocío López – Рэжым доступу: URL: <https://www.jord.one> . – Дата доступу: 12.04.2026.

5. Environment Agency, North Devon company fined for pollution that devastated fish population [Электронны рэсурс] – Рэжым доступу: URL: <https://www.gov.uk> . – Дата доступу: 12.04.2026.

6. Как работает экологически чистое топливо, рассказали химики в Международный день биодизеля [Электронны рэсурс] – Рэжым доступу: URL: <https://www.asu.ru> . – Дата доступу: 12.04.2026.

ПСИХОЛОГИЯ БЕЗОПАСНОСТИ: КАК ВОСПРИЯТИЕ РИСКА ВЛИЯЕТ НА ПОВЕДЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА

Калинина М.В., Теодорович С.Л., студенты

Научный руководитель Антонюк Е.К.

Брестский государственный технический университет, Беларусь

В данной статье проанализированы знания о психологических основах восприятия риска, факторах, искажающих восприятие рисков, поведенческие модели.

Ключевые слова: опасность, риск, модель поведения, безопасность.

Психология безопасности представляет собой междисциплинарную область, исследующую психические процессы, лежащие в основе оценки опасности и последующих поведенческих реакций. В современном мире, насыщенном как реальными, так и мнимыми угрозами – от технологических аварий и пандемий до экологических катастроф и киберпреступлений – понимание того, как человек воспринимает риск, становится критически важным. Это восприятие далеко не всегда является рациональным отражением статистической вероятности события. Часто оно подвержено влиянию эмоций, социального контекста, личного опыта и когнитивных эвристик, что приводит к систематическим ошибкам в оценке.

1. Основные теории восприятия риска

Исследование восприятия риска опирается на несколько фундаментальных теорий, которые объясняют, как люди оценивают потенциальные опасности. Одной из наиболее влиятельных является психометрическая парадигма, разработанная в 1970-х годах Полом Словином и его коллегами. Согласно этому подходу, восприятие риска является многомерным и субъективным. Люди оценивают опасности не только по вероятности и масштабу ущерба, но и по таким качественным характеристикам, как добровольность принятия риска, контролируемость, катастрофический потенциал, новизна и уровень доверия к ответственным институтам. Например, риск от курения, который является добровольным и знакомым, часто недооценивается, тогда как риск от ядерной энергетики, воспринимаемый как недобровольный, неконтролируемый и катастрофический, переоценивается, несмотря на сравнительно низкую статистическую вероятность аварий [1].

Другой важной концепцией является теория культурного познания предложенная Мэри Дуглас и Аароном Вилдавски. Она утверждает, что восприятие риска глубоко укоренено в социальных и культурных ценностях

индивида. Люди склонны считать опасными те явления, которые угрожают их образу жизни и поддерживаемым ими социальным институтам. Таким образом, оценки риска служат инструментом поддержания групповой солидарности и культурной идентичности. Также значимую роль играет аффективная эвристика, описанная Словиком и другими. Она подчеркивает, что эмоциональная реакция (аффект) на объект или деятельность часто служит главным ориентиром для оценки ее риска и пользы. Сильные негативные эмоции, связанные с определенной опасностью (например, с терроризмом), ведут к ее переоценке, а положительные чувства (например, к вождению автомобиля) – к недооценке. Эти теории в совокупности демонстрируют, что восприятие риска – это сложный психосоциальный феномен, выходящий далеко за рамки простого анализа вероятностей [2].

2. Факторы, искажающие восприятие рисков

Восприятие риска подвержено многочисленным искажениям, обусловленным особенностями человеческой психики и социальной коммуникации. Люди склонны оценивать вероятность события по легкости, с которой примеры такого события приходят на ум. Яркие, эмоционально заряженные и часто освещаемые в СМИ события (крушение самолета, теракт) создают иллюзию их большей распространенности, чем более частые, но менее заметные причины смерти (например, диабет или инсульт). Эффект новизны и знакомства также играет роль: новые, незнакомые риски (например, связанные с нанотехнологиями или искусственным интеллектом) вызывают большее беспокойство, чем привычные, даже если последние статистически более опасны.

Сильное влияние оказывает иллюзия контроля – тенденция людей переоценивать свою способность влиять на события, особенно в знакомых ситуациях. Это ведет к недооценке рисков в деятельности, где человек чувствует себя экспертом (например, вождение автомобиля). Добровольность принятия риска кардинально меняет его восприятие: риск, на который идут сознательно (экстремальный спорт), кажется менее угрожающим, чем риск, навязываемый извне (проживание рядом с химическим заводом). Оптимистическое искажение (*unrealistic optimism*) заставляет людей верить, что с ними лично негативные события произойдут с меньшей вероятностью, чем с другими [2].

Важнейшим искажающим фактором выступают СМИ и фрейминг. Способ подачи информации определяет реакцию аудитории. Акцент на количестве погибших в одной катастрофе вызывает более сильный отклик, чем сообщение о большем числе смертей, распределенных во времени и пространстве. Сообщения, сфокусированные на конкретных жертвах с именами и историями, воздействуют сильнее, чем сухая статистика. Все эти факторы формируют "социальное усиление" или "затухание" рисков, когда

объективная опасность и ее субъективное восприятие обществом существенно расходятся [5].

3. Психология безопасности и модели поведения

Знание о риске далеко не всегда приводит к социальному защитному поведению. Для объяснения этой связи используются различные поведенческие модели. Классической является модель убеждений в отношении здоровья, которая, будучи изначально медицинской, применима и к общей безопасности.

Более современный подход представляет Теория запланированного поведения. Она постулирует, что непосредственным предшественником поведения является намерение его совершить. Например, человек наденет каску на стройке не только если осознает риск (отношение), но, и если это требуют коллеги и начальство (субъективная норма), и если каска удобна и доступна (воспринимаемый контроль) [3].

На практике часто наблюдается парадокс "знание-отношение-поведение": люди могут знать о риске и даже выражать озабоченность, но их повседневное поведение остается рискованным. Это связано с тем, что на ежедневные решения сильнее влияют привычки, удобство, немедленные выгоды и социальный контекст, чем отдаленные и вероятностные угрозы. Поэтому эффективные программы безопасности должны работать не только с информированием, но и с формированием правильных привычек, изменением организационной культуры и устранением физических и социальных барьеров для безопасного поведения [4].

4. Когнитивные искажения и принятие решений

Процесс принятия решений в условиях неопределенности и риска систематически отклоняется от норм рациональности. Эти отклонения обусловлены когнитивными искажениями – шаблонными ошибками мышления, которые эволюционно возникли как упрощенные правила для быстрых решений, но в сложном современном мире часто дают сбой.

Особую роль в контексте безопасности играет предвзятость подтверждения – тенденция искать, интерпретировать и запоминать информацию, которая подтверждает уже существующие убеждения, и игнорировать опровергающие данные. Это делает людей невосприимчивыми к новой информации об изменении уровня риска.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что восприятие риска является сложным психосоциальным конструктом, формирующимся под влиянием когнитивных, эмоциональных, социальных и культурных факторов. Как демонстрируют основные теории, люди оценивают опасности не через призму объективной статистики, а через субъективные линзы личного опыта, ценностей, доступности информации и аффективных реакций. Это приводит к систематическим искажениям, когда общественная озабоченность

может быть сфокусирована на сравнительно маловероятных, но ярких угрозах, в то время как более значимые риски остаются недооцененными. Связь между восприятием и поведением также не является прямой, она опосредована социальными нормами, привычками, барьерами и чувством контроля.

Практическое значение психологии безопасности заключается в применении этих знаний для разработки более эффективных стратегий управления рисками, коммуникации и обучения

Таким образом, понимание психологических механизмов восприятия риска – это ключ не только к объяснению человеческого поведения, но и к активному формированию более безопасной среды для личности и общества в целом.

Литература:

1 Словик, П. (ред.). Восприятие риска / П. Словик. – М. : Издательство "Дело" РАНХиГС, 2018. – 768 с.

2 Канеман, Д., Словик, П., Тверски, А. Принятие решений в условиях неопределенности: Правила и предубеждения / Д. Канеман, П. Словик, А. Тверски. – Харьков : Издательство Института прикладной психологии "Гуманитарный Центр", 2005. – 632 с.

3 Хайдер, Ф. Психология межличностных отношений / Ф. Хайдер. – М. : Диалектика, 2020. – 336 с.

4 Яницкий, О.Н. Россия: риски и опасности "переходного" общества / О.Н. Яницкий. – М. : Институт социологии РАН, 2018. – 280 с.

5 Ситковская, О.Д., Щербачева, А.В. Психология безопасности: учебное пособие / О.Д. Ситковская, А.В. Щербачева. – М. : Юрайт, 2022. – 194 с.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ САМОСВАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВО

Картынный А.А., Перковский М.А. студенты

Научный руководитель Вершиловский В.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В настоящее время наблюдается тенденция внедрения беспилотных систем управления в транспортные отрасли с целью повышения безопасности. В данной статье рассматривается возможность внедрения подобных систем в область горной промышленности.

Ключевые слова: беспилотный самосвал, горная промышленность, безопасность.

Горнодобывающая и строительная отрасли традиционно связаны с высокими рисками для здоровья и жизни персонала: работа в карьерах подразумевает воздействие множества опасных факторов - от тяжёлой техники и нестабильных горных пород до сложных климатических условий и ограниченной видимости. Несмотря на внедрение современных стандартов охраны труда и техники безопасности, производственный травматизм остаётся актуальной проблемой, требующей новых решений.

Одной из главных причин чрезвычайных ситуаций на горных предприятиях является наличие человека за органами управления рабочей техники. Усталость, невнимательность, спешка и человеческий фактор зачастую приводят к происшествиям на рабочих площадках.

Техника с беспилотным способом управления также позволяет работать в условиях плохой видимости за счёт прокладывания маршрутов с использованием GPS и применения различных датчиков определения расстояния, человек же в подобных условиях имеет достаточно высокий риск вовремя не заметить угрозу, что может привести к серьёзным последствиям вплоть до серьёзных повреждения техники и даже к причинения вреда здоровью, и, возможно, к смерти человека. Беспилотные самосвалы позволяют исключить человеческий фактор и значительно снизить процент чрезвычайных происшествий.

Использование беспилотных самосвалов позволяет проводить добычу полезных ископаемых в местах, где человек не может находиться. Подобные системы были протестированы за рубежом. На свинцово-цинковом руднике Хошаюнь, расположенном на высоте 5600 метров в горах Куньлунь, успешно завершились испытания полностью беспилотных карьерных самосвалов. Рудник, открытый в 2016 году, находится выше самого

высокогорного поселения в мире. Уровень кислорода там катастрофически низок, а экстремальные ветра и вечная мерзлота создают непригодные условия труда для персонала. Традиционная добыча была бы неэффективной и смертельно опасной. Ответом стал флот беспилотных самосвалов, интегрированных со сверхскоростной сетью 5G. [1]

Контроль за беспилотным парком происходит в режиме реального времени и позволяет работать на упреждение: планировать логистику, прогнозировать объёмы добычи, оптимизировать маршруты и своевременно проходить техобслуживание. [2]

На данный момент до 30% стоимости транспортировки продукции уходит на фонд оплаты труда водителей. В случае с автономными электрогрузовиками эти затраты сокращаются. Данный транспорт может быть в строю круглосуточно, не придерживаясь строгого регламента по времени работы и отдыха, который предусмотрен для водителей большегрузов, что позволяет повышать производительность автосамосвалов. Также стоимость затрат на транспортировку продукции снижается за счет оптимизации перевозок: выбор более оптимальных маршрутов, меньший расход топлива за счет правильного управления скоростью самосвала, снижение затрат на ремонт за счет более правильного использования рабочих органов самосвала. [2]

Но есть условия, где по крайней мере необходимо присутствие дистанционного оператора. Там, где нормативная база не позволяет использовать полностью автономное управление. В местах, где технологическая дорога пересекает дорогу общего пользования, оператор должен взять управление в свои руки. Однако с точки зрения технологий автоматизации система может полностью обходиться без вмешательства человека. [3]

Беспилотники — не массовый инструмент, ведь их рентабельно применять далеко не на всех производствах. Для достижения окупаемости вложений в технологию в 25-30% требуется не менее 3-5 лет даже на самых простых проектах. Текущая ключевая ставка и ситуация у добывающих предприятий не позволяют заказчикам инвестировать в подобные проекты. Инвестиции могут быть оправданы на Greenfield проектах, а не на уже действующих месторождениях. Иначе окупаемость растягивается на 8-10 лет, что нереально в текущих реалиях. Таким образом беспилотные автосамосвалы имеют смысл внедрять только на карьеры «долгожители».

Кроме того, в России и Беларуси нет промышленных апробированных решений. Есть отдельные пилоты на разных участках и с разным оборудованием, но роботов с полным циклом пока нет.

Вместе с этим на данный момент в Беларуси и России нет чётких правил применения беспилотных автосамосвалов, что не даёт возможности применить технологию на территории государств. Для полноценной работы автономной техники необходимо менять законодательство, которое регулирует технологии ведения горных работ. В России этим ведаёт Ростехнадзор. Существуют определенные требования с точки зрения безопасности по уклонам дорог, высоте и углу бортов в карьере. Когда в карьере работает беспилотный автосамосвал, можно сужать дороги, менять углы бортов. Это, в свою очередь, сокращает вывоз пустой породы, что тоже положительно влияет на экономическую часть горных предприятий. [3]

В целом, не смотря на ряд ограничений, беспилотный автосамосвал является перспективной технологией. Его внедрение позволит значительно повысить уровень безопасности на карьерах и даст возможность заметно снизить затраты на транспортировку горных пород на крупных карьерах.

Литература:

1. Самосвалы-беспилотники испытаны на самой высокой в мире шахте [Электронный ресурс]. - URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/144922-rossiyan-predupredili-ob-otsutstvii-otvetstvennosti-platform/?from=swap&swap=2> (дата обращения 03.04.2026).
2. Беспилотные самосвалы в добывающей отрасли: преимущества и перспективы [Электронный ресурс]. - URL: <https://dprom.online/mining/byesplotnie-samosvali-v-dobivayusheyi-otrasle/> (дата обращения 03.04.2026).
3. Как БЕЛАЗы ездят без водителя [Электронный ресурс]. - URL: <https://bntu.by/be/news/4403-kak-belazy-ezdyat-bez-voditelya> (дата обращения 03.04.2026).

ЭКО-МОБИЛЬНОСТЬ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В БЕЛАРУСИ

Касатая У.Е., Столяр П.А. студенты

Научный руководитель Сидорская Н.В.

**Белорусский государственный университет иностранных языков,
Беларусь**

В данной статье раскрывается история развития электротранспорта в Республике Беларусь. Приводятся его преимущества и недостатки, а также влияние электромобилей на окружающую среду.

Ключевые слова: электротранспорт, электромобиль, электрификация, окружающая среда, двигатель внутреннего сгорания (ДВС), эксплуатация, инфраструктура, выбросы в атмосферный воздух.

В современном мире транспорт является неотъемлемой частью жизни человека. Каждый день мы используем различные его виды для комфортного перемещения. Но, не смотря на очевидные достоинства, транспорт является глобальным источником загрязнения окружающей среды. Эта проблема привела к тому, что развитые страны начали разработку и выпуск более экологичных транспортных средств, позволяющих сократить использование нефтехимических продуктов в их эксплуатации. На сегодняшний день эти экологичные автомобили формируют устойчивую транспортную систему.

В 90-х годах 20 века в мире начал активно возрастать интерес к электромобилям. Первая страна, запустившая их производство, – США (1996 год). Позже Республика Беларусь также присоединилась к числу стран-производителей электротранспорта. 2017 год стал отправной точкой в электромобильной индустрии Беларуси[1]. Так, в августе 2017 года Национальная Академия наук представила экспериментальный образец электромобиля на базе серийного автомобиля GeelySC7, большая часть компонентной базы которого была изготовлена в Беларуси. Некоторые детали были сделаны в Китае и России [7]. Но наиболее успешным направлением развития электротранспорта стал общественный транспорт, а именно – электробусы. Весной 2017 года республиканским предприятием ОАО “Белкоммунмаш” были представлены 3 модели электробусов: E420 «Vitovt Electro», E433 «Vitovt Max Electro» и E321.

Современный общественный транспорт, работающий от аккумуляторов, оборудован накопительной системой электроэнергии на базе суперконденсаторов. Оснащение обеспечивает движение автобусов по необходимому маршруту с быстрой зарядкой на специализированных зарядных станциях [1].

Так, с 2017 года в Беларуси началось оснащение автобусных парков электробусами, развитие сети зарядных станций, активная эксплуатация электротранспорта в условиях городской среды.

Следующим шагом в модернизации электрического транспорта стало утверждение Советом Министров Комплексной программы о развитии электротранспорта на 2021-2025 годы. Данное решение закреплено постановлением Правительства от 9 апреля 2021 №213. Комплексная программа состоит из двух Подпрограмм: «Производственно-технологическая база электротранспорта» и «Создание зарядной инфраструктуры для электротранспорта». В план данной программы входит ряд мероприятий, среди которых:

- создание опытного экспериментального производства средств электротранспорта;
- разработка госстандартов в области электротранспорта, его компонентов и инфраструктуры, гармонизированных с международными и европейскими стандартами и (или) документами;
- подготовка предложений по корректировке Указа Президента Республики Беларусь от 12 марта 2020 г. № 92 «О стимулировании использования электромобилей» и др.

По итогам Комплексной программы развития электротранспорта количество экологичных автомобилей на дорогах Республики Беларусь с 2020 года выросло в 25 раз. В 2026 году продолжается активное развитие новых путей использования электромобилей в промышленности и повседневной жизни [6].

В настоящее время спрос населения Беларуси на электротранспорт растет, так как электромобили обладают рядом преимуществ по сравнению с привычными автомобилями с двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Первое преимущество – экономичность электротранспорта. Электромобили требуют меньше затрат на свое содержание по сравнению с автомобилями с ДВС. Помимо того, что электрическая энергия стоит намного меньше, чем бензин или дизель, экологичные автомобили имеют довольно большой запас хода, что позволяет совершать зарядку значительно реже. Техническое обслуживание электромобилей происходит реже и проще, поломки случаются не так часто, как у автомобилей с ДВС, что делает эксплуатацию этих автомобилей проще и дешевле [2].

Вторым преимуществом электротранспорта является низкий уровень производимого им шума. Благодаря отсутствию двигателей внутреннего сгорания в электромобилях, они производят гораздо меньше шума при эксплуатации в отличие от автомобилей с ДВС. Это делает поездки на подобных автомобилях более комфортными и значительно уменьшает шумовое загрязнение окружающей среды [2].

Однако главным преимуществом является его экологичность. Так как электротранспорт работает на электрической энергии, в атмосферу не выбрасываются выхлопные газы, основными составляющими которых являются:

1. Углекислый газ (CO_2), увеличение концентрации в атмосфере которого приводит к таянию ледников и повышению уровня морей, окислению океана, изменению режимов осадков и распределения температуры, а также усилению экстремальных погодных явлений, а также к росту числа стихийных бедствий, таких как ураганы и лесные пожары. Изменение климата и последствия, связанные с выбросами CO_2 способствуют снижению урожайности и качества сельскохозяйственных структур, распространению вредителей и болезней, угрожая посевам и домашнему скоту. Здоровье человека также находится под угрозой: при изменении климата могут возникнуть различные заболевания, такие как малярия, лихорадка, астма и др. [3].

2. Оксиды азота (NO_x). Они создают опасность для окружающей среды, вступая в реакцию с солнечным светом и другими химическими веществами, образуя смог. Также могут образовываться кислотные дожди в ходе реакции оксидов азота и диоксида серы с веществами в атмосфере. Влияние оксидов азота на организм человека может привести к головной боли, тошноте, боли в животе и др. [4].

3. Твердые частицы (PM), которые оседают на поверхности почвы и воды. В результате ухудшается качество почвы и наносится вред водным экосистемам. Также твердые частицы оседают на листьях растений, блокируя солнечный свет и снижая фотосинтез. Воздействие твердых частиц может привести к респираторным и сердечно-сосудистым заболеваниям человека [5].

Таким образом, использование электрического транспорта позволяет уменьшить загрязнение окружающей среды и соответствует мировым требованиям по сокращению количества выбросов парниковых газов.

Электротранспорт имеет и некоторые недостатки. Самым главным из них, пожалуй, является слаборазвитая инфраструктура. Так как электромобили в Беларуси не так давно вошли в эксплуатацию, на дорогах нашей страны можно найти не так много специализированных станций для подзарядки, что значительно усложняет планирование маршрута для водителей. Помимо слаборазвитой инфраструктуры, сложность для водителей создает также и долгое время зарядки электротранспорта. В отличие от привычных автомобилей с ДВС, время заправки которых составляет от 3 до 5 минут, зарядка электромобилей требует более продолжительного промежутка времени (от 20 до 60 минут на быстрых станциях). Сокращение ёмкости батареи электротранспорта является процессом, который невозможно избежать: спустя 3-5 лет эксплуатации автомобиля водители могут столкнуться

с проблемой уменьшения дальности пробега. Еще одной проблемой электротранспорта является его зависимость от погодных условий. С наступлением холодов запас хода электрических автомобилей значительно снижается. Также обогрев салона, руля и задних сидений может уменьшать показатель заряда до 30% [2].

Таким образом, внедрение электрического транспорта в Беларусь оказало значительное влияние не только на экономику нашей страны, но и на улучшение экологической обстановки, значительно снижая выбросы ядовитых газов и уровень шума в городах. Сегодня в Республике Беларусь продолжается разработка новых проектов по внедрению электротранспорта в городскую среду, улучшаются технологии производства отечественных электромобилей и происходит развитие сети специализированных зарядных станций.

Литература:

1. Электротранспорт в Республике Беларусь - РНТБ. - <https://rlst.by/2023/07/26/elektrotransport-v-respublike-belarus/> (дата обращения 27.03.2026)
2. Электромобили: «за» и «против» покупки. - https://teslashop.by/news/elektromobili-za-i-protiv-pokupki?srsId=AfmBOooGqe-a1eBSmITLL8P3xK3DXoLZ8tHJ_CYNocE5s-E-2pQTYuVv (дата обращения 29.03.2026)
3. Влияние углекислого газа на окружающую среду. - <https://sigmaearth.com/ru/> (дата обращения 29.03.2026)
4. Загрязнение атмосферы оксидом азота. - <https://laboratoria.by/stati/ox-azota> (дата обращения 29.03.2026)
5. Твердые частицы: понимание загрязнения воздуха частицами. - <https://sensor1stop.com/ru/knowledge/what-is-particulate-matter/> (дата обращения 29.03.2026)
6. О Комплексной программе развития электротранспорта на 2021-2025 годы. - <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100213> (дата обращения 28.03.2026)
7. Национальная академия наук показала первый белорусский электромобиль. - <https://www.loevkraj.by/2017/08/nacionalnaya-akademiya-nauk-pokazala-pervyj-belorusskij-elektromobil/> (дата обращения 27.03.2026)

МОНИТОРИНГ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Киндиренко З.С., Невинский И.В., студенты

Научный руководитель Кляусова Ю.В

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

Работа посвящена изучению современных подходов к тому, как мы наблюдаем за природой и заботимся о её благополучии. В эпоху бурного роста промышленности и городов поддержание здоровья окружающей среды становится одной из главных забот человечества. Исследование показывает, насколько важны систематические наблюдения за состоянием воздуха, воды, почвы и живого мира - они позволяют вовремя заметить и остановить опасные изменения. Качественный экологический мониторинг может заложить прочную основу для экологического управления, что будет способствовать мониторингу окружающей среды, прогрессу и развитию.

Ключевые слова: экологический мониторинг, экологическое руководство, загрязнение окружающей среды, надзорный мониторинг.

Качество природы, в которой мы живем, напрямую влияет на наше здоровье, качество жизни и способность экосистем к самовосстановлению. В наши дни, когда воздействие человека на планету достигает беспрецедентных масштабов, забота о чистоте воздуха, воды и земли требует постоянных усилий и грамотных научных решений. Чтобы понимать, что происходит с природой, существует мониторинг - продуманная система слежения, которая не просто собирает данные, но помогает оценить ситуацию и заглянуть в будущее.

Мониторинг окружающей среды заключается в определении качества окружающей среды, уровня ее загрязнения путем измерения репрезентативных значений материальных факторов, влияющих на качество окружающей среды. Также мониторинг является основной задачей экологического руководства, важным средством, помогающим людям понять качество окружающей среды и степень ее загрязнения.

Мониторинг окружающей среды обычно включает в себя процесс исследования на месте, разработку плана мониторинга, оптимизацию планировки, сбор проб, их транспортировку/хранение, анализ и тестирование, обработку данных и всестороннюю оценку [1].

К объектам экологического мониторинга в основном относятся наблюдения за различными природными факторами, отражающими изменение качества окружающей среды, различной деятельностью человека и антропогенными факторами, воздействующими на окружающую среду, и

различными компонентами, вызывающими опасность загрязнения окружающей среды.

Ключевыми принципами построения эффективной системы экологического мониторинга являются:

1. Системность - комплексный подход, охватывает различные компоненты среды;
2. Непрерывность - регулярные наблюдения окружающей среды;
3. Объективность - применение общепринятых методик и проверенного оборудования;
4. Адекватность - соответствие выбранных методов и объема наблюдений поставленным задачам;
5. Оперативность - своевременное получение и передача информации;

Классификация мониторинга окружающей среды:

1. Надзорный мониторинг, посредством которого осуществляется регулярный контроль различных элементов окружающей среды. Наблюдательный мониторинг включает в себя обнаружение различных источников загрязнения, не только содержания загрязняющих веществ, но и сброса и степени загрязнения.

2. Целевой мониторинг. Когда аварийные сигналы высокой концентрации происходят часто, необходимо принять превентивные меры мониторинга до того, как загрязнение причинит вред; вовремя определить степень загрязнения и масштаб воздействия в аварийных ситуациях. Это относится к категории мониторинга особых случаев [2].

3. Научный мониторинг. Мониторинг научных исследований - это технически сложная работа на стыке разных наук, которую редко удастся выполнить силами одного отдела. Он занимается отслеживанием того, как именно вредные вещества перемещаются и трансформируются в окружающей среде после выброса, и насколько серьезный урон они наносят природе и людям.

Мониторинг окружающей среды преследует комплексные цели: дать объективную оценку ее качества, спрогнозировать, как она изменится в будущем, и обеспечить органы управления информацией для принятия мер по предотвращению загрязнения. Когда же речь идет о таких направлениях, как обзор ситуации, консультирование или проверочная оценка, то главная задача мониторинга сводится к сбору достоверных данных, ведению архива наблюдений и выработке на их основе адекватных защитных мер.

Экологический мониторинг является первым важным шагом в управлении окружающей средой, а также ключом к научной формулировке мер экологического управления. Качественное выполнение работы в области экологического мониторинга играет важную роль в решении все более серьезных экологических проблем [3].

Под охраной окружающей среды обычно понимают комплекс мер, благодаря которым создаются безопасные и благоприятные условия для жизни людей и их деятельности. Ключевыми экологическими факторами тут выступают: воздух (как атмосферный, так и внутри помещений), вода, а также состояние почвы. Охрана природы включает в себя не только сохранение, но и восстановление ресурсов — чтобы снизить прямое и косвенное влияние человека на экосистемы и его же здоровье.

В наши дни, когда научно-технический прогресс сильно ускорился, вопросы экологии стали одной из главных национальных задач. Причём решение этой задачи напрямую завязано на здоровье населения. Раньше ущерб природе чаще всего был обратимым, затрагивал отдельные территории и объекты, не выходя за пределы локального масштаба. Из-за этого реально работающие природоохранные меры казались не такими уж важными. Однако за последние 20–30 лет во многих регионах планеты появились уже необратимые изменения в экосистемах, начали возникать опасные явления. Из-за массового загрязнения окружающей среды проблема её защиты перестала быть только чьей-то внутренней или региональной — она стала международной, по-настоящему глобальной. Сейчас все развитые страны признали: защита природы — это один из главных факторов выживания человечества. Обычно защиту окружающей среды разделяют на несколько составляющих: правовая составляющая, экономическое стимулирование, технологическая составляющая.

В развитых странах уже давно применяют целый комплекс мер (организационных, научных, технических) по охране природы. Сюда входит: выявление и разбор факторов — химических, физических, биологических — которые плохо влияют на здоровье и работоспособность человека, чтобы потом снижать их воздействие; оценка рисков для здоровья от токсичных веществ в окружающей среде с определением допустимых уровней; создание рабочих программ для предотвращения аварий на производствах и мер по уменьшению ущерба, если авария всё же случилась. Отдельно стоит вопрос о рисках для генофонда человека — особенно с учётом канцерогенных свойств некоторых токсичных компонентов, которые попадают в природу с выбросами заводов и отходами. Также нужны постоянные эпидемиологические исследования: они помогают оценить, насколько вероятны массовые вспышки болезней из-за патогенных микроорганизмов, найденных в окружающей среде.

Среди всех загрязнителей самые опасные — химические соединения. На сегодня известно больше 5 миллионов таких соединений, причём более 60 тысяч из них постоянно используются. Объём их мирового производства растёт: каждые 10 лет он увеличивается в 2,5 раза [5]. Особенно опасно поступление в окружающую среду хлорорганических пестицидов,

полихлорированных дифенилов, полициклических ароматических углеводородов, тяжёлых металлов и асбеста. Как показывает практика, самый действенный способ защиты от таких соединений — это технологии с минимальным количеством отходов или полностью безотходные процессы. Ещё один эффективный вариант — утилизация и переработка отходов, чтобы их можно было использовать повторно [4]. Уже научно обоснованы принципы регулирования вредных факторов, установлены нормативы для сотен химических веществ в воздухе рабочей зоны, в воде водоёмов, в атмосферном воздухе городов, в почве и продуктах питания.

Государство отвечает за рациональное управление природной средой и её охрану через экологическое законодательство и контроль за его исполнением. Экологическое законодательство — это, по сути, набор законов и нормативных актов, которые регулируют отношения в сфере охраны природы для сохранения и восстановления ресурсов. Однако, хотя экологическое законодательство и охватывает многое, на деле его реализация часто оказывается недостаточно эффективной.

Кроме того, серьёзная проблема — низкая экологическая грамотность населения. Многие люди просто не знают основ экологической безопасности, равнодушно относятся к порче объектов спорта, да и навыков для реализации своего права на безопасную среду обитания у них не хватает. С учётом всего этого можно сказать, что правовая система защиты экологических прав человека нуждается в доработке. Только тогда станет возможным решить главную экологическую задачу — сохранить и укрепить природный потенциал Земли

Литература:

1. Лепихин В.В. Роль мониторинга в экологизации экономической деятельности // Фундаментальные исследования. 2014. № 6-5. С. 983-986. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34276> (дата обращения: 28.02.2026).
2. Маликов, В.С. Экологические основы формирования и функционирования региональной системы мониторинга окружающей среды (на примере Воронежской области) / В.С. Маликов - Воронеж, 2004. — 223 с.
3. Хаустов, А.П., Редина М.М. Экологический мониторинг / А.П Хаустов, М.М Редина – Москва: Юрайт, 2021. – 543 с.
2023. Современная экология: учебное пособие / В.В. Варфоломеева, А.В. Терентьев. – Самара: Издательство Самарского университета, – 68 с.
5. Волков Н.С. Актуальные экологические проблемы современного общества и пути их решения // Правовое образование : сб. науч. ст. – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 434-440.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «НЕДРА НЕЖИН» НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ ЛЮБАНСКОГО РЕГИОНА

Клепча Р.А., Щурко М.А. студенты

Научный руководитель: проф. Веремейчик Л.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В работе представлен анализ экологических рисков Нежинского ГОК (ОАО «Недра Нежин»). Рассмотрены инновационные методы шахтостроения, мониторинг атмосферы и вод, изоляция солеотвалов. Показано соответствие проекта стратегии устойчивого развития Беларуси.

Ключевые слова: калийная промышленность, Нежинский ГОК, экологический мониторинг, рациональное недропользование, солеотвалы, технология SBR, замораживание грунтов, устойчивое развитие.

Калийная промышленность является основой продовольственной безопасности, но одновременно выступает интенсивным источником техногенного воздействия. В Республике Беларусь вопросы экологической устойчивости горно-обогатительных комбинатов стали стратегическим приоритетом. Проект освоения Нежинского участка Старобинского месторождения, реализуемый ОАО «Недра Нежин», представляет собой «greenfield-проект» на ранее не затронутых территориях Любанского региона. Это накладывает повышенную ответственность за сохранение ландшафтов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью минимизации техногенной нагрузки в условиях институциональных изменений [1, 2, 3].

Институциональная трансформация проекта заключается в том, что изначально проект развивался частной компанией «Славкалий», но в ноябре 2022 года перешёл под полный государственный контроль (ОАО «Недра Нежин»). Смена собственности повлекла более жёсткую привязку к национальным экологическим стандартам и целям НСУР-2035. Проект интегрирует отечественных производителей и партнёров из КНР. На конец 2023 года строительные работы были выполнены на 39 %, плановый ввод в эксплуатацию - 2026 год. Государственное управление гарантирует финансирование природоохранной инфраструктуры [1].

Следует отметить геоэкологическую уязвимость района. Нежинский участок расположен в Полесском регионе, характеризующимся высокой чувствительностью к антропогенным воздействиям. Близость к бассейну реки Припять и сеть мелиоративных каналов создают условия для быстрой миграции хлоридов в грунтовые воды, что обязывает проведение защитных мероприятий. Глубина шахтных стволов достигает 700–750 м, требуется

пересечение обводнённых слоёв. Город Любань находится всего в 6 км от промплощадки, что требует надёжной защиты питьевых горизонтов.

С этой целью на Нежинском ГОК применяются инновационные технологии шахтостроения. Впервые в регионе применены стволопроходческие машины (SBR) вместо буровзрывных методов. Механическое разрушение породы минимизирует вибрации и предотвращает трещины в водозащитной толще. Пневматическая транспортировка породы в закрытых трубопроводах исключает солевую пыль. Скорость проходки – более 7 м/сут, что сокращает период техногенного вмешательства. Для прохождения обводнённых слоёв до глубины 165 м используется искусственное замораживание грунтов (ледогрунтовый цилиндр, мощность станции 3,5 МВт). После возведения бетонной крепи массив размораживается, гидродинамический режим восстанавливается.

Важным этапом является управление атмосферными выбросами. Валовый объём выбросов загрязняющих веществ составляет 56,27 т в год. Основные источники: котельные на природном газе, сушильные установки KCl, шахтные вентиляторы. Применяются системы глубокой очистки от ведущих поставщиков (FLSmith), что соответствует инициативе «MissionZero». Концентрации на границе санитарно-защитной зоны находятся в пределах нормативов [4].

Большое внимание уделяется защите гидросферы от загрязнений. Для оценки выноса хлоридов используется формула $P = \frac{C \cdot W}{1000}$, где C – концентрация (300 мг/дм³), W – объём стока. Мониторинг подземных вод ведётся по государственной опорной сети (24 скважины) и объектной сети. Контролируются уровенный режим, химический состав (хлор, натрий) и температура. Это позволяет своевременно выявлять техногенные отклонения.

Осуществляется также инженерная защита литосферы. Площадь шламохранилища составляет 67,87 га. Для предотвращения засоления внедрена многоуровневая система гидроизоляции: геомембрана толщиной 1,5 мм, защитный слой минерального грунта 0,5 м, компенсирующие складки, каменная наброска откосов. Такая конструкция обеспечивает принцип «нулевой фильтрации».

На площадке зафиксировано 8 видов земноводных, включая один охраняемый вид. С целью сохранения биоразнообразия используется стратегия минимизации ущерба, которая включает сохранение гидрологического режима, создание защитных барьеров, рекультивацию земель с использованием местных видов растений. Санитарно-защитная зона озеленяется и служит экологическим коридором.

Сравнение с международным опытом показывает, что подобные природоохранные технологии используются в других странах. Так, проект

Woodsmith (Великобритания) также отказался от взрывных работ в пользу механических проходческих машин, использует компактную промплощадку и цифровой мониторинг. Следовательно Нежинский ГОК соответствует мировым стандартам экологической безопасности.

Таким образом, основные природоохранные мероприятия, проводимые Нежинским ГОК заключаются в следующем:

- Применение SBR и искусственного замораживания предотвращает засоление питьевых горизонтов.
- Геомембраны в шламохранилищах обеспечивают нулевую фильтрацию рассолов.
- Замкнутый цикл водоснабжения возвращает до 90 % воды.
- Сеть мониторинга (24 скважины) позволяет оперативно реагировать на изменения.
- Деятельность предприятия соответствует НСУР-2035 и программе развития на 2026–2030 гг.

Реализация проекта позволит Любанскому региону сохранить экологическое благополучие при развитии промышленности.

Литература:

1. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 г. [Электронный ресурс]. – Минск : [б. и.], [2020?]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/NSUR-2035-1.pdf>. – Дата доступа: 27.03.2026.
2. Батурин, Е. Н. Проблемы освоения крупнейших калийных месторождений мира [Электронный ресурс] / Е. Н. Батурин, Е. А. Меньшикова, С. М. Блинов [и др.] // Современ. проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – Режим доступа: <https://s.science-education.ru/pdf/2012/6/221.pdf>. – Дата доступа: 27.03.2026
3. Лискова, М. Ю. Негативное воздействие, оказываемое на окружающую среду предприятиями по добыче и обогащению калийно-магниевого солей [Электронный ресурс] / М. Ю. Лискова // Недропользование. – 2017. – Т. 16, № 1. – Режим доступа: <https://ered.pstu.ru/index.php/geo/article/view/1225/659>. – Дата доступа: 27.03.2026.
4. Ларионов, Н. С. Автоматизированные системы контроля атмосферного воздуха на горно-обогатительных комбинатах / Н. С. Ларионов, А. В. Соловьев // Безопасность жизнедеятельности. – 2020. – № 8. – С. 32–37.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Козак Т.В., студент

Научный руководитель Малькевич Н.Г.

Белорусский национальный технический университет

В данной статье приводится анализ системы наилучших доступных технических методов в области природопользования Республики Беларусь

Ключевые слова: рациональное природопользование, технологии, развитие, ресурсы, программа, техника, экологическая обстановка, цифровизация.

Рациональное природопользование в Республике Беларусь базируется на системном подходе, объединяющем правовое регулирование, внедрение передовых технологических решений и цифровую трансформацию природоохранной деятельности. Это означает, что предприятия стараются использовать максимальное количество природных ресурсов при минимальном негативном воздействии на окружающую среду. В 2025–2026 годах в стране принят ряд нормативных документов, определяющих стратегические направления развития этой сферы, а именно: внедрение «зеленой» экономики, повышение эффективности использования природных ресурсов и снижение техногенной нагрузки на среду.

Основой технической политики в области природопользования является система наилучших доступных технических методов (НДТМ). Эта система приобретает большое значение в экологическом законодательстве страны. НДТМ представляют собой наиболее эффективные технологические процессы и методы, обеспечивающие минимизацию воздействия на окружающую среду при условии экономической целесообразности и технической возможности их применения. Законодательное закрепление этой системы создаёт условия для комплексной поддержки предприятий, внедряющих наилучшие технические методы.

Утверждена программа стандартизации в приоритетных сферах национальной экономики на период до 2029 года, которая предусматривает разработку 107 государственных стандартов в высокотехнологичных отраслях, включая технологии эффективного использования энергоресурсов и сохранения природных экосистем. Её целью является развитие наукоемких производств, цифровизация, энергоэффективность и экологическая безопасность.

Важнейшим направлением технического развития природопользования является совершенствование системы обращения с отходами. Эта система

закрепляет два основных варианта организации сбора: установку контейнера для смешанных вторичных ресурсов и контейнера для обычного мусора или раздельную установку контейнеров для пластика, стекла, бумаги и смешанного мусора. Это нужно для увеличения объемов переработки вторичных ресурсов, снижения захоронения мусора на специальных площадках (полигонах), что оптимизирует логистику вывоза и улучшает качество сортировки сырья для дальнейшего использования.

Разработана новая техника для обработки почвы и заготовки кормов. Она представляет собой почвообрабатывающий модульный агрегат к тракторам мощностью 450 лошадиных сил, который за один проход позволяет рыхлить почву на глубину до 40 см и готовить ее под посев. Для заготовки качественных кормов разработаны гребенчатые грабли-валкователи шириной захвата 9,5 м, конструктивной особенностью которых является минимальный контакт рабочих органов с почвой, что исключает попадание в корм почвы и камней.

В области гидрометеорологии и экологического мониторинга представлен веб-интерфейс «Гидрометеорология: в будущее с новыми технологиями», предоставляющий в режиме реального времени данные о фактической погоде, прогнозах, радиолокационной информации, спутниковые снимки, гидрологические параметры и результаты радиационного мониторинга. Прогноз погоды оправдан на 98% и выше в Республике Беларусь на предстоящие сутки, что превышает критерии Всемирной метеорологической организации.

В лесном хозяйстве приоритетными направлениями являются внедрение систем дистанционного зондирования земли, искусственного интеллекта, а также разработка технологий раннего выявления очагов стволовых вредителей, что позволит находить больные деревья и вредителей на самых ранних стадиях, когда лес еще кажется здоровым. Благодаря этому лесничие могут вовремя остановить распространение эпидемии, спасти огромные участки леса от гибели и значительно сократить расходы на борьбу с последствиями, которые были бы неизбежны при запоздалой реакции.

Утверждённая программа «Экология» направлена на улучшение экологической обстановки и рациональное природопользование, а также программу «Недра» и подпрограммы в рамках «Цифровой Беларуси», что позволяет создать единую цифровую экосистему для эффективного управления природными ресурсами, обеспечить прозрачный контроль за состоянием окружающей среды и ускорить поиск новых месторождений полезных ископаемых. Объединение этих программ позволяет государству и бизнесу принимать решения на основе точных данных, минимизировать экологические риски и внедрять современные технологии в добывающую и природоохранную отрасли.

Таким образом, технические основы рационального природопользования в Республике Беларусь базируются на трех ключевых элементах: внедрении наилучших доступных технических методов, развитии системы обращения с отходами и цифровизации природоохранных процессов. Последовательная реализация этих направлений обеспечит экологическую эффективность и создаст основу для устойчивого развития страны.

Литература:

1. Утверждена программа опережающей стандартизации в приоритетных сферах национальной экономики до 2029 года. - <https://kalinovich-i-tsms.by/novosti/novosti-kcms/utverzhdjena-programma-operezhayushchej-standartizaczii-v-prioritetnyh-sferah-naczionalnoj-ekonomiki-do-2029-goda.html> (Дата обращения 26.03.2025).
2. С 1 декабря в Беларуси сортировка мусора будет обязательна для всех. - <https://grodnopress.by/2024/11/29/s-1-dekabrya-v-belarusi-sortirovka-musora-budet-obyazatelna-dlya-vseh> (Дата обращения 26.03.2025).
3. Белорусские ученые разработали новую технику для вспашки и обработки почвы, заготовки кормов. - <https://www.belta.by/economics/view/beloruskie-uchenye-razrabotali-novuju-tehniku-dlja-vspashki-i-obrabotki-pochvy-zagotovki-kormov-722036-2026> (Дата обращения 26.03.2025).
4. Об обращении с коммунальными отходами: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 21 января 2025 г. № 31. - <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500031> (Дата обращения 26.03.2025).
5. Белгидромет на коллегии Минприроды: итоги 2025 года и задачи на 2026 год. - <https://belgidromet.by/ru/glavnaya/novosti/belgidromet-na-kollegii-minprirody-itogi-2025-goda-i-zadachi-na-2026-god> (Дата обращения 26.03.2025).
6. Минлесхоз объявил конкурс на инновационные и цифровые проекты для управления лесным хозяйством. - <https://www.sb.by/articles/minleskhoz-obyavil-konkurs-na-innovatsionnye-i-tsifrovye-proekty-dlya-upravleniya-lesnym-khozaystvom.html> (Дата обращения 26.03.2025).
7. Об утверждении перечня государственных программ на 2026–2030 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31 октября 2025 г. № 602. - <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500602> (Дата обращения 26.03.2025).

**СИСТЕМА ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ
ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА: ОПЫТ ГП
«ПЕТРИКОВСКИЙ РАЙЖИЛКОМХОЗ»**

Козлович Д.А., студент

Научный руководитель: Веремейчик Л. А.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В статье рассмотрена система обращения с отходами производства на Государственном предприятии «Петриковский райжилкомхоз». Проанализированы организация сбора и временного хранения отходов, направления их использования, обезвреживания и захоронения. Особое внимание уделено эксплуатации полигона твердых коммунальных отходов и передаче вторичных материальных ресурсов специализированным организациям.

Ключевые слова: отходы производства, вторичные материальные ресурсы, обращение с отходами, полигон ТКО, захоронение отходов, обезвреживание.

Государственное предприятие «Петриковский райжилкомхоз» является одним из ключевых организаций жилищно-коммунального хозяйства Петриковского района Гомельской области. Предприятие создано решением Петриковского районного исполнительного комитета № 224 от 8 апреля 2004 года, численность работающих составляет 414 человек [1].

Основными направлениями деятельности являются выработка тепловой энергии, водоснабжение и водоотведение, санитарная очистка территорий, обращение с твердыми коммунальными отходами, деревообработка, а также оказание банно-гостиничных и ритуальных услуг [1]. Многообразие видов деятельности обуславливает образование значительного количества отходов различных классов опасности, что требует организации эффективной системы обращения с ними.

В соответствии со статьей 24 Закона Республики Беларусь «Об обращении с отходами» № 271-З, образующиеся на предприятии отходы подлежат сбору и разделению по видам с выделением отходов, относящихся к вторичным материальным ресурсам. Смешивание отходов не допускается. Классификация отходов по классам опасности осуществляется согласно общегосударственного классификатора [2, 3].

На предприятии определен порядок сбора, места и условия временного хранения отходов. Например, опилки натуральной чистой древесины (код 1710200 [3]) и кусковые отходы древесины (код 1710700 [3]) собираются на площадках с твердым покрытием около цехов деревообработки, после накопления необходимого объема вывозятся в котельные для использования в

качестве топлива. Поверхность хранящихся насыпью пылящихся отходов защищена брезентом для исключения загрязнения окружающей среды.

Особого внимания заслуживает организация хранения опасных отходов. Отработанные свинцовые аккумуляторы (код 3532201 [3]) собираются и хранятся на специальной площадке с бетонным покрытием на складе. В помещении запрещено курение, использование электронагревательных приборов и инструментов, способных дать искру.

Ртутные и люминесцентные лампы (коды 3532603 и 3532604 [3]) после замены удаляются в отдельное проветриваемое помещение с твердым покрытием, где хранение других отходов или материалов запрещено.

Обтирочный материал, загрязненный маслами (код 5820601[3]), собирается в металлические контейнеры с крышкой. Место хранения защищено от солнечных лучей и атмосферных осадков, укомплектовано противопожарным инвентарем.

Значительная часть образующихся отходов передается на использование или обезвреживание сторонним организациям на основании договоров. Детальный перечень передаваемых отходов представлен в таблице 1.

Асфальтобетон от разборки покрытий, бой бетонных и железобетонных изделий, бой кирпича керамического и силикатного, отходы рубероида, отходы старой штукатурки, отходы цемента в кусковой форме, растительные отходы от уборки территорий передаются на использование. Обезвреживанию подлежат отработанные люминесцентные и ртутные лампы, которые передаются специализированным организациям по договору.

Для отходов, не являющихся вторичными материальными ресурсами или не соответствующих требованиям объектов использования, организовано захоронение на собственном полигоне ТКО г. Петрикова. К таким отходам относятся опилки древесные, загрязненные минеральными маслами или бензином (коды 1721102, 1721108, третий класс опасности [3]), зола от сжигания древесины (код 3130601, третий класс опасности [3]), бой шифера (код 3141204, третий класс опасности [3]), обтирочный материал, загрязненный маслами (код 5820601, третий класс опасности [3]), осадок после промывки фильтров обезжелезивания (код 8420300, третий класс опасности [3]), а также отходы производства, подобные отходам жизнедеятельности населения (код 9120400, неопасные [3]).

Полигон ТКО расположен на северо-западе на расстоянии 5,5 км от г. Петрикова и представляет собой прямоугольную площадку площадью 2,5722 га. Естественное основание котлована состоит из песков с примесью щебня и песка. По периметру участка предусмотрены вал высотой 1,0 м и водоотводная канава. Эксплуатация объекта осуществляется согласно ТКП 17.11-02-2024 «Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Эксплуатация

объектов захоронения коммунальных отходов» [4] и технологическому регламенту захоронения отходов, утвержденному 3 января 2022 года.

Таблица 1— Перечень образующихся отходов, передаваемых на использование или обезвреживание

Наименование отходов	Цель передачи	Основание для передачи
Асфальтобетон от разборки асфальтовых покрытий	Использование	Договор
Бой бетонных изделий	Использование	Договор
Бой железобетонных изделий	Использование	Договор
Бой кирпича керамического	Использование	Договор
Бой кирпича силикатного	Использование	
Древесные отходы строительства	Использование	Договор
Кусковые отходы натуральной чистой древесины	Использование	Договор
Люминесцентные трубки отработанные	Обезвреживание	Договор
Отходы рубероида	Использование	Договор
Отходы старой штукатурки	Использование	Договор
Отходы цемента в кусковой форме	Использование	Договор
Растительные отходы от уборки территорий садов, парков, кладбищ, скверов и иных озеленённых территорий	Использование	договор
Ртутные лампы отработанные	Обезвреживание	Договор
Свинцовые аккумуляторы отработанные неповреждённые с неслитым электролитом	Использование	Договор
Опилки натуральной чистой древесины	Использование	договор
Отходы (смет) от уборки территорий промышленных предприятий и организаций	Использование	Договор

В толще твердых коммунальных отходов под воздействием микрофлоры происходит биотермический анаэробный процесс распада органической составляющей, что сопровождается выделением в атмосферный воздух метана, аммиака, сероводорода, оксида углерода, диоксида азота, формальдегида, толуола, ксилолов и этилбензола.

Важно отметить, что собственники объектов захоронения после завершения эксплуатации обязаны обеспечить проведение работ по выводу из эксплуатации с последующим проведением локального мониторинга окружающей среды и обеспечением обезвреживания или использования продуктов взаимодействия и разложения отходов.

На предприятии организовано ведение первичной учетной документации по формам ПОД-9 «Книга учета отходов» и ПОД-10 «Книга общего учета отходов». Заполнение ПОД-9 осуществляют главный энергетик, начальник транспортного участка, начальник участка по обеспечению топливом, мастер мини-ТЭЦ, мастер ВКХ, начальник ЖЭУ, начальники производственных участков и другие ответственные лица. ПОД-10 заполняется экологом предприятия. На основе первичных данных формируется государственная статистическая отчетность, которая ежеквартально и ежегодно представляется в территориальные органы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Таким образом, на ГП «Петриковский райжилкомхоз» сформирована многоуровневая система обращения с отходами, включающая раздельный сбор, временное хранение в специализированных местах, передачу вторичных материальных ресурсов на использование, обезвреживание опасных отходов и захоронение не утилизируемой части на собственном полигоне ТКО. Дальнейшее совершенствование системы должно быть направлено на увеличение доли отходов, вовлекаемых в хозяйственный оборот в качестве вторичных материальных ресурсов, и снижение объема захоронения.

Литература:

1. Государственное предприятие «Петриковский райжилкомхоз»: официальная страница на сайте Петриковского районного исполнительного комитета. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://petrikov.gov.by/ru/jkx/>. – Дата доступа: 04.04.2026.

2. Об обращении с отходами [Электронный ресурс]: Закон Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З : в ред. Закона Республики Беларусь от 17 июля 2023 г. № 294-З // etalonline.by. – Дата доступа: 27.02.2026.

3. Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 9 сентября 2019 г. № 3-Т [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pravo.by>. Дата доступа: 27.03.2026.

4. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Эксплуатация объектов захоронения коммунальных отходов: ТКП 17.11-02-2024 (33040/33140). – Введ. 01.01.2025. – Минск: Минприроды, 2024. – 45 с.

ИНСТИТУТ ЗАГОТОВКИ ОТХОДОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ПРОБЛЕМЫ КВАЛИФИКАЦИИ И ПРАВОПРИМЕНИТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКИ

Коленко Е. В., Побожный В. А., студенты

Научные руководители Ионас Е.Л., Цайц М.В.

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Беларусь

В статье анализируется правовой институт заготовки отходов, введённый в законодательство Республики Беларусь Законом от 29 декабря 2023 г. № 333-З. Исследуются проблемы, связанные с узким определением заготовки как деятельности, осуществляемой только в отношении отходов, образующихся после утраты товарами и упаковкой потребительских свойств. Рассматриваются критерии отнесения отходов к «отходам товаров и упаковки», а также правовые последствия неправильной квалификации. Проводится сравнительный анализ с законодательством Российской Федерации.

Ключевые слова: заготовка отходов, отходы товаров и упаковки, вторичные материальные ресурсы, законодательство Республики Беларусь, сортировка отходов.

Законом Республики Беларусь от 29 декабря 2023 г. № 333-З «Об изменении Закона Республики Беларусь „Об обращении с отходами“» в законодательство об обращении с отходами были введены новые термины, в том числе «заготовка отходов» и «сортировка отходов» [1]. В соответствии с пунктом 5 статьи 1 Закона об отходах (в редакции Закона № 333-З) заготовка отходов определяется как «прием на возмездной или безвозмездной основе отходов, образующихся после утраты товарами и упаковкой потребительских свойств (ОТУ), в целях их накопления и дальнейшей передачи на использование и (или) обезвреживание» [1].

Данное определение содержит ключевую ограничительную характеристику: объектом заготовки могут быть только отходы, ранее являвшиеся товарами или упаковкой. Это порождает ряд проблем квалификации и правоприменения, требующих научного осмысления и практических рекомендаций.

Далеко не все отходы, образующиеся у субъектов хозяйствования, могут быть квалифицированы как ОТУ. Согласно пункту 5 статьи 1 Закона об отходах к ОТУ относятся отходы, образующиеся после утраты товарами и упаковкой потребительских свойств [1]. При этом в законодательстве отсутствует легальное определение понятия «товар» для целей обращения с отходами, что создаёт значительные сложности на практике.

Например, отходы, образующиеся в результате раскрытия листов пенополистирола при производственных операциях (код отхода 5710803

«Пенопласт полистирола»)), не являются отходами, утратившими потребительские свойства товаров или упаковки, поскольку исходный материал (листы пенополистирола) не был товаром в экономическом смысле (не участвовал в свободном обмене на другие вещи), а использовался непосредственно в производственном процессе. Соответственно, такой отход не может передаваться на заготовку – единственно допустимым направлением его передачи является использование (утилизация) на объектах, включённых в реестр объектов по использованию отходов [2].

Как показывает практика, у субъекта хозяйствования может быть одновременно договор на использование отхода (например, полиэтилена) с организацией из реестра и договор на заготовку того же отхода с заготовительной организацией. Однако заготовительная организация не всегда принимает все виды отходов (например, обрезки трубы не принимает). В соответствии с пунктом 14 Инструкции о порядке разработки и утверждения инструкции по обращению с отходами производства, утверждённой постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 22.10.2010 № 45, инструкция по обращению с отходами должна содержать перечни отходов, направляемых на заготовку, использование и обезвреживание [3].

При этом Инструкция не содержит требований об указании отхода только в одном перечне, что позволяет использовать формулировки «отходы товаров и упаковки» (для передаваемых на заготовку) и «отходы, не относящиеся к отходам товаров и упаковки» (для передаваемых на использование). Однако такой подход создаёт риски для субъектов хозяйствования, поскольку неправильная квалификация отхода может повлечь административную ответственность.

Следует отметить, что важной особенностью правового регулирования заготовки отходов является то, что заготовители отходов производства, в отличие от заготовителей отходов потребления, не подлежат регистрации в реестре организаций, осуществляющих сбор, заготовку, сортировку отходов. В соответствии с пунктом 3 Положения о порядке ведения реестра организаций, осуществляющих сбор, заготовку, сортировку отходов, утверждённым постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30.06.2020 № 388, регистрации в реестре подлежат юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие сбор, заготовку, сортировку отходов, за исключением случаев осуществления такой деятельности только в отношении отходов производства [4].

Это означает, что заготовительная деятельность в отношении отходов производства практически не контролируется государством, что создаёт риски неправомерного обращения с отходами. В частности, отсутствие реестрового учёта затрудняет проверку законности деятельности заготовительных организаций и возможность привлечения их к ответственности за нарушения в

сфере обращения с отходами [5].

Еще одной проблемой является отчуждение отходов физическим лицам. В соответствии с пунктом 4 статьи 3 Закона об отходах отчуждение отходов физическому лицу допускается только в целях их использования для собственных нужд. При этом не допускается отчуждение физическому лицу отходов, включённых в перечень отходов, передача которых физическим лицам запрещается, утверждённый постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22.01.2020 № 36 [6].

На практике возникает ситуация, когда отходы, подлежащие заготовке, фактически передаются физическим лицам, которые выступают посредниками между юридическими лицами (например, сотрудники разбирают макулатуру для сдачи в школу). Такая деятельность является грубейшим нарушением законодательства об обращении с отходами, поскольку физическое лицо не может выступать в качестве заготовителя отходов производства.

В Российской Федерации институт заготовки отходов как таковой отсутствует. Вместо этого Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» использует понятия «сбор отходов», «накопление отходов», «транспортирование отходов», «обработка отходов», «утилизация отходов», «обезвреживание отходов» [7]. Ближайшим аналогом белорусской «заготовки» можно считать деятельность операторов по обращению с твёрдыми коммунальными отходами, которые осуществляют сбор и транспортирование отходов [8].

В отличие от белорусского подхода, российское законодательство не связывает возможность передачи отходов с их происхождением (товары/упаковка), что упрощает правоприменение. Вместе с тем в российской практике также существует проблема разграничения понятий «отходы» и «вторичные ресурсы», которая решается через введение критериев отнесения отходов к вторичным ресурсам [7].

Проведённый анализ позволяет сделать вывод о необходимости совершенствования правового института заготовки отходов в Республике Беларусь. Представляется целесообразным:

- расширить определение заготовки отходов, распространив её на любые отходы, пригодные для передачи на использование и (или) обезвреживание, вне зависимости от их происхождения;
- установить чёткие критерии для отнесения отходов к категории «отходов товаров и упаковки», возможно, через утверждение отдельного перечня;
- распространить требования о регистрации в реестре организаций, осуществляющих сбор, заготовку, сортировку отходов, также и на заготовителей отходов производства для усиления контроля за их деятельностью;
- усилить ответственность за незаконное посредничество физических лиц при передаче отходов между юридическими лицами.

Литература

1. Об обращении с отходами : Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2007 г., № 271-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 29.12.2023 г. // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.
2. Об утверждении общегосударственного классификатора Республики Беларусь ОКРБ 021-2019 «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь» : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 09 сент. 2019 г., № 3-Т // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.
3. Инструкция о порядке разработки и утверждения инструкции по обращению с отходами производства : утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 22 окт. 2010 г., № 45 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.
4. О порядке ведения реестра организаций, осуществляющих сбор, заготовку, сортировку отходов : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 июня 2020 г., № 388 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.
5. Регистрация в реестре организаций, осуществляющих сбор, заготовку, сортировку отходов : разъяснение государственного учреждения «Оператор вторичных материальных ресурсов». – Режим доступа: <https://vtoroperator.by>. – Дата доступа: 16.05.2026.
6. О перечне отходов, передача которых физическим лицам, не являющимся индивидуальными предпринимателями, запрещается : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 22 янв. 2020 г., № 36 : в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 18.09.2024 г. // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.
7. Об отходах производства и потребления : Федеральный закон Российской Федерации, 24 июня 1998 г., № 89-ФЗ : в ред. от 08.08.2024 г. // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 1998. – № 26. – Ст. 3009.
8. Дубовик, Д. М. Сравнительно-правовой анализ регулирования обращения с отходами в РФ и странах ЕАЭС: пути гармонизации для перехода к экономике замкнутого цикла / Д. М. Дубовик // *European and Asian Law Review*. – 2025. – № 4. – Т. 8. – С. 10–18.

ТЕХНОЛОГИЯ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Королик Е. А., студентка

Научный руководитель Морзак Г. И.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассмотрена сущность вибропрессования бетонных смесей. Показаны преимущества технологии с точки зрения рационального природопользования: использование техногенных отходов, снижение расхода цемента, безобжиговый процесс, ресурсосбережение и уменьшение экологической нагрузки.

Ключевые слова: технология вибропрессования, воздействия на окружающую среду, рациональное природопользование, экологическая нагрузка.

Вибропрессование – способ формования, в котором сочетаются вибровоздействие на бетон и прессующее усилие и который наиболее широко применяется при изготовлении мелкоштучных изделий разнообразных плит, стеновых и бортовых камней и т. п. [1].

Сущность данного метода заключается в одновременном воздействии на бетонную смесь вибрации и направленного прессующего усилия, что позволяет уплотнять жесткие и сверхжесткие смеси с низким водоцементным отношением, обеспечивая немедленную распалубку после формования. В отличие от традиционного вибрирования на виброплощадках, вибропрессование характеризуется более высокой интенсивностью уплотнения, что достигается за счет сочетания высокочастотных колебаний и давления пригруза или прессующего пуансона. Это позволяет существенно сократить расход цемента, снизить водопотребность смеси и повысить плотность затвердевшего бетона.

Благодаря вибрации зёрна твёрдой фазы (особенно заполнителя) располагаются компактно, а также проявляется тиксотропный эффект, то есть способность субстанции уменьшать вязкость (разжижаться) от механического воздействия и увеличивать вязкость (сгущаться) в состоянии покоя. Одновременно с этим давление прессования сближает обволакиваемые жидкостью частицы. В результате комплексного действия вибрации и прессования внутри уплотняемого бетона формируется слитная структура цементного камня, которая обеспечивает ключевые эксплуатационные свойства: прочность, плотность, непроницаемость, стойкость к морозу и коррозии.

Общий цикл уплотнения разделяется на три стадии (рисунок 1). На первой стадии протекает переукладка составляющих, для которой характерны

хаотичное расположение зёрен и воздушных пор, а также неполный контакт частиц между собой.

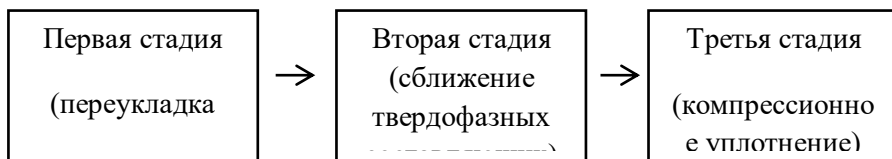


Рисунок 1 – Стадии технологического цикла уплотнения

Вторая стадия процесса характеризуется сближением твердофазных составляющих. Под действием динамической нагрузки система переходит в эту стадию. Состояние перестраивается из хаотичного в устойчивое. Зёрна наполнителя (заполнителя) перекадываются и располагаются плотнее друг к другу. В этот период из смеси активно выходит воздух, и на поверхности наполнителя (особенно крупного) появляется свободная жидкость. На этой стадии хорошо чувствуется упругость смеси, т. к. в ней ещё есть остаточный воздух. Стадия завершается в тот момент, когда смесь перестаёт оседать.

Третья стадия – компрессионное уплотнение, которое производится путем дополнительного обжатия смеси статическим давлением [2].

Технологический цикл вибропрессования включает несколько последовательных операций. Сначала на поддон или в матрицу укладывается арматурный каркас (при необходимости), затем загружается бетонная смесь. После этого формирующая головка с вибратором опускается и осуществляет уплотнение в течение нескольких секунд. Далее изделие немедленно извлекается из матрицы либо вместе с поддоном направляется на пост выдержки или тепловой обработки.

Благодаря высокой производительности (до нескольких сотен изделий в час) и возможности быстрой переналадки на другую номенклатуру, вибропрессование широко применяется как на крупных заводах сборного железобетона, так и на малых производственных линиях.

С точки зрения *рационального использования природных ресурсов* технология вибропрессования является предпочтительной, так как позволяет использовать техногенные отходы в качестве заполнителя, что сокращает добычу природных ресурсов и уменьшает количество отходов. В частности, в составе вибропрессованных бетонных смесей возможно замещение до 40–60 % природного песка и щебня отсевами дробления горных пород, металлургическими шлаками, золошлаковыми смесями тепловых электростанций, а также дроблёным бетоном и кирпичным боем [4]. Такой подход непосредственно реализует принципы рационального

природопользования, поскольку снижает объёмы выемки нерудных материалов из карьеров, уменьшает площадь нарушенных земель и сокращает техногенную нагрузку на ландшафты.

Кроме того, вовлечение техногенных отходов в производственный оборот решает проблему их складирования и захоронения. Применение этих отходов в качестве вторичного сырья при вибропрессовании позволяет не только снизить экологический ущерб, но и получить экономический эффект за счёт уменьшения затрат на приобретение природных заполнителей и оплату размещения отходов.

Важным аспектом рационального природопользования является также ресурсосбережение в части вяжущего. Вибропрессование жёстких бетонных смесей с низким водоцементным отношением (0,25–0,35) позволяет сократить расход цемента на 15–20 % по сравнению с традиционными пластичными смесями при сохранении требуемой прочности. Поскольку производство цемента является энергоёмким и сопровождается выбросами углекислого газа, его экономия напрямую снижает техногенную нагрузку на атмосферу и недра.

Следует отметить, что вибропрессование является безобжиговой технологией, что отличает её от производства керамических строительных материалов. Отсутствие этапа высокотемпературного обжига сокращает расход топливно-энергетических ресурсов и исключает выбросы продуктов сгорания, оксидов азота, серы и твёрдых частиц. Таким образом, с позиций рационального природопользования вибропрессование представляет собой малоотходную, энергосберегающую и экологически ориентированную технологию, соответствующую основным направлениям устойчивого развития строительной отрасли.

Литература:

1. Батяновский, Э.И. Технология бетонных и железобетонных изделий: Учебное пособие. – Мн.: Высшая школа, 2017. – 305 с.

2. Батяновский, Э. И. Вибропрессованный бетон: технология и свойства / Э. И. Батяновский, А. И. Бондарович; Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2018. – 262 с.

3. Технология вибропрессования | Steif [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://steifmachine.ru/stati/tehnologija-vibropressovaniya-metod-proizvodstva-trotuarnoj-plitki-bordjurov-stroitelnyh-blokov/>. – Дата доступа: 09.04.2026.

4. Королик Е. А. (науч. рук. Морзак Г.И.) Экологические воздействия на окружающую среду технологии вибропрессования при изготовлении железобетонных изделий// Инженерная экология: сб. материалов студенческой научно-технической конференции / БНТУ, ФГДИЭ; сост.: А. А. Хрипович, Н. Ю. Макаревич. – Минск: БНТУ, 2025. С. 143–148.

РАЗНОГОДИЧНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ПОПУЛЯЦИИ *IMPATIENS GLANDULIFERA* В ДОЛИНЕ МАЛОЙ РЕКИ (ГОРОД ГРОДНО)

Короткая А.А., магистрант

Научный руководитель Созинов О.В.

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Беларусь

*Выявлена достоверная согласованная разногодичная изменчивость морфометрических признаков *Impatiens glandulifera* под влиянием метеорологических условий: по сравнению с 2023 г. в 2024 г. уменьшились значительно все параметры, а в 2025 г. произошло увеличение практически всех параметров, кроме длины и ширины листовой пластинки.*

*Ключевые слова: разногодичная изменчивость, *Impatiens glandulifera*, ценопопуляция, фитоценоз, инвазивный вид, Гродно.*

В XXI веке инвазивные виды являются одной из основных угроз по сохранению биологического разнообразия. В Республике Беларусь проблеме инвазивных видов уделяется пристальное внимание, создана нормативная правовая база и ведётся кадастр растительного мира, позволяющие проводить учет известных популяций инвазивных видов растений, проводить мероприятия по регулированию их распространения и численности, а также осуществляется мониторинг инвазии и разработка эффективных мер борьбы с ними [4]. Отмечается продолжение и расширение экспансии инвазивных видов растений в нашей стране, увеличивается ущерб для природных экосистем, экономики и здоровью людей.

Недотрога желёзконосная (*Impatiens glandulifera* Royle) является одним из часто встречающихся инвазивных видов в Европе. Появилась она на территории Беларуси в результате прямой интродукции. В настоящее время широко распро странена как декоративное растение на приусадебных участках, в цветниках и палисадниках [2]. Одним из первых активно заселяет нарушенные местообитания, образует дериватные (замещающие, переходные) сообщества, выступая в них доминантом, внедряется в естественные лесные, прибрежные, луговые, болотные фитоценозы. При этом наблюдается элиминация не только однолетних, но и многих многолетних аборигенных видов, а также всходов подроста в лесных сообществах [1].

Цель исследования – изучение разногодичной изменчивости морфометрических характеристик ценопопуляций *Impatiens glandulifera* в долине малой реки в пределах г. Гродно.

Для исследования ценопопуляций *I. glandulifera* (август 2023-2025 гг.) охвачен нами пойменный биотоп, который располагался в долине реки Лососно в г. Гродно (N 53°39'55" E 53°46'15"). Описание растительных сообществ с участием *I. glandulifera* проводили детально-маршрутным методом: заложена пробная площадь 100 м², в 10 см от уреза воды. Проведены геоботанические описания фитоценозов, получены морфо-ценотические характеристики *I. glandulifera* за 2023-2025 гг.: высота (см) (n=18, 13, 15 по годам), плотность побегов (шт./м²) (n=18, 13, 15); окружность стебля (мм) (n=18, 13, 15); количество листьев (шт.) (n=18, 13, 15); длина, ширина листовой пластинки (см) (n=54, 39, 45); количество цветков, плодов (шт.) (n=18, 13, 15) [3].

В ходе таксономического анализа фитоценоза с участием *I. glandulifera* выявлено в 2023 г. – 16 видов сосудистых растений, в 2024-2025 гг. – 9 видов.

В 2023 г. доминантами живого напочвенного покрова в фитоценозе в долине р. Лососно является *Eupatorium cannabinum* – 18,2%/м², а *I. glandulifera* составлял – 1,2 %; в 2024 и 2025 гг. доминантом растительного покрова для фитоценоза у р. Лососно являлся *Acorus calamus* – 47,1% и 44,7% соответственно, а *I. glandulifera* составляет – 1,8% и 3,4%.

В табл. 1 представлены морфо-ценотические показатели ценопопуляций *I. glandulifera* за 2023-2025 гг.

Таблица 1 – Морфо-ценотические показатели ценопопуляций *I. glandulifera*

Параметры	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Плотность побегов, шт./м ²	2,15±0,81	0,85±0,37	1,4±0,63
Высота стебля, см	120,5±11,25	48,46±5,29	84,2±12,05
Диаметр стебля (основание), мм	19,33±2,2	10,23±1,05	10,73±1,25
Количество листьев на одно растение, шт.	28,11±3,52	14,46±1,46	19,53±2,07
Длина листовой пластинки, см	11,67±0,66	7,88±0,52	7,38±0,59
Ширина листовой пластинки, см	3,79±0,2	2,87±0,18	2,63±0,24
Количество цветков на одно растение, шт.	6,33±1,24	2,38±0,69	3,13±0,86
Количество плодов на одно растение, шт.	13,5±2,75	0,85±0,46	2,47±1,37

В 2024 г. по сравнению с 2023 г все морфометрические параметры ценопопуляций *I. glandulifera* значительно уменьшились (табл. 1).

В 2025 г. в ценопопуляций *I. glandulifera* по сравнению с 2023 г. прослеживается значительное уменьшение всех морфометрических параметров. По сравнению с 2024 г уменьшились – длина листовой пластинки на 0,5 см и ширина листовой пластинки на 0,24 см. Остальные параметры значительно увеличились: плотность побегов на 0,55 шт./м², высота стебля на 35,74 см, диаметр стебля на 0,5 мм, количество листовых пластинок на 5,07 шт., количество цветков на 0,75 шт. и плодов на 1,62 шт. на одно растение.

Такая тенденция разногодичной изменчивости морфометрических параметров ценопопуляций *I. glandulifera*, возможно, из-за температурного режима воздуха: в 2023 г. среднегодовая температура воздуха составляет +9,78 °С, в 2024 г. – +11,42 °С, в 2025 г. составляет 9,33 °С и из-за различия по количеству осадков: в 2023 г. выпало 508 мм осадков, в 2024 г. – 457 мм, в 2025 г – 461 мм).

Оценка разногодичной изменчивости показала, что параметры – высота стебля, диаметр стебля, количество листовых пластинок на одно растение имеют статистические различия ($p < 0,05$), а по остальным параметрам не выявлено статистически значимых различий ($p > 0,05$) (табл. 2).

Таблица 2 – Показатели дисперсионного анализа и критерия Краскела-Уоллиса при сравнении морфо-ценотических параметров *I. glandulifera* в долине реки Лососно за 2023-2025 гг.

Параметры	Статистический метод	
	Дисперсионный анализ (p)	Критерий Краскела-Уоллиса (p)
Плотность побегов, шт./м ²	-	0,7912
Высота стебля, см	0,000096	-
Диаметр стебля (основание), мм	0,000447	-
Количество листьев на одно растение, шт.	0,003732	-
Длина листовой пластинки, см	-	1,000
Ширина листовой пластинки, см	-	1,000
Количество цветков на одно растение, шт.	-	1,000
Количество плодов на одно растение, шт.	-	1,000

p – это вероятность получения наблюдаемых различий между группами, если предположить, что нулевая гипотеза верна (различий нет).

По сравнению с 2023 годом в 2024 г. уменьшились морфометрические параметры *I. glandulifera*, в 2025 г. увеличились практически все параметры, кроме длины и ширины листовой пластинки.

Выявлена достоверная согласованность разногодичной изменчивости морфометрических признаков *Impatiens glandulifera* под влиянием метеорологических условий. По сравнению с 2025 г. в 2023-2024 гг. значительно уменьшились все морфометрические параметры. В 2025 г. увеличились практически все параметры, кроме длины и ширины листовой пластинки. При оценке разногодичной изменчивости выявили статистические различия – высота стебля, диаметр стебля, количество листовых пластинок на одно растение.

Литература:

1. Варавко, В. Н. Агрессивные чужеродные виды диких животных и дикорастущих растений на территории Республики Беларусь / В. Н. Варавко [и др.]. – Минск, 2008. – 40 с.
2. Виноградова, Ю. К. Очередные задачи инвазионной биологии / Ю. К. Виноградова // Проблемы изучения адвентивной и синантропной флор России и стран ближнего зарубежья: материалы IV международной научной конференции. – Ижевск, 2012. – С. 56-59.
3. Ипатов, В. С. Описание фитоценоза: методические рекомендации. Учебно-методическое пособие / В. С. Ипатов, Д. М. Мирин. – СПб : СПб ГУ, 2008. – 71 с.
4. Куклина, А. Г. Фитоинвазии: опасность и экологические последствия / под ред. А. Г. Куклиной, Ю. К. Виноградовой // Наука и жизнь. – Минск, 2015. – С. 17-22.

ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ В ДОСТИЖЕНИИ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Короткая Е.С., магистрант

Научный руководитель Хрипович А.А.

Белорусский национальный технический университет

В статье рассматривается роль электромобилей в решении проблемы изменения климата и достижения Целей устойчивого развития (ЦУР). Транспортный сектор вносит значительный вклад в загрязнение воздуха. Особое внимание уделяется вкладу электротранспорта в достижение ЦУР 7, ЦУР 11, ЦУР 12, ЦУР 13.

Ключевые слова: электромобили, изменение климата, парниковые выбросы, Цели устойчивого развития (ЦУР).

Изменение климата – это глобальная проблема, затрагивающая страны и людей по всему миру. Транспортная отрасль в значительной степени способствует загрязнению воздуха, что приводит к изменению климата [1]. К категории «транспорт» относятся любые транспортные средства, используемые для перевозки людей или товаров из одного места в другое. А электротранспорт – это вид транспорта, использующий в качестве источника энергии электричество, а в приводе используется тяговый электродвигатель.

Электромобили оказывают меньшее воздействие на окружающую среду в процессе использования, нежели автомобили с двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Таким образом, внедрение электромобилей – это шаг к снижению воздействия на окружающую среду, уменьшению углеродного следа и достижению целей устойчивого развития [2].

Кроме того, внимание общественности и государств к устойчивому развитию растет с каждым годом, что приводит к ужесточению политик и нормативных актов, касающихся сокращения выбросов углерода. Этот переход необходим для продвижения глобальных усилий по достижению экологической устойчивости и развитию более экологических и эффективных транспортных систем.

Электромобили могут способствовать интеграции возобновляемых источников энергии, так как энергия для зарядки электромобиля может быть получена из возобновляемых источников, что поддерживает устойчивость транспортного сектора. Этапы процесса эксплуатации электромобилей отражены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Этапы процесса эксплуатации электромобилей

Однако производство электромобилей представляет более серьёзную экологическую проблему, чем автомобили с ДВС, в первую очередь из-за невозможности использования химикатов, металлов и энергии, требуемой для производства специфических компонентов, таких как высоковольтные аккумуляторы.

При движении электромобиль не создаёт прямых выбросов, однако выбросы углекислого газа неизбежны на этапах добычи сырья, производства материалов, изготовления компонентов и транспортировки.

17 Целей устойчивого развития (ЦУР) – это глобально принятые цели, направленные на ликвидацию бедности и нищеты, борьбу с неравенством и несправедливостью, а также защиту планеты и обеспечение мира и процветания для всего населения. Беларусь подтверждает высокую степень приверженности своим международным обязательствам. Уровень прогресса Беларуси по достижению Целей устойчивого развития (ЦУР) составляет 80,5%. В 2025 году Беларусь заняла 32-е место среди 167 стран в рейтинге достижения Целей устойчивого развития согласно Sustainable Development Report 2025 [3]. Электромобили вносят вклад во многие ЦУР – как прямо, так и косвенно.

Использование электромобилей значительно способствует достижению Целей устойчивого развития, сокращая выбросы углерода, снижая уровень шума и загрязнение окружающей среды.

Основной вклад электромобилей в достижение ЦУР связан с ЦУР 7, ЦУР 11, ЦУР 12 и ЦУР 13.

ЦУР 7 направлена на обеспечение доступа каждого человека к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии.

Большинство традиционных транспортных систем зависят от сжигания ископаемого топлива (уголь, нефть, природный газ), что приводит к

крупномасштабным выбросам отходов, загрязнению окружающей среды, а также к росту заболеваний [4].

Переход на электромобили позволяет снизить выбросы углерода, парниковых газов от движения автотранспорта, а также способствует борьбе с изменением климата. Однако при производстве одного электромобиля на килограмм массы расходуется значительное количество энергии (около 41,8 МДж). Но электромобили примерно в 3 – 4 раза эффективнее автомобилей с обычными двигателями внутреннего сгорания.

ЦУР 11: Устойчивые города и сообщества. Электромобили значительно снижают загрязнение воздуха и выбросы парниковых газов, улучшая качество воздуха и общественное здоровье в городах.

Интеграция электромобилей в общественный транспорт, такие как автобусы и трамваи, снижает уровень шумового загрязнения и способствует созданию устойчивой и экономической системы мобильности.

Солнечные зарядные станции способствуют энергетической независимости. Стратегически верно размещённые зарядные станции обеспечивают доступность электротранспорта для всех слоёв населения. Кроме того, аккумуляторы могут служить резервными накопителями энергии во время сбоев питания.

ЦУР 12: Ответственное потребление и производство. Использование электротранспорта помогает снизить расходы на топливо и общие потребительские расходы.

Начальная стоимость электромобиля может окупиться в течение 5 лет, особенно для моделей с небольшим запасом хода. В отличие от авто с ДВС, электромобили не используют моторное масло, что устраняет проблему утилизации опасных отходов. Снижается необходимость в производстве масляных насосов, хладагентов и других компонентов, что уменьшает воздействие на окружающую среду. Проектирование аккумуляторов для удобной переработки, их повторное использование и извлечение ценных материалов снижает спрос на первичные ресурсы.

ЦУР 13: Климатические действия. МЭА поставило цель ограничить рост средней глобальной температуры до 2°C, а затем до 1,5°C к 2050 году. Сжигание бензина, дизеля и других видов топлива выделяет CO₂, CH₄, N₂O, ГФУ и SO₂, которые вызывают парниковый эффект, разрушение озонового слоя и кислотные дожди. Электромобили при движении не выделяют CO₂, улучшая качество воздуха в городах. Даже с учётом полного жизненного цикла их выбросы ниже, чем у автомобилей с ДВС.

Электромобили являются важным инструментом для достижения Целей устойчивого развития. Они напрямую способствуют обеспечению чистой энергией (ЦУР 7), созданию устойчивых городов (ЦУР 11), ответственному потреблению (ЦУР 12) и борьбе с изменением климата (ЦУР

13). Косвенно электромобили влияют на снижение бедности, улучшение здоровья, гендерное равенство, качество воды и жизни на суше. Однако для полной реализации этого потенциала необходимо преодолеть инфраструктурные, экономические и технологические барьеры, а также обеспечить справедливый доступ к электротранспорту для всех слоёв населения.

Литература:

1. Капский Д. В. Чувствительность транспортной отрасли к изменению климата / Д. В. Капский, С. В. Богданович, Ю. В. Буртыль // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки.– 2023 – №1.

2. Коврига Евгения Владиславовна, Сумская Ольга Александровна Электромобили, как решение проблемы обеспечения экологичности окружающей среды // Научный журнал КубГАУ.– 2017.– №128.

3. Цели устойчивого развития в Беларуси [Электронный ресурс] / 2024 – 2026 Минск, 2024. – Режим доступа: <https://sdgs.by>. – Дата доступа: 5.04.2026

4. Алиев А. А. Транспорт и экологические проблемы / А. А. Алиев, Я. Г. Азиев, С. М. Велиев // Мировая наука.– 2024.– №4 (85)

КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ НА ОСНОВЕ ГРАНИТНЫХ ОТСЕВОВ

Корякин М.С., студент

Научные руководители Меженцев А.А., Костюк Н.Н.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В работе проведены исследования по определению возможности использования гранитных отсевов и фосфогипса – отхода производства фосфорных удобрений при производстве вяжущих материалов. Показана возможность применения фосфогипса и гранитных отсевов для улучшения эксплуатационных свойств цементных композиций.

Ключевые слова: гранитные отсевы, фосфогипс, композиционные вяжущее, водопоглощение, прочность изделий

Из литературных данных, касающихся получения вяжущих материалов не гидратационного твердения известно, что при использовании механоактивированной смеси можно получить из отходов добычи природного сырья всевозможные вяжущие материалы. Применяя исходные смеси, содержащие метаморфические горные породы с добавкой гипса и извести можно изготовить строительные изделия методом сухого прессования под давлением с прочностью 10 – 15 МПа. Введение в смесь добавок способствует образованию на поверхности частиц пленок из гелеподобных гидратированных масс, что способствует твердению силикатных и алюмосиликатных пород исходя из теории конденсации, основанной на том, что вещества, обладающие высокой степенью дисперсности при сближении, которых образуется без видимого химического взаимодействия водостойкие тела, обладают склонностью снижать свою поверхностную энергию путем объединения в конгломераты.

При процессе механоактивации протекают процессы:

- изменение энергетических и физико-химических параметров поверхности частиц;
- возрастание реакционной поверхности твердого тела, что в конечном счете приводит к росту активности веществ в реакции.

При добавлении к гранитным отсевам гипса и извести наблюдается усиление описанных выше эффектов, как за счет протекания химического взаимодействия между исходными веществами, так и за счет, протекающей при прессовании дополнительной механоактивации компонентов формовочной смеси [1].

Для снижения давления в процессе прессования образцов исходную смесь подвергали предварительной механоактивации в дезинтеграторе. При

этом давление прессования образцов снижалось в 1,5 – 2,0 раза и при этом исследованные образцы при выдерживании на воздухе 7 суток имели прочность 1,1 – 1,5 МПа; 14 суток – 3,1 – 3,5 МПа.

При проведении серии опытов с введением гипса получены зависимости, характеризующие возрастание прочности образцов на сжатие, но в то же время наблюдается снижение водостойкости образцов.

Оптимальным содержанием гипса в цементном тесте, при котором возможно совмещение и высокая прочность образцов на сжатие и водопоглощение является 10-15% мас. от массы цементного теста.

Для решения экологических проблем в Республике Беларусь и утилизации одного из крупнотоннажных отходов фосфогипса, образующегося в больших количествах при производстве фосфорных удобрений на Гомельском химическом заводе. Была проведена серия экспериментов по замене природного гипса на фосфогипс–дигидрат, относящийся к гипсовому сырью 1 и 2 сорта, который и может служить альтернативным сырьем природному гипсу при производстве строительных материалов. В ходе проведенных исследований установлено, что замена природного гипса на фосфогипс не приводит к снижению прочностных характеристик изделий, полученных из данных вяжущего.

Для изучения влияния водотвердого соотношения исходной смеси на плотность получаемого материала и влияние его пористости получаемых изделий, изготавливались методом прессования образцы различного состава при различных давлениях прессования (5, 10, 20, 50 МПа) и определялись структурные характеристики свежепрессованных образцов и после их хранения в течение различных сроков. В ходе проведенных исследований выявлено, что с возрастанием содержания воды в исходной композиции плотность прессованных образцов увеличивается до определенной величины, а затем падает, что объясняется заполнением межзернового пространства атмосферной влагой. При дальнейшем возрастании влажности смеси можно констатировать уменьшение плотности как свежепрессованных образцов, так после выдержки на воздухе.

Установлено, что введение в исходную композицию различных добавок приводит к снижению пористости сформированных изделий, поэтому оптимальным является введение в исходную смесь не более 15 – 20 % фосфогипса от массы всей смеси.

При проведении прессования образцов при различных давлениях показано, что положительное влияние прессования оказывает до величины 20 – 30 МПа, при последующем увеличении оно не оказывает существенного влияния на физико-химические и эксплуатационные свойства полученных образцов. Введение в систему цемента в количестве 6 – 7% приводит к повышению водостойкости полученных образцов, коэффициент

водостойкости при этом увеличивается до 0,7 – 0,75, а прочность образцов при выдержке в течение 7 суток на воздухе увеличивается на 20 – 25%.

Таблица 1 – Состав и свойства прессованных композитов

Состав композита, %				Общ. p прессов., т	$R_{сж}$, кг/см ²	Водопоглоще- ние, %
Гран.отсев	Фосфогипс	ПЦ500ДО	H ₂ O			
72	14	7	7	5	240	14,8
72	14	7	7	10	325	14,8
72	14	7	7	15	405	14,8
72	14	7	7	20	485	9,25
72	14	7	7	25	565	9,25
72	14	7	7	30	635	8,2

В ходе проведенных исследований установлено, что кристаллизационные структуры могут образовываться при следующих обстоятельствах:

- частицы дисперсной фазы должны иметь возможность к образованию кристаллизационных контактов между собой;
- содержание растворенного CaSO₄ в воде должна быть выше растворимости его гидрата.

В процессе прессования частицы фосфогипса сблизить на критическое состояние для образования кристаллизационной структуры не возможно из-за высокой влажности фосфогипса. Поэтому для таких композиций выполнить второе условие возникновения кристаллической структуры, т.е. повысить прессыщение жидкой фазы. После затворения, образовавшейся водой концентрация в растворе быстро возрастает до величины, при которой начинает протекать процесс образования новой фазы. В ходе исследований установлено, что прочность затвердевших образцов продолжает возрастать, хотя процесс гидратации вяжущего закончился в течение 24 ч твердения. В течение времени выдерживания образцов на воздухе с 7 до 28 суток прочность возрастает на 8 – 10%.

Проведенные исследования показали возможность применения гранитных отсеков и фосфогипса для улучшения физико-химических свойств цементных композиций.

Литература

1. Смоляков, А.В. Технология и свойства цемента с минеральной добавкой из гранитного отсева и тяжелого конструкционного бетона с его применением : автореф. дис. ... на соискан. уч. ст. канд. техн. наук : 05.23.05 ; Минск. – БНТУ. 2020. – 21 с.

**ПРОГНОЗ МИГРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ РАССОЛОВ И
ОБОСНОВАНИЕ ДРЕНАЖНОЙ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В
РАЙОНЕ СОЛЕОТВАЛА 2-ГО РУДОУПРАВЛЕНИЯ ОАО
«БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»**

Крапивин П.П., студент

Научный руководитель Тишковская Е.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье на примере 2-го рудоуправления ОАО «Беларуськалий» проведен расчет скорости миграции рассолов (30,6 м/год). С помощью числа Пекле ($Pe=8400$) доказано доминирование конвективного переноса массы. Предложено инженерное обоснование размещения линейного дренажа для защиты подземных вод и реки Сивельга.

Ключевые слова: Старобинское месторождение, солеотвал, закон Дарси, число Пекле, миграция рассолов, хлорид-ионы, четвертичный горизонт, дренажная защита, РУ №2, предиктивный мониторинг.

Масштабное освоение Старобинского месторождения калийных солей сопряжено с накоплением колоссальных объемов галитовых отходов, сосредоточенных в солеотвалах высотой до 120 метров. Ключевым экологическим риском при складировании свыше 1 млрд тонн отходов является формирование агрессивных техногенных рассолов. В результате растворения солей атмосферными осадками образуются стоки с минерализацией до 245 г/дм³, которые, обладая избыточной плотностью (порядка 1,2 г/см³), интенсивно инфильтруются в четвертичные водоносные горизонты. Данный процесс приводит к деградации качества подземных вод и трансформации геохимического облика вмещающих пород. Особенность миграции таких рассолов заключается в их способности формировать устойчивые линзы загрязнения, смещающиеся по направлению естественного гидравлического уклона в сторону региональных дрен – рек Сивельга и Случь.

Учитывая инерционность массопереноса в подземной гидросфере и техническую сложность оперативной утилизации накопленных отходов, стратегия рационального природопользования должна базироваться на методах предиктивного моделирования. Для анализа динамики ореола засоления в районе 2-го рудоуправления (РУ № 2) ОАО «Беларуськалий» используется сеть наблюдательных скважин (№13, №17, №18, №25, №72), позволяющая фиксировать изменение химического состава вод на различных удалениях от источника загрязнения. Расположение мониторинговых створов и объектов складирования представлено на рисунке 1. Переход от пассивной фиксации данных к расчетным прогнозам на основе закона Дарси и критерия

Пекле позволяет заблаговременно обосновать параметры инженерной защиты недр и проектировать эффективные перехватывающие системы.



Рисунок 1 – Схема расположения наблюдательных скважин в зоне влияния солеотвала РУ №2 (космоснимок)

Количественная оценка распространения загрязнения базируется на аналитической модели закона Дарси. Для расчета приняты характерные параметры водно-ледниковых отложений района РУ № 2: коэффициент фильтрации $k = 7$ м/сут (согласно архивным данным гидрогеологических изысканий для четвертичных песков региона) и активная пористость $n_e = 0,25$ (среднестатистическое значение для мелкозернистых песков с учетом техногенного уплотнения). Гидравлический уклон зеркала подземных вод в сторону р. Сивельга принят равным $I = 0,003$ на основании высотных отметок уровней в скважинах мониторинговой сети. Действительная скорость миграции солевого фронта (u), определяющая реальное перемещение частиц рассола в пористой среде, рассчитана по формуле:

$$u = k \times I / n_e = 7 \times 0,003 / 0,25 = 0,084 \text{ м/сут} = 30,6 \text{ м/год} \quad (1)$$

Полученное расчетное значение подтверждается динамикой локальной сети мониторинга РУ № 2. В частности, в скважинах №13 и №25, расположенных в непосредственной близости к подошве солеотвала, фиксируется стабильно высокая минерализация (свыше 30 г/дм³). При этом

продвижение фронта загрязнения к удаленным створам (скважины № 18 и № 72) на расстояние более 300 м коррелирует с десятилетним циклом эксплуатации объекта.

Интенсивность инфильтрации характеризуется удельным фильтрационным расходом (q), который при средней мощности пласта $m = 15$ м (установленной по геолого-литологическим разрезам скважин РУ №2) составляет:

$$q = k \times m \times I = 7 \times 15 \times 0,003 = 0,315 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (2)$$

Расчет показывает, что на каждый погонный метр фронта солеотвала в недра поступает 315 литров рассола в сутки.

Для научного обоснования методов защиты рассчитано безразмерное число Пекле (Pe):

$$Pe = u \times L / D_m = 0,084 \times 10 / 0,0001 = 8400 \quad (3)$$

При расчете принято значение характерного линейного масштаба $L = 10$ м (средняя мощность техногенного потока) и коэффициент молекулярной диффузии хлоридов $D_m = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{сут}$. Значение $Pe \gg 10$ однозначно указывает на подавляющее доминирование адвективного (конвективного) переноса, что предопределяет выбор линейных дренажных систем как единственно эффективного метода локализации «языка» загрязнения.

На основании полученных гидродинамических параметров ($u = 30,6$ м/год, $Pe \gg 10$) и анализа расположения мониторинговой сети (скважины №18, №25, №72), единственным эффективным методом локализации техногенного стока является устройство линейного вертикального дренажа. Учитывая вектор миграции рассолов в сторону р. Сивельга, створ перехватывающих скважин целесообразно размещать на удалении 350-400 метров от подошвы солеотвала. Это позволит физически отсечь основной конвективный поток до момента его выхода в прибрежную зону. Такая система «опережающего перехвата» обеспечивает возврат минерализованных вод в технологический цикл предприятия, что полностью соответствует принципам рационального природопользования и минимизирует риски необратимой деградации водных ресурсов региона.

Проведенное исследование подтверждает, что инфильтрация рассолов из объектов складирования РУ №2 ОАО «Беларуськалий» (минерализация до 245 г/дм^3) формирует в четвертичных отложениях активные зоны загрязнения, мигрирующие по направлению гидравлического уклона к руслу р. Сивельга. На основе аналитической модели установлено, что действительная скорость продвижения солевого фронта составляет порядка 30,6 м/год, что верифицируется динамикой концентраций в удаленных скважинах мониторинговой сети (№18, №72). Рассчитанное аномально высокое значение числа Пекле ($Pe = 8400$) научно обосновывает подавляющее доминирование адвективного переноса массы над молекулярной диффузией, обуславливая

формирование узких и протяженных техногенных «языков» минерализации. В данных условиях стратегия рационального природопользования должна базироваться на переходе от пассивной фиксации данных к предиктивному моделированию параметров миграции. Предложенное размещение линейного вертикального дренажа на удалении 350-400 метров от подошвы солеотвала позволит эффективно перехватывать основной конвективный поток и возвращать минерализованные воды в технологический цикл предприятия. Такой подход минимизирует риски необратимой деградации водных ресурсов и обеспечивает долгосрочную экологическую безопасность недр в зоне интенсивного освоения Старобинского месторождения.

Литература:

Хрипович А. А., Тишковская Е. А. Геоэкологические факторы загрязнения почвы и подземных вод хлоридами в зоне воздействия объектов складирования галитовых отходов // Природопользование. – 2024. – № 1. – С. 78–87. (Дата обращения 30.03.2026).

ОЧИСТКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ОТ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Крук А.С., Алейников А.А. студенты

Научный руководитель Кляусова Ю.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье рассматривается метод очистки водных ресурсов (питьевой воды, водоемов) от техногенных радионуклидов с применением мембранных технологий.

Ключевые слова: водные ресурсы, мембранные технологии, техногенные радионуклиды.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС значительная территория Республики Беларусь подверглась радиоактивному загрязнению. Основными долгоживущими радионуклидами, представляющими угрозу для водных объектов, являются цезий-137 и стронций-90. Эти элементы мигрируют в грунтовые воды, накапливаются в донных отложениях и представляют серьезную опасность при использовании воды для питьевых и хозяйственных нужд. Традиционные методы водоочистки (коагуляция, отстаивание, фильтрация через зернистые загрузки) часто оказываются недостаточно эффективными для удаления растворенных радионуклидов. В связи с этим возрастает интерес к баромембранным технологиям, которые позволяют задерживать загрязнители на молекулярном и ионном уровне.

Почему необходимо использовать мембранную очистку воды:

— Коагуляция, отстаивание или фильтрация через зернистые загрузки, часто не способны улавливать растворенные радионуклиды на ионном уровне в отличие от мембранных технологий;

— Острая необходимость защиты здоровья и экосистемы вблизи от мест загрязнения техногенными радионуклидами;

— Мембранные технологии нового поколения демонстрируют исключительную эффективность благодаря комбинированным механизмам очистки;

— Снижение объемов вторичных отходов и повышение экологической безопасности.

Основные технологии:

— Отделение взвешенных частиц;

— Нанопермационная очистка (задерживает основную массу многозарядных нуклидов);

– Доочистку фильтрата на селективных сорбентах (например, "Термоксид-35" для улавливания проскокового цезия-137).

Такой подход позволяет снизить объем конечных радиоактивных отходов в 3,6 раза [1].

Экономическая эффективность: Внедрение мембранных технологий экономически целесообразно там, где требуется глубокая очистка больших объемов воды с получением стабильно высокого качества и минимизацией вторичных отходов. Для Беларуси это, прежде всего, стратегический инвестиционный проект в области питьевого водоснабжения крупных городов и точечной реабилитации особо ценных или критически загрязненных водных объектов.

Экологическая эффективность мембранных технологий позволяет достичь практически полной очистки воды от самых опасных техногенных радионуклидов. Основные усилия сегодня направлены на то, чтобы сделать этот процесс еще более экологичным за счет повышения долговечности мембран, снижения энергопотребления и разработки безопасных способов утилизации образующихся концентратов [3].

Таблица 1 - Сравнение методов очистки сточных вод

Метод очистки	Принцип действия	Основные загрязнители	Эффективность	Применение
Механическая	Физическое удаление частиц	Взвешенные вещества, песок, мусор	70-95%	Первичная очистка
Биологическая традиционная	Биохимическое окисление	Органические вещества, БПК	85-98%	Основная очистка
Мембранный биореактор (MBR)	Биологическая очистка + ультрафильтрация	Все виды загрязнений, микроорганизмы	98-99.9%	Современная биологическая очистка
Физико-химическая	Химические реакции и физические процессы	Растворенные вещества, тяжелые металлы	80-98%	Доочистка, специальные загрязнители
Комбинированная с MBR	Интеграция всех современных методов	Все виды загрязнений	99-99.9%	Глубокая очистка для повторного использования

Значения взяты с таблицы 1. Источник <https://inner.su/articles/tablistsy-effektivnosti-ochistki-stochnykh-vod-mekhanicheskaya-biologicheskaya>

Разработка волокнисто-пористых материалов для сорбции радионуклидов:

В работе [4] рассматриваются композитные материалы на основе модифицированных полимерных волокон, которые могут обладать повышенной сорбционной способностью к ионам цезия и стронция. Преимущества таких волокнисто-пористых систем заключаются в:

- высокой удельной поверхности контакта с очищаемой водой;
- возможности химической модификации поверхности волокон для придания им селективности к конкретным изотопам;
- низком гидравлическом сопротивлении, что позволяет использовать их в проточных системах фильтрации.

Несмотря на то, что данная работа фокусируется на сорбционных свойствах материалов, она открывает перспективы для создания комбинированных сорбционно-мембранных технологий. Волокнистые материалы могут служить основой для мембран или предфильтров, повышая общую эффективность очистки от радионуклидов [2].

Мембранные технологии, в особенности нанофильтрация и обратный осмос, являются одним из наиболее эффективных и перспективных методов удаления растворенных техногенных радионуклидов из природных и сточных вод. Но при этом является очень дорогостоящим. Дальнейшее развитие и внедрение мембранных технологий для очистки воды от радионуклидов в Беларуси требует решения комплекса задач, включая отработку методов утилизации образующихся радиоактивных концентратов и адаптации существующих мембранных установок, разрабатываемых для целей водоподготовки, под специфику удаления радионуклидов.

Литература

1. Разработка перспективной мембранно-сорбционной технологии очистки от радионуклидов жидких радиоактивных отходов АЭС с реакторными установками нового поколения ВВЭР-1200/тои / В.В. Милиутин и др. // 2025, № 4 (33), с. 29-43.

2. Первов, А.Г. Разработка мембранных технологий с уменьшенным расходом воды на собственные нужды / А.Г. Первов, А.П. Андрианов, Т.П. Горбунова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – №6. – С.13-21.

3. Тамело, В.Ф. Способы очистки водоемов от боевых отравляющих веществ и радиоактивных отходов / В.Ф. Тамело, Т.М. Тявловская // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9 международной научно-технической конференции. В 4 т. – Минск: БНТУ, 2011.

4. Никитин, А.Н. Перспективные волокнисто-пористые системы в очистке воды от долгоживущих радионуклидов / А.Н. Никитин, А.В. Зубарева, А.Г. Кравцов // Сотрудничество – катализатор инновационного роста: сб. мат-лов 4-го Белорусско-Прибалтийского форума. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 106-107.

ECO-TOURISM AS A FACTOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF BELARUS

Кубекин А.Ю., студент

Научный руководитель Кондратенко Т.Л.

Белорусский Государственный Университет, Беларусь

In this article the author writes about the ways to develop eco-tourism in Belarus. Many factors are discussed, starting from special features of the country and ending with the challenges and issues. It is concluded that Belarus is on the right path to sustainable development.

Ключевые слова: eco-tourism; Belarus; sustainable development; nature.

In recent decades the worldwide number of tourists that visit different countries has drastically increased, and that trend goes to Belarus as well. According to National Statistical Committee of the Republic of Belarus, almost three hundred seventy thousand foreign visitors traveled to our country using the services provided by organized tours in 2024, and by comparing that with the data of 2025, which is five hundred seventy-nine thousand people, the major rise can be witnessed[1]. But speaking about eco-tourism in particular, the same process can be observed. In 2025, more than four hundred seventy-two thousand individuals visited ecological landmarks, such as specially built farmsteads[2]. That truly shows the relevance of the study, since it is expected that the number of eco-tourists will only grow higher.

The first important ecological factor of Belarus to be discussed is the existence of so called “Unique Selling Points”, which can be defined as distinct features or benefits that make our country differ from other ones from the point of eco-tourism. The Republic of Belarus has many of such places to offer, for instance famous Polesie region, which is really famous for its nickname “the lungs of Europe”. It proposes a unique opportunity to travel through vast wetlands and huge ancient forests and also created a lot of workplaces for locals. Belovezhskaya Pushcha would be a great example too since it allows tourists to closely observe and even sometimes interact with nature. It proposes a great number of activities, such as birdwatching and hiking, although the crucial thing is to remember that such ecological landscapes must be strictly protected.

Another essential point is the economic benefits that could be achieved through the certain eco-policies in some of the regions. For instance, some regions face various problems, such as population decline due to traditional methods of gathering resources, for example logging, extensive agriculture or mining. These factors are both economically stagnating and unsustainable, and eco-tourism can act as a good alternative to them. Thus, several successful projects have already been realized in Belarus. In 2025 completely new glamping site was opened near Osveja

Nature Reserve with the help from the United Nations Development Programme[3], which attracted more than 3000 visitors in its first months and created new jobs for the people, becoming the key aspect in local economic situation. Moreover, in Braslav region eco-tourism is truly a major factor of development. The number of tourists who visited the Braslav Lakes National Park in 2025 was more than thirty-one thousand[4], which is a really astonishing result.

Finally, some challenges do exist in current state of eco-tourism in Belarus. Firstly, Russian language is mostly used by online resources or local guides, and by that the amount of content for Western and Asian eco-tourist communities is quite limited. Therefore, some of the most popular platforms, such as Ecobnb and Responsible Travels feature almost no accommodation in Belarus. As a result, potential foreign visitors are unable to discover eco-experience in our country. But the solutions to this issue are quite obvious, starting from teaching local guides English and Chinese languages to creating websites that offer wide variety of services, such as listing prices, displaying seasonal availability and allowing to rent a place to live during the trip. Another challenge is the absence of infrastructure in some ecological landmarks, meaning that many protected areas lack basic visitor infrastructure, such as marked trails, waste disposals and information boards. However, on the other hand, building paved roads or electronic billboard would contradict the main principles of eco-tourism. Talking about affordable solutions, autonomous information stands and wooden boardwalks can be installed.

In conclusion, Belarus is definitely a country suitable for eco-tourism. It surely serves as an important factor of sustainable development, and highly contributes to state's economics. Of course, eco-tourism will not replace heavy industry or mining facilities, but in some regions, it offers various economic benefits, new workplaces and reasons for locals to be proud of their community. For a country that seeks a sustainable pathway into future, it is definitely a great achievement.

Литература:

1. Национальное агентство по туризму. – <https://belarustourism.by> (Дата обращения 11.04.2026)
2. Островецкая правда – <https://ostrovets.by> (Дата обращения 11.04.2026)
3. Modern Campground. – <https://moderncampground.com> (Дата обращения 11.04.2026)
4. Официальный сайт Республики Беларусь. – <https://belarus.by> (Дата обращения 11.04.2026)

МИКРОПЛАСТИК ОТ ШИН И ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК: ПОЧЕМУ ДАЖЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛИ ЗАГРЯЗНЯЮТ ВОЗДУХ МЕЛКИМИ ЧАСТИЦАМИ

Куприяничик И. В., Янушкевич Е. Л., студенты

Научный руководитель Клясова Ю. В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

Анализ загрязнения среды микрочастицами от износа шин и тормозов. Тяжелые электромобили ускоряют этот процесс, становясь источником микропластика. Рассмотрено влияние частиц на здоровье и экосистемы, а также предложены технологические решения для снижения скрытого экологического вреда современного транспорта.

Ключевые слова: микропластик, шины, тормозные колодки, электромобили, загрязнение воздуха, твёрдые частицы, износ шин.

Введение. Когда обсуждается экологичность транспорта, основное внимание общественности и регулирующих органов обычно направлено на выхлопные газы. Переход на электромобили часто представляется как решение, способное очистить воздух в городах от вредных веществ. За последнее время научные данные стали показывать более сложную картину. Оказывается, что даже электрический транспорт не является полностью чистым: он активно загрязняет окружающую среду микроскопическими частицами, источником которых являются шины и тормозные колодки. Кроме того, из-за своей большой массы электромобили могут усилить эту проблему, в некоторых случаях производя больше загрязнения, чем автомобили с двигателями внутреннего сгорания.

1. Размеры беды: от выхлопных газов к износу. Современные исследования меняют сложившееся понимание источников твёрдых частиц в воздухе. Современные системы фильтрации выхлопных газов значительно уменьшили количество частиц, выбрасываемых из выхлопных труб автомобилей. По данным Агентства по охране окружающей среды США, прямые выбросы составляют примерно 1% всех твёрдых частиц, производимых автомобилем[1].

Основной источник загрязнения – износ шин. Аналитическая компания, в своём исследовании, пришла к выводу, что количество микрочастиц от износа шин может быть в 1000 раз больше по сравнению с количеством частиц, выбрасываемых из отфильтрованного выхлопа. Даже если учитывать, что большие частицы оседают, уровень загрязнения от шин всё равно в 400 раз выше, чем от выхлопных газов.

Глобальные масштабы проблемы велики. По информации из научных работ, ежегодно в мире выбрасывается около 2,9 миллиона тонн частиц от износа шин и 175 тысяч тонн от тормозных колодок. Другие подсчёты показывают, что один автомобиль в среднем теряет 4,1 кг веса в виде изношенной резины в год, что составляет около 6 миллионов тонн загрязнения в год во всём мире.

2. *Электромобиль: тяжёлый вес – основная проблема.* Почему электромобили создают эту проблему? Ответ прост: вес аккумуляторных батарей. Вес электромобиля вместе с батареей значительно превышает вес автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. Средний вес обычного автомобиля составляет 1500-1800 кг, в то время как вес электромобиля превышает 2100 кг. Этот вес напрямую влияет на износ шин. Сравнительный анализ показал, что электромобиль, который на 33% тяжелее гибридного, производит примерно на 25% больше твёрдых частиц от износа шин.

Не только шины создают проблему. В электромобилях используется система рекуперативного торможения, которая снижает износ колодок, но не исключает его полностью. Частицы от тормозов – это смесь металлов и пластика, их выбросы также зависят от веса автомобиля и стиля вождения[2].

3. *Глобальный транзит микропластика: от автомагистралей до криосферы и Мирового океана*

3.1. *Механизм «взлета»: от трения к атмосферному дрейфу.* В момент контакта шины с асфальтом под воздействием высокой температуры и силы трения образуются частицы сложного состава. Они состоят из синтетических и натуральных каучуков, технического углерода (сажи), тяжелых металлов (цинка, меди, кадмия) и пластификаторов.

Частицы размером PM10 и меньше (менее 10 микрон) настолько легки, что турбулентные потоки воздуха, создаваемые движущимся транспортом, подбрасывают их в верхние слои тропосферы.

Здесь они подхватываются глобальными воздушными течениями. Среднее время пребывания таких частиц в атмосфере составляет от 17 до 37 дней. За этот период частица может совершить межконтинентальный перелет, пересекая государственные границы и океаны[3].

3.2. *Океанический финал: невидимый поток пластика.* Мировой океан является главным «стоком» для атмосферного микропластика. Согласно последним данным:

Около 30–34% всех выбросов от износа шин оседает непосредственно в океанические воды в результате сухого и влажного (с дождем) осаждения.

Ежегодный объем «шинного» микропластика, попадающего в океан из атмосферы, превышает 200 000 тонн.

Этот объем сопоставим с общим количеством пластикового мусора, выносимого всеми реками мира. Однако, в отличие от пластиковых бутылок,

частицы износа шин имеют более высокую плотность (из-за содержания минеральных наполнителей и металлов), поэтому они быстрее тонут, загрязняя глубоководные донные отложения и становясь частью рациона донных организмов.

3.3. Угроза для «белого безмолвия»: Арктика и ледники. Наиболее тревожным аспектом является перенос микрочастиц в удаленные и экологически уязвимые регионы — Арктику, Антарктику и высокогорные ледники. Исследования показывают, что до 50–60 тысяч тонн микрочастиц ежегодно достигают зон, покрытых снегом и льдом.

Эффект Альбеда: Белоснежная поверхность льда отражает до 90% солнечной энергии. Темные частицы шинного износа (в составе которых до 30% составляет технический углерод/сажа) поглощают солнечный свет и нагреваются. Это приводит к локальному подтаиванию льда вокруг каждой микрочастицы.

Климатическая обратная связь: Ускоренное таяние ледников обнажает темную почву или воду, которые поглощают еще больше тепла, что запускает катастрофическую цепочку глобального потепления. Таким образом, износ шин в Лондоне или Шанхае напрямую способствует исчезновению полярных льдов.

3.4. Биологическое воздействие: химическая «троянский конь». Путешествуя по планете, микрочастицы не просто механически загрязняют среду. Они выступают в роли «сорбентов», собирая на своей поверхности другие токсичные вещества из атмосферы (например, ПАУ — полициклические ароматические углеводороды). При попадании в воду или организмы частицы начинают вымывать опасные присадки. Одной из таких добавок является 6PPD-хинон (производное антиоксиданта для шин), который, как доказано учеными, вызывает массовую гибель лососевых рыб даже в крайне низких концентрациях.

4. Состав. Микропластик от шин — это не просто резина. Шины состоят из синтетического и натурального каучука, технического углерода, металлов и химических добавок, которые улучшают прочность и износостойкость. Особенно опасна добавка 6PPD — антиоксидант, который предотвращает разрушение резины[4]. При взаимодействии с озоном 6PPD превращается в 6PPD-хинон. Это токсичное вещество для некоторых видов рыб. Небольшие концентрации 6PPD-хинона вызывают отравления и гибель рыб. Попадая в реки с дорожным стоком, этот токсин представляет угрозу для водных экосистем.

5. Пути решения проблем с помощью комплекса мер:

Снижение веса автомобилей: Необходимо создавать более лёгкие электромобили, и использовать твердотельные аккумуляторы с высокой энергоёмкостью, чтобы снизить вес батарей и сохранить запас хода [5].

Новые материалы для шин: Нужны экологичные и износостойкие материалы, которые будут производить меньше микрочастиц и не содержать опасных добавок, таких как 6PPD.

Сбор частиц: Необходимо устанавливать на автомобили уловители тормозной пыли. Создать эффективные системы сбора и фильтрации ливневых стоков с дорог [6].

Регулирование: Ввести стандарты, которые будут ограничивать не только выхлопные газы, но и износ шин и тормозов. Этот вопрос обсуждается в разных странах.

Снижение интенсивности движения: Развитие общественного транспорта, каршеринга, создание условий для безопасного передвижения на велосипедах и пешком [7].

Заключение. Проблема микропластика от шин и тормозов не отменяет необходимости перехода на электромобили для борьбы с изменением климата и загрязнением воздуха выхлопными газами. Эта проблема показывает, что любое решение может иметь непредвиденные последствия. Электромобили не решают всех проблем, и игнорирование других источников загрязнения может свести на нет экологические улучшения. Важно понимать эту задачу, для разработки комплексной транспортной политики.

Литература

1. Об охране атмосферного воздуха : закон РФ; – М. : Проспект, 2024. – 48 с.
2. Азаров, В.К. Исследование невыхлопных выбросов твердых частиц легковыми автомобилями / В. К. Азаров, В. Ф. Кутенев, С. В. Гайсин // Журнал автомобильных инженеров. – 2018. – № 4 (111). – С. 44–48.
3. Васильев, А.В. Проблемы экологической безопасности электромобилей: мифы и реальность / А.В. Васильев // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25, № 9. – С. 58–63.
4. Ворожейкина, Н.Г. Загрязнение атмосферного воздуха микрочастицами износа дорожного полотна и автомобильных шин / Н. Г. Ворожейкина // Экологические системы и приборы. – 2019. – № 11. – С. 15–22.
5. Голованов, В.О. Влияние массы транспортного средства на интенсивность износа шин / В.О. Голованов // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1 (80). – С. 55–60.
6. Евтюков, С.А. Оценка выбросов продуктов износа шин и тормозных механизмов автотранспортных средств / С. А. Евтюков, Д. В. Рогов // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 6 (65). – С. 273–281.
7. Кузнецов, И.В. Сравнительный анализ экологических характеристик автомобилей с двигателями внутреннего сгорания и электромобилей / И. В. Кузнецов // Транспортное дело России. – 2022. – № 2. – С. 180–183.

ОЦЕНКА НИТРАТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ВОДОЗАБОРЕ «НОВИНКИ» Г. МИНСКА

Кухарик А.М., магистрант

Научные руководители Пашкевич В.И.¹, Цыганова А.А.²

**¹ Государственное научное учреждение «Институт природопользования
Национальной академии наук Беларуси»**

² Белорусский национальный технический университет

В статье дана оценка нитратного загрязнения подземных вод на групповом водозаборе «Новинки» г. Минска. Проведен анализ содержания нитратов в подземных водах водозабора за период его эксплуатации с 1932 г. Установлено максимальное значение концентрации нитратов – 111,6 мг/дм³ (2018 г.), что в 2,5 раза превышает допустимый уровень для питьевых вод на этом водозаборе. Сделаны выводы о возможных источниках нитратного загрязнения.

Ключевые слова: подземные воды, нитратное загрязнение, питьевое водоснабжение, водозабор, предельно допустимая концентрация.

Подземная гидросфера как важный ресурсный компонент геологической среды Беларуси является основным источником централизованного водоснабжения и обеспечивает стратегическую безопасность устойчивого развития страны. В связи с этим в настоящее время одним из приоритетных направлений гидрогеологических и гидрогеохимических исследований является геоэкологическая оценка качества подземных вод. В настоящей работе изложены результаты оценки динамики и характеристика особенностей формирования нитратного загрязнения подземных вод, эксплуатируемых водозабором «Новинки» г. Минска.

Централизованное питьевое водоснабжение г. Минска осуществляется за счет использования ресурсов днепровско-сожского, березинско-днепровского и валдайского терригенного водоносных комплексов. Забор воды из подземного источника питания с целью ее использования для нужд водоснабжения населения осуществляют при помощи гидротехнических сооружений – водозаборов.

Водозабор «Новинки» эксплуатируется с 1932 г. и является одним из старейших групповых водозаборов г. Минска. Располагается на северо-западе города и характеризуется неблагоприятным современным геоэкологическим состоянием. Это прежде всего выражается повышенным содержанием в подземных водах таких компонентов, как NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ и др.

Загрязнение формируется в результате поступления стоков из выгребных ям и мест содержания домашнего скота, а также интенсивного использования на приусадебных участках минеральных и органических

удобрений. В некоторых скважинах, расположенных вблизи городской частной застройки и сельскохозяйственных угодий, зафиксированы высокие содержания нитратов [1].

В первом десятилетии эксплуатации водозабора (1930–1960-е годы) следов нитратного загрязнения в скважинах не наблюдалось. Признаки нитратного загрязнения подземных вод на водозаборе «Новинки» появились в 1970-е гг., когда содержание нитрат-иона достигло в некоторых скважинах 20–27 мг/дм³. В начале 1990-х гг. было зафиксировано первое превышение уровня предельно допустимой концентрации нитратов в подземных водах – 50–65 мг/дм³ (при норме 45 мг/дм³) в одной из скважин данного водозабора [2].

В последующие годы, содержание нитрат-ионов в подземных водах водозабора «Новинки» продолжало возрастать. Так, в период с 1980 по 2014 гг. скорость роста нитратного загрязнения в эксплуатируемом водоносном днепровском-сожском комплексе оценивалось в среднем на уровне 1,7 мг/дм³/год. По состоянию на 2014 г. в 10 скважинах водозабора содержание NO₃⁻ превышало допустимый уровень и достигало 60–86 мг/дм³ [3].

Согласно результатам гидрогеохимического опробования [4], максимальные содержания нитрат-ионов в подземных водах в 2009 г. зафиксировались на восточном крыле водозабора и составляли 62,3–81,8 мг/дм³. Это объясняется расположением неблагополучных скважин вблизи участков частной застройки и сельскохозяйственных земель. Также следует отметить, что на территории в зоне влияния водозабора ранее производилась утилизация отходов Минской птицефабрики имени Крупской. Западная часть водозабора в большей мере расположена в зеленой зоне в районе водохранилища Дрозды и характеризуется минимальным уровнем загрязнения подземных вод нитрат-ионами. Лишь в водах некоторых скважин, которые размещены в границах обрабатываемых земель зафиксированы концентрации нитратов от 13,2 до 35 мг/дм³. На рисунке представлена динамика нитратного загрязнения подземных вод водозабора «Новинки» в период с 2016 г. по 2024 г.

Анализ данных Государственного водного кадастра Республики Беларусь показывает, что в период с 2016 по 2024 гг. содержание нитрат-ионов в подземных водах многих скважин водозабора постоянно превышало уровень предельно допустимой концентрации, установленный для вод хозяйственно-питьевого назначения. Достаточно высокие уровни нитратного загрязнения наблюдались в 2016 г., 2018 г., 2020 г. и составили 96,1 мг/дм³, 111,6 мг/дм³ и 96,8 мг/дм³ соответственно. Прослеживается связь нитратного загрязнения подземных вод с экологической ситуацией на участках расположения скважин.

В 2024 г. в эксплуатационных скважинах рассматриваемого водозабора зафиксировано несоответствие предельно допустимой концентрации также и по органолептическим показателям. По мутности наблюдается превышение от

1,0 до 3,09 предельно допустимой концентрации. Кроме этого, содержание во многих скважинах бария, бора, марганца и общей жесткости превышает установленные нормативы.



Рисунок – Уровни нитратного загрязнения подземных вод водозабора «Новинки» г. Минска в период 2016–2024 гг. (составлено автором по данным [5])

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что в период 2016–2024 гг. отмечено значительное ухудшение качества питьевой воды исследуемого водозабора. Максимальные концентрации нитрат-ионов в отдельные годы (до 111,6 мг/дм³ в 2018 г.) значительно превышают установленный уровень предельно допустимой концентрации для вод хозяйственно-питьевого назначения, что свидетельствует о выраженном антропогенном воздействии на водоносный комплекс. Наиболее загрязненными остаются участки, расположенные вблизи частной застройки, сельскохозяйственных угодий и зон размещения бытовых и производственных отходов, что подтверждает связь качества подземных вод с характером использования прилегающих территорий.

Водозабор «Новинки» характеризуется неблагоприятной геоэкологической обстановкой, проявляющейся не только в повышенном содержании нитратов, но и в превышении нормативов по мутности, барию,

бору и марганцу. Полученные результаты подчеркивают необходимость комплексных природоохранных мероприятий, направленных на снижение антропогенной нагрузки, оптимизацию землепользования и усиление контроля за качеством подземных вод, с целью обеспечения безопасного и устойчивого водоснабжения населения.

Литература:

1. Пашкевич, В. И. Гидрогеохимическая характеристика антропогенного загрязнения подземных вод на водозаборах г. Минска / В. И. Пашкевич // Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии : материалы Междунар. науч. конф., Москва, 18–22 апр. 2011 г. : в 4 ч. / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидрогеологии и инженер. геологии ; ред. кол.: Б. В. Боровский [и др.]. – М., 2011. – Ч. 3. – С. 5–16.

2. Кухарик, А. М. О состоянии изученности проблемы загрязнения нитратами подземных вод Беларуси / А. М. Кухарик // Молодежь в науке – 2025 : тез. докл. XXII Междунар. научн. конференции, 16–18 сент. 2025 г., г. Минск : в 4 ч. / НАН Беларуси [и др.] ; редкол.: В. Л. Гурский (гл. ред.) [и др.]. – Мн., 2025. – Ч. 1. – С. 282–287.

а. Геоэкологическое состояние подземных вод на водозаборе «Новинки» Минска и разработка мероприятий по предотвращению их антропогенного загрязнения / О. В. Васнева, В. И. Пашкевич, А. Н. Авхимович [и др.] // Літасфера. – 2016. – № 2 (45). – С. 122–128.

3. Галицкая, И. В. Качество пресных подземных вод Минской и Московской городских агломераций: современное состояние, тенденции изменения, возможность управления / И. В. Галицкая, В. И. Пашкевич, Г. И. Батрак // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2015. – № 4. – С. 340–351.

4. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2016–2024 гг.) / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды [и др.] ; под общ. ред. В. Н. Корнеева. – Мн., 2017–2025.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Лазарук У.А., Чистякова К.С., студенты

Научный руководитель Антонюк Е.К.

Брестский государственный технический университет, Беларусь

В данной статье рассмотрены специфика экологического мониторинга Белорусского Полесья, основные экологические проблемы, пути их решения.

Ключевые слова: Полесье, мониторинг, устойчивое развитие, экологические проблемы.

Экологический мониторинг и устойчивое развитие Белорусского Полесья сегодня – это многоуровневый процесс, который объединяет науку, государственные программы и международное сотрудничество. Белорусского Полесье – не просто уникальный природный регион, но и «естественная лаборатория» для отработки подходов к устойчивому развитию, сталкивающаяся с теми же вызовами, что и соседние территории. Регион рассматривается как стратегическая территория, где экономическое развитие должно быть неразрывно связано с сохранением уникальной природы.

Развитие Полесья находится на особом контроле государства. В ноябре 2025 года прошло совещание у Президента, посвященное реализации Программы развития Белорусского Полесья до 2030 года. Стратегический курс и программа развития:

1. Программа охватывает 9 районов с населением около 350 тыс. человек, общий объем финансирования – 6,5 млрд рублей. Дефицит в 400 млн рублей планируется покрыть за счет внутренних резервов.
2. Среди экологических проблем особо выделены участвовавшие засухи и обмеление рек. В качестве перспективного решения рассматривается проект восстановления Днестро-Бугских каналов для управления водными ресурсами.
3. Президент назвал туристический потенциал Полесья «золотой жилой». Ставка делается на экологический и агротуризм с аутентичной инфраструктурой, а не на «дворцовые интерьеры» [1].

Современный экологический мониторинг в регионе всё больше опирается на автоматизацию и дистанционные методы. Использование спутниковых данных для оценки состояния ландшафтов и прогнозирования изменений до 2030 года с учетом климатических трендов. Используются данные спутников для измерения баланса углекислого газа, оценки здоровья

растительности, влажности почвы и урожайности сельхозкультур на осушенных землях Западного Полесья. При поддержке ПРООН и Глобального экологического фонда заповедники Полесья получили стационарные метеостанции, GPS-навигаторы, радиостанции и квадрокоптеры для наблюдения за редкими видами и обнаружения пожаров.

В результате проводимого мониторинга выявлено, что основные проблемы Белорусского Полесья связаны с масштабной мелиорацией, деградацией болотных экосистем, снижением уровня грунтовых вод и последствиями Чернобыльской катастрофы. Интенсивное освоение земель привело к изменению ландшафтов, исчезновению малых рек, деградации торфяников, а также экологическим и демографическим трудностям в регионе.

Помимо существующих проблем, появляются и новые вызовы: На XI Международной конференции в Полесском аграрно-экологическом институте НАН Беларуси (Брест, сентябрь 2024) обсуждались такие проблемы, как аридизация (иссушение) климата, утилизация отходов, инвазивные виды и оптимизация сельскохозяйственного природопользования на мелиорированных землях.

В качестве путей решения существующих проблем предлагается:

- 1) Разработка государственных мер регулирования природопользования и защиты окружающей среды, в частности на Белорусском Полесье.
- 2) Начисление налогов за использование природных ресурсов.
- 3) Увеличение штрафов за нерациональное землепользование. Расследование случаев мелиорации, повлекших за собой вредные последствия.
- 4) Ужесточение контроля над проводимыми мелиоративными работами на территории Республики.
- 5) Проведение работ по восстановлению почв путем лесопосадки и др.
- 6) Развитие прогрессивных технологий и методов, направленных на рациональное природопользование и охрану окружающей среды, мероприятия по строительству и реконструкции объектов природоохранного назначения.
- 7) Составление комплексной программы, включающей повышение социально-экономической эффективности и экологической надёжности работ по преобразованию региона.
- 8) Создание природных заказников в целях сохранения на территории региона широкого видового разнообразия флоры и фауны.
- 9) Изменение сложившихся у населения региона психологии и стереотипа мышления "равный" (равнодушный, всё равно, выровненный и т.д.) в отношении природных объектов Полесья в ходе пропагандистской компании [1].

Таким образом, региональную специфику экологического мониторинга и устойчивого развития Полесья можно свести к трем тезисам:

1. Общая экосистема требует общих решений: Успех устойчивого развития Полесья напрямую зависит от трансграничной координации. Это ключевой регион для отработки совместных природоохранных проектов.

2. Вода – главный ресурс и главная проблема: Основной вызов – управление водным режимом. Ученые ищут баланс между нуждами сельского хозяйства (осушение) и сохранением болот (увлажнение), которые критически важны для климата и биоразнообразия.

3. Технологический переход. Регион переходит от визуального наблюдения к автоматизированному цифровому мониторингу (спутники, дайверы, метеостанции). Это позволяет получать точные данные даже с труднодоступных территорий.

Литература:

1. Рефераты [Электронный ресурс] // Региональные экологические проблемы: проблемы Белорусского Полесья. – Режим доступа: <https://www.stud24.ru/ecology/regionalnye-ekologicheskie-problemy-problemy-beloruskogo/109161-321792-page1.html>. – Дата доступа: 05.04.2026.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МЕЛИОРАНТА НА ОСНОВЕ ВЕРХОВОГО ТОРФА И ТОРФЯНОЙ ЗОЛЫ

Лёгкая М.И., студент

Научные руководители – Скуратович И.В., Зеленуха Е.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассмотрены перспективы использования композиционного мелиоранта на основе верхового торфа и торфяной золы. Представлены результаты физико-химического анализа компонентов. Установлено, что зола имеет выраженную щелочную реакцию (рН 12,14), а торф – нейтральную (рН 7,03). Зола характеризуется высокой дисперсностью: более половины массы приходится на фракции менее 0,15 мм. Насыпная плотность торфа составляет 203 кг/м³, золы – 1120 кг/м³. Содержание радионуклидов в обоих компонентах не превышает нормативов (Аэфф < 185 Бк/кг). Композиционная смесь в соотношении торф : зола = 70:30 обладает буферной щелочностью и может быть рекомендована для применения в качестве мелиоранта на кислых почвах.

Ключевые слова: торф, торфяная зола, мелиорант, нейтрализация кислых почв, щелочная реакция.

Одной из актуальных проблем сельского хозяйства Республики Беларусь является повышенная кислотность почв, характерная для значительных территорий. Кислые почвы снижают доступность макро- и микроэлементов для растений, угнетают развитие корневой системы и уменьшают эффективность минеральных удобрений. Традиционные методы известкования требуют значительных материальных затрат.

В этой связи возрастает интерес к использованию местных вторичных ресурсов, обладающих щелочными свойствами. Перспективным направлением является применение торфяной золы – отхода, образующегося при сжигании торфяных брикетов на теплоэлектростанциях и котельных. Ранее зола зачастую рассматривалась как техногенный отход, требующий захоронения, однако её химический состав и физико-химические свойства позволяют использовать её в качестве эффективного мелиоранта.

Объектом нашего исследования являлся верховой торф и зола от сжигания торфяных брикетов ТБЗ «Усяж».

Торф, используемый в данном исследовании, характеризуется кислой реакцией среды, высокой влагоемкостью и низким содержанием элементов питания. В чистом виде он малопригоден для большинства сельскохозяйственных культур без предварительной нейтрализации.

При сжигании торфа образуется зола – несгораемый минеральный остаток.

На первом этапе работы определяли физико-химические свойства торфа и золы. Согласно литературным данным, химический состав торфяной золы представлен такими элементами, как калий, кальций, магний, фосфор, которые находятся в доступной для растений форме. Кислотность золы и торфа определяли потенциометрическим методом на рН-метре (водная вытяжка 1:5). Насыпную плотность измеряли с использованием мерного сосуда. Содержание радионуклидов определяли на гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315. Гранулометрический состав золы определяли ситовым методом. Результаты определения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические свойства исследуемых образцов

Наименование образца	рН	Насыпная плотность, кг/м ³	Аэфф, Бк/кг
Зола	12,14	1120	53,2
Торф	7,02	203	27,5

Результаты определения рН показали, что зола имеет сильновыраженную щелочную реакцию, торф – нейтральную. Высокая щелочность золы обусловлена наличием оксидов кальция, магния и калия.

Гранулометрический анализ золы показал преобладание мелких фракций: на фракции 0,15 мм и менее 0,15 мм приходится более половины массы пробы.

Содержание радионуклидов в торфе и золе не превышает нормативных значений (185 Бк/кг), что подтверждает экологическую безопасность компонентов.

На следующем этапе работы была подготовлена композиционная смесь торфа и золы в соотношении 70:30 по массе. Такая смесь сочетает органические и минеральные компоненты. Щелочная реакция золы компенсирует нейтральную реакцию торфа, обеспечивая буферную щелочность, необходимую для нейтрализации кислых почв.

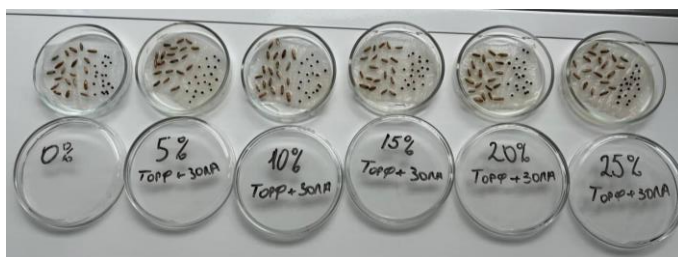
При внесении в почву мелиорант выполняет химическую мелиорацию (снижение кислотности), улучшает агрофизические свойства (рыхление, повышение влагоемкости) и обогащает почву элементами питания (калий, кальций, магний, фосфор). Высокая степень измельчения способствует равномерному распределению материала в почвенном профиле и ускоряет взаимодействие с почвенным раствором.

Верховой торф в составе мелиоранта обеспечивает хорошие физические свойства: рыхлость, влагоемкость и структурообразование. Органическая

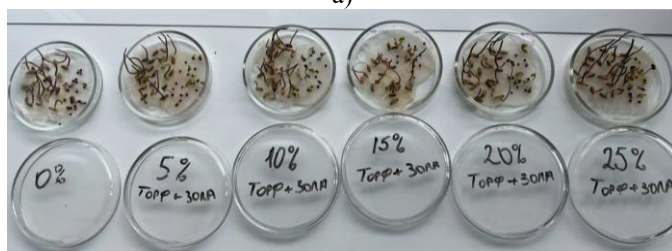
составляющая способствует улучшению агрофизических характеристик почвы и повышению биологической активности.

На следующем этапе работы было исследовано влияния мелиоранта на рост и развитие ржи и рапса. Было проведено исследование, в ходе которого осуществлялась высадка семян в чашки Петри в образцы водного раствора с добавлением мелиоранта в различных процентных соотношениях: 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%.

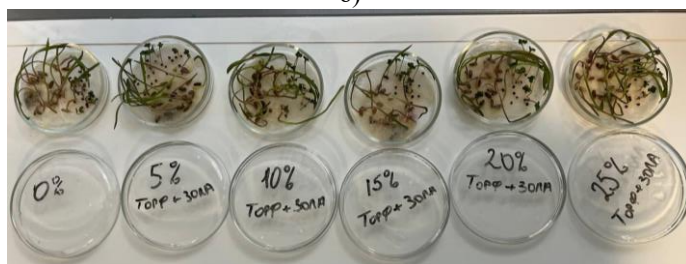
Для этого взяли чашки Петри, добавили приготовленный раствор. Далее в каждый образец помещали по 20 семян рапса и озимой ржи. Эксперимент проводился в условиях естественного освещения и при комнатной температуре в течение 7 дней (рис. 1).



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Ход эксперимента: а) день 1; б) день 4; в) день 7

Как видно из рисунка 1, наилучшее воздействие на рост и развитие как озимой ржи, так и рапса оказало добавление мелиоранта в концентрации 10%.

Экологическая безопасность применения торфозольного мелиоранта зависит от содержания тяжелых металлов в золе. Это ключевое ограничение для применения торфяной золы в сельском хозяйстве, особенно для продовольственных культур. Однако такой мелиорант может быть использован для выращивания технических культур и восстановления бедных и кислых почв, древесно-кустарниковой растительности. Кроме того, следует отметить, что повышение pH почвы снижает подвижность тяжелых металлов и уменьшает их поступление в растения.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение эффективности мелиоранта в полевых условиях, оптимизацию доз внесения для различных типов почв, оценку влияния на продуктивность технических культур, древесно-кустарниковой растительности. Также необходимо проведение долгосрочных полевых исследований для оценки динамики тяжелых металлов.

Литература:

1.Родькин О.И., Ветошкин А.А. Перспективы использования отходов сжигания твердого топлива для химической мелиорации почв и роста продуктивности культур // Управление техносферой: электрон. журнал, 2025. Т.8. Вып.3. С. 505– 522.

2.Использование мелиоранта на основе торфяной золы для рекультивации техногенно нарушенных земель / Е. В. Зеленуха [и др.] // Модернизация хозяйственного механизма сквозь призму экономических, правовых, социальных и инженерных подходов: сборник материалов XXII Международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию научной школы в области исследования модернизации экономики Белорусского национального технического университета, 22 декабря 2023 г. / редкол.: С. Ю. Солодовников (пред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 190.

3.Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Безопасность жизнедеятельности человека» для специальности 6-05-0311-02 «Экономика и управление» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Инженерная экология»; сост.: А. А. Хрипович [и др.]. – Минск: БНТУ, 2025.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ В ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Лопатина Е. А, Алисейко М. А. студенты

Научный руководитель Скуратович И.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

С развитием общества все более актуальным становится вопрос охраны окружающей среды. В то же время, нынешние информационные технологии способны облегчить процессы мониторинга и прогнозирования экологических загрязнений.

С развитием общества все более актуальным становится вопрос охраны окружающей среды. В то же время, нынешние информационные технологии способны облегчить процессы мониторинга и прогнозирования экологических загрязнений.

Ключевые слова: информационные технологии, экологические исследования, охрана окружающей среды, экоинформационные системы, мониторинг, экоинформатика, геоинформационные системы.

На современном этапе развития народного хозяйства используют компьютерные технологии, которые позволяют повысить скорость получения, обработки, хранения и отображения различных данных. В современных условиях использование средств автоматизации является актуальной задачей. На стыке таких наук как информатика и экология необходимо создавать и внедрять автоматизированные системы управления природоохранной деятельностью.

Автоматизация в области охраны окружающей среды представляет собой процесс внедрения технических средств, программного обеспечения и алгоритмов управления, позволяющих осуществлять сбор, обработку, анализ данных и управление природоохранными объектами без непосредственного участия человека (или при минимальном его вмешательстве).

Ключевыми задачами автоматизации являются:

- Непрерывность контроля: обеспечение круглосуточного наблюдения за состоянием природной среды и источниками загрязнения.
- Объективность данных: исключение «человеческого фактора» при измерениях и фиксации нарушений.
- Оперативность реагирования: быстрое обнаружение аварийных выбросов или сбоев в работе очистного оборудования и автоматическое принятие мер.
- Оптимизация ресурсов: снижение затрат на экологический контроль и повышение эффективности работы природоохранных систем.

Экологический мониторинг — это основа для принятия управленческих решений в области охраны природы. Автоматизация превратила мониторинг из эпизодического наблюдения в постоянно действующую систему.

Для мониторинга поверхностных и сточных вод используются автоматические анализаторы, измеряющие pH, растворенный кислород, мутность, содержание нефтепродуктов и тяжелых металлов. Беспилотные надводные аппараты (дроны-катамараны) позволяют проводить мониторинг труднодоступных участков акваторий, передавая данные в гидрометеослужбы.

Автоматизация обработки космических снимков позволяет отслеживать:

- незаконные вырубки лесов (сравнение снимков в разных спектральных каналах);
- тепловые аномалии (лесные и торфяные пожары);
- масштабы загрязнения гидросферы нефтяными разливами;
- динамику таяния ледников и эрозию почв.

Современные очистные сооружения (водопроводные, канализационные, газоочистные) функционируют под управлением программируемых логических контроллеров. Датчики уровня жидкости, расходомеры и анализаторы качества воды передают сигналы на контроллер, который регулирует дозировку реагентов (хлор, коагулянты), режим работы насосов и азротенков. Это позволяет снизить расход химических реагентов, обеспечить стабильное качество очистки, предотвращая залповые сбросы неочищенных стоков, сократить потребление электроэнергии за счет оптимизации работы насосного оборудования (частотные преобразователи).

На крупных тепловых электростанциях, цементных заводах и металлургических комбинатах устанавливаются автоматические системы контроля загрязнения воздуха. Они измеряют концентрацию загрязняющих веществ непосредственно в дымовых трубах. Данные передаются в режиме онлайн в госорганы. Это исключает возможность сокрытия предприятием фактов аварийных выбросов.

Управление потоками отходов — одна из самых острых экологических проблем. Автоматизация позволяет сделать этот процесс более прозрачным и эффективным. В городах внедряются контейнеры с датчиками заполнения. Когда уровень отходов достигает критической отметки, датчик отправляет сигнал диспетчерской службе, оптимизируя маршруты мусоровозов. Это снижает выбросы CO₂ от спецтехники (меньше холостых пробегов) и предотвращает переполнение контейнерных площадок.

На мусоросортировочных комплексах используются оптические сепараторы, инфракрасные спектрометры и роботизированные манипуляторы. Автоматика идентифицирует тип полимера, цвет стекла или металл и направляет их в соответствующие потоки для переработки. Точность

автоматической сортировки значительно выше, чем ручной, что повышает глубину переработки и снижает объемы захоронения.

Геоинформационные системы (ГИС) автоматизируют ведение кадастров отходов, реестров объектов негативного воздействия. Они позволяют моделировать распространение загрязняющих веществ в атмосфере с учетом розы ветров и застройки.

ГИС обычно предназначены для установки и подключения большого числа автоматизированных рабочих мест с собственными базами данных и средствами вывода результатов. Экологи, используя автоматизированные рабочие места с привязкой к пространственной информации, способны решать разнообразные задачи. Такими вопросами могут быть: минимизация ущерба и предотвращение техногенных катастроф, обеспечение безопасности проживания людей и защита их здоровья, анализ изменений окружающей среды под воздействием природных и техногенных факторов.

Выделяя преимущества, ГИС, можно сказать, что это удобный инструмент для генерации карт. ГИС оптимизируют процесс интерпретации данных космических и аэросъемок, используя предварительно созданные планы местности, схемы и чертежи. ГИС существенно сокращают временные затраты, автоматизируя процесс обработки карт и создания трехмерных моделей местности. Во-вторых, удобное представление пространственных данных для пользователя. Картографирование пространственных данных, включая трехмерное измерение, наиболее удобно для восприятия, что облегчает формулирование запросов и последующий их анализ. Также ГИС позволяют объединять данные внутри организации. Геоинформационные системы интегрируют данные, собранные в различных отделах компании или даже в различных сферах деятельности организаций в целом. Совместное использование и объединение накопленных данных в общий информационный массив приносят существенные конкурентные преимущества и повышают эффективность эксплуатации ГИС.

Так, благодаря использованию ГИС эксперты могут оперативно предсказывать возможные места разрывов трубопроводов, отслеживать на карте пути распространения загрязнений и оценивать потенциальный вред для окружающей среды. Они также могут рассчитать необходимые ресурсы для минимизации последствий аварии. С использованием ГИС можно определить промышленные объекты, выделяющие вредные вещества, отобразить направление ветров и уровень грунтовых вод в их окрестностях, а также провести моделирование распространения выбросов в окружающей среде.

Кроме того, в наше время экологические исследования представляют собой дополнительный вызов для разработчиков нейросетей. Сегодня многие задачи, связанные с озеленением, восстановлением популяций и управлением природными ресурсами, активно рассматриваются в контексте применения

искусственного интеллекта для их решения. Возможности здесь кажутся обширными: искусственный интеллект способен анализировать изменения, выявлять области, где присутствуют угрозы засухи или потенциальных наводнений, а также отслеживать изменения в распределении и численности видов, оценивать уровень озеленения и уменьшение растительности, используя лишь изображения. Быстрая обработка больших объемов данных также предоставляет возможность своевременной подготовки и предупреждения перед необратимыми изменениями.

Также, искусственный интеллект способен эффективно решать вопросы распределения ресурсов. Создание непрерывной логистической цепочки, включающей расчет необходимого количества товаров и их доставку до места назначения, позволяет получить практически безотходные поставки, что существенно снизит издержки и объемы выбросов.

Экологические информационные системы должны сосредотачиваться на всестороннем использовании данных, полученных из экологического мониторинга для того, чтобы преобразовать измеренные значения в удобный формат для поддержки принятия решений, способствующих устойчивому развитию конкретных регионов и всей планеты. В процессе эволюции от начальных данных экологического мониторинга к пониманию состояния окружающей среды, изменяются подходы к обработке информации.

Подводя итог, можно сказать, что в последние годы современное общество все больше осознает важность экологии. Человек все активнее стремится исправить прежние экологические ошибки и более глубоко размышляет о том, как избежать нанесения вреда окружающей среде в перспективе. Цифровые технологии, распространение которых охватывает различные сферы жизни человека, в настоящее время начинают внедрять и на экологические аспекты. Нейросети обучаются на массивах исторических данных о выбросах, погоде и концентрациях загрязнителей. ИИ способен прогнозировать уровни загрязнения воздуха на 24–72 часа вперед, давая возможность предприятиям снизить нагрузку в неблагоприятных метеоусловиях (режимы НМУ). Этот процесс ускоряется с каждым годом, и есть надежда, что с использованием новейших технологий удастся решить многие экологические задачи. В условиях глобальных климатических изменений и роста техногенной нагрузки именно внедрение автоматизированных систем, искусственного интеллекта и робототехники становится главным инструментом достижения целей устойчивого развития и сохранения окружающей среды для будущих поколений.

Дальнейшее совершенствование законодательства в сторону стимулирования цифровизации экологического контроля, а также снижение стоимости датчиков и систем передачи данных будут способствовать повсеместному внедрению рассмотренных технологий.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЛИОРАНТОВ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Лукашенко М.Д. учащаяся УО «Национальный детский технопарк»
Научные руководители Благовещенская Т.С., Зеленуха Е.В., Скуратович И.В.
Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье поставлена задача исследовать эффективность использования промышленных отходов в качестве мелиорантов для улучшения почвенного состава.

Ключевые слова: мелиоранты, промышленные отходы

Объектом исследования выступают промышленные отходы: зола от сжигания топливной смеси с содержанием осадка сточных вод ЦБП, пыль жома после циклона, садов сточных вод ЦБП.

Экологический кризис современности требует инновационных подходов к решению двух взаимосвязанных проблем: утилизации промышленных отходов и восстановления деградированных почв. В данной статье рассматривается перспективное направление — использование промышленных отходов в качестве мелиорантов.

Проблема утилизации промышленных отходов является одной из приоритетных в экологии. Традиционные методы складирования отходов экологически опасны, почвы, особенно в промышленных регионах, теряют свои продуктивные качества. Решением этой проблемы может стать синтез мелиорантов — веществ, улучшающих свойства почвы, а именно из самих промышленных отходов.

Мелиоранты — это вещества или смеси веществ, специально вносимые в почву для коренного улучшения её агрохимических и биологических свойств. В отличие от удобрений, которые напрямую питают растения, мелиоранты воздействуют на саму среду обитания растений: они изменяют структуру почвы, регулируют её кислотность (рН).

Значение мелиорантов в жизни человека сложно переоценить. Исторически переход от экстенсивного земледелия (осваивание новых земель) к интенсивному стал возможен именно благодаря мелиорации.

Сейчас мелиоранты выполняют 3 ключевые функции:

- 1) Восстановление деградированных земель. Промышленное загрязнение, эрозии и неправильная агротехника приводят к потере почвами плодородия. Мелиоранты позволяют реанимировать такие земли, возвращая их в сельскохозяйственный оборот.
- 2) Повышение продовольственной безопасности. Улучшая свойства почв, мелиоранты способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных

культур, что очень важно для обеспечения растущего населения планеты продуктами питания.

3) Экологическая стабилизация. Мелиоранты могут снижать подвижность тяжелых металлов в почве, предотвращая их попадание в грунтовые воды и растения, тем самым оздоравливая экосистему в целом.

Современная классификация включает следующие виды мелиорантов:

- Физические мелиоранты: компоненты для изменения гранулометрического состава
- Биологические мелиоранты
- Комплексные мелиоранты
- Отходы целлюлозно-бумажной промышленности
- Отходы пищевой промышленности
- Горнопромышленные отходы

Для моего исследования я сделала определение насыпной плотности и измерила рН исследуемых объектов. Результаты эксперимента представлены в таблице 1 и 2.

Таблица 1 - Результаты определения насыпной плотности отходов производства

Наименование отхода	Масса пробы, г	Объем, мл	Насыпная плотность, кг/м ³
Осадок сточных вод ЦБП	29,33	100	293,3
	27,2	100	272
	26,75	100	267,5
	Среднее значение		277,6
Зола от сжигания топливной смеси с содержанием осадка сточных вод ЦБП	59,83	100	598,3
	59,83	100	598,3
	64,17	100	641,7
	Среднее значение		612,8
Пыль жома после циклона	37,80	100	378
	37,82	100	378,2
	40,78	100	407,8
	Среднее значение		388
Почва	39,984	100	399,8
	39,985	100	398,8
	38,806	100	388,1
	Среднее значение		395,6

Для проверки эффективности моего проекта я изготовила мелиорант с ЦБП и золой, в процентном соотношении (5%, 10%, 15% и контрольная проба). В качестве растений я взяла рапс и рожь. Так как на растения с различными биологическими особенностями, типам корневых систем и требованиями к

почвенным условиям. Использование двух культур позволяет повысить достоверность эксперимента и обеспечить их практическую. Для оценки эффективности разрабатываемых мелиорантов на основе промышленных отходов в качестве тест-культуры были выбраны рапс и рожь. Данный выбор обусловлен необходимостью получить объективную оценку воздействия мелиорантов значимость для различных направлений сельскохозяйственного производства.

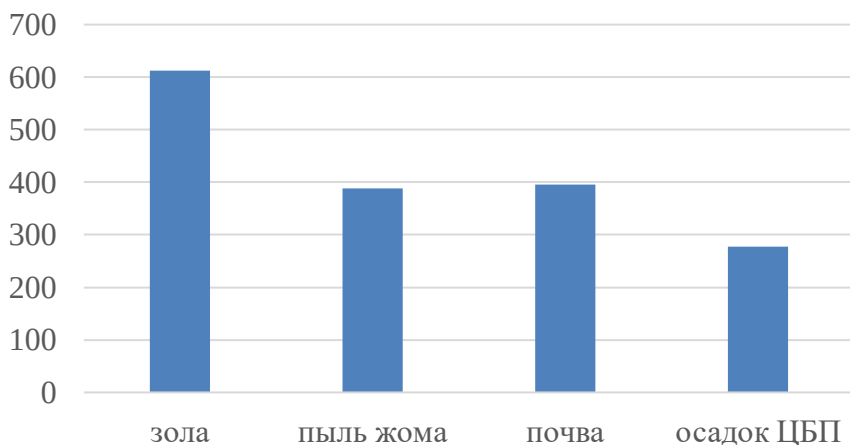


Рисунок 2 – Результаты определения pH

Результаты эксперимента (таблицы 3 и 4) показали, что добавления мелиорантов оказывает дозозависимый эффект. Для рапса, чувствительного к кислотности, наиболее выраженный стимулирующий эффект отмечен при внесении золы (щелочной мелиорант) и осадка ЦБП в концентрациях 5-10%, что связано с оптимизацией pH и обогащением почвы элементами питания. При высоких концентрациях (15-20%) наблюдалось некоторое угнетение роста, вероятно, из-за избыточной минерализации или изменения водно-воздушного режима. Рожь, характеризующаяся более высокой толерантностью к неблагоприятным условиям, показала стабильную всхожесть во всех вариантах.

Закключение: Проведенные лабораторные исследования физико-химических свойств показали, что исследуемые отходы обладают характеристиками, делающими их перспективными для химической мелиорации. Зола имеет сильнощелочную реакцию и высокую насыпную плотность, что позволяет рекомендовать её для раскисления кислых почв.

Таблица 3 – Результаты наблюдений за всхожестью рапса

Пыль жома после циклона													
Процентное содержание/ дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0 %	0	0	0	4	8	12	16	18	20	21	22	24	26
5%	0	0	0	0	2	4	4	5	8	8	8	8	11
10%	0	0	1	5	8	12	13	14	15	15	15	15	15
15%	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
20%	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	3	3
Осадок сточных вод ЦБП													
0%	0	0	0	4	8	16	16	20	20	20			
5%	0	0	0	3	8	14	14	14	15	15			
10%	0	0	1	1	3	3	5	7	7	9			
15%	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1			

Таблица 4 – Результаты наблюдений за всхожестью ржи

Процентное содержание/ дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5%	0	0	3	5	8	10	10	10	10	10
10%	0	0	4	4	5	6	6	6	7	7
15%	0	0	1	3	7	9	10	10	11	11

Осадок сточных вод ЦБП характеризуется низкой насыпной плотностью, влажностью и слабощелочной средой, что делает его ценным источником органического вещества. При этом ключевым выводом работы является то, что предложенный подход ориентирован не на интенсификацию сельскохозяйственного производства и получения максимальной урожайности, а на решение *двух экологических задач*:

- 1) Утилизация промышленных отходов
- 2) Восстановление деградированных земель

Таким образом, использование исследуемых промышленных отходов в качестве мелиорантов представляет собой экологически целесообразное и ресурсосберегающее решение, позволяющее одновременно снизить антропогенную нагрузку на биосферу и восстановить деградированные почвенные ресурсы.

Литература

1. Мелиоративное почвоведение : учебно-методическое пособие / В.Ю. Гилёв, С.М. Горохова; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2025 – 160 с.
2. Клебанович Н.В. Основы химической мелиорации почв: курс лекций для студентов географического факультета /Клебанович Н.В. – Минск, 2005. – 100 с.
3. Слюсарев В. Н. С49 Мелиоративное почвоведение : учеб. пособие / В. Н. Слюсарев, А. В. Осипов. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 134 с.
4. Базавлук, В.А. Мелиоративное обустройство территорий [текст]: учебное пособие / А.В. Базавлук. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2014. – 184 с.
5. <https://cf.ppt-online.org/files/slide/c/ctpeqlfdsAHWYzEFonhDURTuGPSLyJN2b3C0X7/slide-3.jpg>
6. <https://agroexpert.press/innovation/raps-vozdelyvanie-primenenie-i-perspektivy/>
7. <https://www.ostro.org/ru/press-releases/raps-osobennosty-y-unykallye-vozmozhnosty-i256597>
8. <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-proizvodstva-melioranta-pochvy-i-otsenka-effektivnosti-ego-primeneniya>
9. <https://cyberleninka.ru/article/c/environmental-biotechnology>
10. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-meliorantov-na-osnove-tonkodispersnoy-fraktsii-otходов-izvestnyakovyh-karierov-i-mikrovodorosli-chlorella-vulgaris-v>
11. <https://cyberleninka.ru/article/n/vidy-meliorantov-dlya-rekultivatsii-tehnogenno-narushennyh-territoriy-gornoy-promyshlennosti>
12. <https://bigenc.ru/c/melioranty-b3560b>

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЛИТОВЫХ ОТХОДОВ КАЛИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Любимова А.А., студент

Научный руководитель Гец А.К.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье обоснована возможность использования галитовых отходов Солигорска для создания натрий-ионных аккумуляторов. Описаны методы глубокой очистки сырья и синтеза компонентов батарей. Оценена экономическая выгода и экологический эффект от переработки солеотвалов. Предложен комплекс технологических мер для обеспечения ресурсосбережения.

Ключевые слова: галитовые отходы, калийное производство, Солигорский горнопромышленный район, натрий-ионные аккумуляторы, рациональное природопользование, вторичное сырье, глубокая очистка, электролит, энергосбережение, экологическая безопасность.

Производство калийных удобрений — одна из ключевых отраслей экономики. Исторически добыча калийных солей оказывала значительное воздействие на окружающую среду. Примером такого воздействия является Солигорский горнопромышленный район, где за десятилетия разработки месторождения накопилось более 1 миллиарда тонн промышленных отходов. Масштабы проблемы обусловлены спецификой производства: из каждой тонны добытой руды лишь около 25–30% превращается в готовый продукт, в то время как остальная масса отправляется в отвалы. Сегодня солеотвалы и шламохранилища занимают более 1500 гектаров плодородных земель, формируя антропогенный ландшафт из гигантских терриконов. Они являются экологически опасными объектами, так как при вымывании атмосферными осадками соли из отвалов, происходит загрязнение прилегающих водоемов и засоление почв. По этой причине, поиск вторичных способов переработки отходов производства и снижение их площади хранения является приоритетной задачей для обеспечения экологической безопасности.

Решение этой проблемы, благодаря быстрому развитию технологий, находится в сфере альтернативной энергетики. Из-за глобального дефицита лития происходит быстрый переход к более недорогим и доступным натрий-ионным решениям, благодаря чему переработка отходов становится выгодным направлением. Так как натрий встречается в 500 раз чаще лития и является основным компонентом многомиллионных отвалов калийного производства, техногенные месторождения галитовых отходов могут быть интегрированы в производственный цикл создания компонентов натрий-ионных

аккумуляторов. Использование этого ресурса позволяет существенно снизить стоимость производства батарей, исключая затраты на дорогостоящую медь в пользу доступного алюминия.

В настоящее время натрий-ионная технология находится на этапе активных научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок, в связи с чем специализированная нормативно-техническая база и национальные стандарты, регламентирующие методы испытаний именно для данного типа электрохимических систем, в полной мере еще не сформированы. Учитывая техническое сходство процессов заряда-разряда и конструктивных особенностей натрий-ионных и литий-ионных аккумуляторов была рассмотрена методология смежных отраслевых стандартов.

В частности, основным инструментом верификации параметров выбран ГОСТ Р МЭК 62660-1-2020 [1], регламентирующий требования к аккумуляторам для электротранспорта. В соответствии с разделом 4.2 данного стандарта, выбор измерительного оборудования обусловлен необходимостью минимизации погрешностей: так, система измерения тока (амперметр с внешним шунтом) должна иметь класс точности не ниже 0,5, а вольтметры для контроля напряжения — внутреннее сопротивление не менее 1 МОм/В.

Особое значение при тестировании ячеек на базе вторичного сырья имеет мониторинг термической стабильности, поскольку наличие остаточных примесей в переработанном сырье может влиять на внутреннее сопротивление. Согласно пункту 4.2.4, датчики температуры должны располагаться непосредственно на поверхности корпуса в точках, наиболее объективно отражающих тепловое состояние аккумулятора, независимо от его форм-фактора (призматического или цилиндрического). Использование такой стандартизированной измерительной базы позволит верифицировать параметры удельной емкости и плотности энергии разрабатываемых прототипов, обеспечивая научную обоснованность их последующего внедрения в системы накопления энергии.

Теоретическая возможность вовлечения галитовых отходов калийного производства в технологическую цепочку создания натрий-ионных аккумуляторов базируется на синтезе высокочистых солей электролита и активных масс катода. Основным компонентом, определяющим работоспособность аккумулятора, является гексафторфосфат натрия ($NaPF_6$), который может быть получен путем прямого взаимодействия металлического натрия (продукта электролиза очищенного $NaCl$) с гексафторфосфатом аммония (NH_4PF_6) в среде тетрагидрофурана (ТГФ).

Процесс получения компонентов натрий-ионного аккумулятора из галитовых хвостов начинается с многоступенчатой глубокой очистки

исходного сырья методом селективного осаждения примесей и ионообменной хроматографии для достижения реактивной чистоты хлорида натрия от 99,5%.

Для синтеза катода очищенный хлорид натрия используется в качестве натрийсодержащего прекурсора в ходе твердофазного синтеза, где при высокотемпературном отжиге совместно с оксидами переходных металлов формируется кристаллическая структура слоистых оксидов или полианионных соединений типа $Na_3V_2(PO_3)$.

Получение электролита включает стадию конверсии очищенного галита в гексафторфосфат натрия (NH_4PF_6) с последующим растворением полученной соли в смеси апротонных органических карбонатов, что в совокупности обеспечивает создание функционально активных электрохимических пар на основе вторичного минерального сырья.

Теоретическая емкость катодных материалов, синтезированных на основе натриевого сырья, составляет порядка 130 мАч/г. Надежность таких систем подтверждается способностью электролита выдерживать напряжение до 4,2–5,5 В без разрушения. При сборке ячеек чрезвычайно важным является этап каландрирования электродов до достижения пористости 35–40%, что гарантирует оптимальный ионный транспорт [2].

Переход от закупки коммерческих реактивов к собственному синтезу на основе вторичного сырья позволяет снизить себестоимость электролита более чем в 15 раз. Это создает условия для создания эффективных систем накопления энергии, где стоимость всей батареи может быть снижена на 6–10% за счет совершенствования сырьевой базы.

Эффективность применения вторичных ресурсов в производстве батарей напрямую зависит от соблюдения отраслевых стандартов чистоты и стабильности материалов. Важным технологическим ориентиром является достижение чистоты синтезируемых солей на уровне не менее 99,5%. Содержание остаточной влаги в электролите должно строго ограничиваться порогом в 60 ppm, поскольку превышение этого значения инициирует необратимые химические процессы, ведущие к деградации ячеек.

С точки зрения электрохимических характеристик, целевым показателем для катодных масс выступает удельная емкость порядка 130 мАч/г при обеспечении стабильного окна напряжений от 1,0 до 4,2 В (с теоретическим пределом электрохимической стабильности электролита до 5,5 В). Важным параметром при формировании структуры электродов методом каландрирования является достижение пористости активного слоя в диапазоне 35–40%. Данный показатель признан международным стандартом для обеспечения баланса между плотностью энергии и эффективным ионным транспортом.

Переработка галитовых отвалов позволяет одновременно решить две важные задачи: обеспечить производство натрий-ионных аккумуляторов доступным сырьем и существенно снизить экологическую нагрузку на регион.

Галитовые хвосты, содержащие от 95% до 98% хлорида натрия, представляют собой стратегически важную и практически неисчерпаемую ресурсную базу для синтеза активных компонентов катодных материалов и приготовления высокочистых электролитов.

Анализ существующих мировых практик и литературных данных подтверждает, что достижение требуемой для аккумуляторных технологий чистоты сырья технически реализуемо через применение методов многоступенчатой перекристаллизации, ионного обмена и химического осаждения примесей кальция и магния. Переработка галитовых отвалов позволяет одновременно решить две важные задачи: обеспечить производство натрий-ионных аккумуляторов доступным сырьем и существенно снизить экологическую нагрузку на регион.

Производство комплектующих из галитового сырья закладывает основу для формирования в Республике Беларусь высокотехнологичного производства аккумуляторных батарей. Создание собственной компонентной базы позволит не только снизить импортозависимость отрасли, но и обеспечит благоприятные условия для привлечения прямых инвестиций в развитие производства.

Литература:

1. Аккумуляторы литий-ионные для электрических дорожных транспортных средств. Часть 1. Испытания по определению рабочих характеристик : ГОСТ Р МЭК 62660-1—2020. – Введ. 01.01.21. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 32 с.
2. Ould, D. M. C. New Route to Battery Grade NaPF₆ for Na-Ion Batteries: Expanding the Accessible Concentration / D. M. C. Ould, S. Menkin, C. A. O'Keefe // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2022. – Vol. 61, № 5. – P. 2-38.

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, РЕЗУЛЬТАТ

Людчик А.Н., магистрант

Научный руководитель Морзак Г.И.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье приводится различие между экологическим мониторингом и контролем, а также для чего нужен мониторинг, какие этапы включает проектирование системы экологического мониторинга и как определить допустимое для системы антропогенное воздействие.

Ключевые слова: мониторинг, наблюдения, контроль, система, воздействие, окружающая среда.

Общественные отношения, складывающиеся при проведении мониторинга окружающей среды (МОС) в Республике Беларусь, регулируются с помощью юридических инструментов, определяющих права и обязанности субъектов. Правовые нормы базируются на научных данных, концепциях мониторинга и накопленном отечественном и международном опыте регулярных наблюдений за состоянием окружающей среды.

Правовое регулирование МОС неразрывно связано с иными организационно-правовыми инструментами охраны природы, реализующими экологический императив: учет в области окружающей среды, оценка воздействий на окружающую среду планируемой деятельности, контроль в области охраны окружающей среды и природопользования. Такая взаимосвязь на практике нередко приводит к смешению понятий, когда мониторинг подменяется контролем.

Под МОС понимается система наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей среды под действием природных и антропогенных факторов. Несмотря на то, что это определение закреплено нормативно, конкретный порядок проведения МОС устанавливается другими нормативными актами. При этом законодательно наиболее полно урегулирована система наблюдений: определены сеть пунктов, параметры и периодичность проведения наблюдений. В то же время алгоритм оценки состояния окружающей среды и прогнозирования ее изменений в рамках МОС Республики Беларусь на сегодняшний день не урегулирован в полной мере.

Регулярные наблюдения дают возможность отслеживать многогранное воздействие между природными компонентами и антропогенными факторами. Естественные процессы в экосистемах высокого уровня характеризуются большой продолжительностью, что делает их трудноуловимыми для МОС [1]. Антропогенные же изменения происходят стремительнее и несут более

ощутимые последствия, что позволяет оперативно выявить их с помощью МОС. Поэтому необходим комплексный МОС как природной, так и антропогенной динамики экосистем для минимизации негативных последствий. Контроль в области охраны окружающей среды и МОС имеют разные цели и задачи, содержание и методы выполнения, результаты и юридически значимые последствия. Сравнительный анализ МОС и экологического контроля представлен в таблице 1.

Ни один из видов МОС не может ограничиваться лишь наблюдениями, результатом которых являются акты отбора проб и протоколы лабораторных работ [2]. Применительно к оценке состояния окружающей среды в рамках МОС нецелесообразно выявлять превышения допустимых концентраций загрязняющих веществ, так как это является одной из задач экологического контроля. Назначение МОС представлено на рисунке 1.

Системы управления качеством окружающей среды функционируют на основе данных МОС. Эта информация нужна для своевременного предотвращения экологических проблем, анализа негативных последствий изменений в природе, а также для создания прогнозов социально-экологического развития и соответствующих государственных программ. Разработка природоохранной политики на любом уровне, от локального до международного, базируется на кадастровых данных. Их интеграция с результатами МОС позволяет составлять комплексные эколого-экономические оценки территорий различного масштаба, что существенно повышает ценность экологической информации.

МОС проводится для отслеживания ее состояния, включая районы с источниками негативного воздействия, а также для оценки влияния этих источников на природу. Основная цель МОС – предоставление государственным органам, юридическим лицам и гражданам полной, достоверной и оперативной информации, необходимой для осуществления управления и контроля в сфере охраны окружающей среды и рационального природопользования [3]. Детально раскрыты и нормативно закреплены форма и содержание экологической информации в многочисленных нормативных правовых актах, разработанных Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (Минприроды).

Для эффективной работы системы МОС любого ранга на стадии ее проектирования необходимо детально разработать каждый этап получения экологической информации: регулярные наблюдения, сбор, обработка, анализ первичных данных, оценка состояния окружающей среды, прогнозирование. Проектирование системы МОС проходит в несколько этапов.

Этап 1: формирование целей МОС и определение информационных потребностей. Качественная реализация этого этапа закладывает основу для

создания системы МОС, способной в полной мере удовлетворить информационные запросы ключевых пользователей.

Таблица 1 – Сравнительный анализ МОС и экологического контроля

Цель	Оценить воздействие природных и антропогенных факторов	Выявить, предотвратить, нарушения НПА, ТНПА
Основные результаты	Репрезентативная сеть пунктов наблюдений и обоснованный регламент проведения МОС; акты отбора проб и протоколы проведения измерений; выявленное экологическое состояние оцениваемого объекта; прогноз изменения состояния с учетом природных и антропогенных факторов	Акты отбора проб и протоколы проведения измерений; акт об установлении факта причинения вреда окружающей среде
Кто проводит	Научно-исследовательские организации разных ведомств, природопользователи, независимые аккредитованные лаборатории	Территориальные органы Минприроды, лаборатория ГУ «Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды»
Задачи	Разработать и обосновать сеть пунктов регулярных наблюдений, перечень параметров наблюдений, периодичность; проведение регулярных полевых исследований объекта в соответствии с разработанным регламентом; химико-аналитические исследования отобранных проб по определению концентрации загрязняющих веществ; оценка экологического состояния объекта; оценка динамики и прогноз изменений состояния окружающей среды; разработка природоохранных мероприятий (при необходимости)	Формирование заявок и планов-графиков на проведение контроля; отбор проб и проведение измерений; выявление превышений допустимых нормативов содержания загрязняющих веществ; привлечение к ответственности виновного лица

Этап 2: формирование организационной базы сети наблюдений и разработка принципов их ведения. На этом этапе устанавливается вертикальная (иерархическая подчиненность) и горизонтальная (направления и виды наблюдений) структура будущей системы. Определяются меры для обеспечения сбалансированного сочетания различных типов наблюдений: стационарных, региональных (для оценки пространственного распределения загрязнения) и локальных (на наиболее значимых участках). Решаются

вопросы целесообразности внедрения автоматизированных, дистанционных и иных методов МОС.



Рисунок 1 – Назначение экологического мониторинга.

Этап 3: организация сети МОС. Разрабатываются детальные программы для каждой точки и вида наблюдений, с установлением конкретных перечней контролируемых показателей, периодичности и графика их измерений.

Этап 4: разработка механизмов сбора, обработки и предоставления данных потребителям. Определяется иерархическая структура потоков информации, включающая пункты наблюдений, региональные центры сбора данных и общенациональный информационный центр.

Этап 5: внедрение системы проверки данных и корректировки системы МОС. На этом этапе проводится оценка соответствия созданной системы изначально поставленным целям и задачам, а также проверяется насколько эффективно система удовлетворяет информационные потребности ключевых целевых групп. При необходимости вносятся коррективы.

Эффективное управление качеством окружающей среды опирается на принципы рационального природопользования. Ключевым из них является ограничение антропогенного воздействия на экосистемы величинами, не превышающими их допустимой нагрузки.

Определение допустимых нагрузок при этом базируется на концепции экологического резерва и диапазона допустимых изменений состояния экосистемы. Такой экологический подход принципиально отличается от санитарно-гигиенического. Последний ориентирован на установление предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) загрязняющих веществ, превышение которых оценивается как негативное влияние на здоровье человека и населения в целом.

Основным критерием экологически допустимой нагрузки выступает сохранение продуктивности, устойчивости и биоразнообразия экосистемы. МОС призван обеспечивать детальный анализ ее состояния, выявлять критические факторы воздействия и определять допустимые экологические нагрузки, что позволяет формировать обоснованную стратегию управления качеством окружающей среды с учетом социальных и экономических аспектов. Если достичь нормативных показателей невозможно, применяются временно согласованные величины воздействия с последующим поэтапным приведением их к норме. Если МОС показывает, что достижение нормативных характеристик состояния объекта нереализуемо, органы государственного управления могут принять решение о прекращении воздействия.

В Республике Беларусь до настоящего времени отсутствует нормативно закреплённый порядок определения допустимых нагрузок на экосистемы [4]. Хозяйственная деятельность ведется на основании природоохранных разрешений, выдаваемых территориальными органами Минприроды. Такие разрешения часто содержат временные допущения значительного негативного воздействия, например сброс сточных вод с концентрациями загрязняющих веществ выше ПДК или ОДК. Оценка состояния окружающей среды по данным МОС осуществляется путем сравнения фактического содержания поллютантов (в почвах, водах, атмосферном воздухе) с утвержденными или согласованными с Министерством здравоохранения значениями ПДК и ОДК. При этом экологические показатели устойчивости экосистем к антропогенным нагрузкам во внимание не принимаются. Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду устанавливаются как для отдельных видов воздействия хозяйственной деятельности, так и для совокупного воздействия всех источников на конкретной территории, с обязательным учетом природных особенностей таких территорий.

Литература:

1. Козырь Д. А. Экологический мониторинг: учебное пособие для обучающихся образовательных учреждений высшего профессионального образования / Д. А. Козырь, Д. А. Макеева, Ю. А. Омельчук. – Севастополь: СевГУ, 2023. – 164 с.

2. Замалетдинов Р.И., Мингалиев Р.Р. Экологический контроль и мониторинг / Р.И. Замалетдинов, Р.Р. Мингалиев. - Казань: КФУ, 2023. - 148 с.

3. Макаревич Т. А. Экологический мониторинг, контроль и экспертиза: учеб. пособие / Т. А. Макаревич, С. П. Уточкина. – Минск: БГУ, 2012. - 223 с.

4. Научно-практическое издание «НСМОС Беларуси – 30 лет! Перспективы развития»/Под общей редакцией главного информационно-аналитического центра Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь – Минск, 2023. - 94 с.

АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД НИТРАТАМИ

Майорчик В.С., Сакович Р.М., студенты

Научные руководители Зеленуха Е.В., Скуратович И.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье проанализированы источники поступления нитратов в поверхностные и подземные воды на территории Республики Беларусь. Показано, что при общей тенденции к снижению содержания нитратов в реках и водоемах (по данным 2020–2024 гг.) грунтовые воды и, в особенности, вода из шахтных колодцев остаются уязвимыми. Обоснована необходимость комплексного подхода, включающего соблюдение санитарных зон, регулярную чистку колодцев, использование методов обратного осмоса и ионного обмена, а также государственный мониторинг.

Ключевые слова: нитраты, поверхностные воды, подземные воды, мониторинг, антропогенная нагрузка, обратный осмос.

Нитраты (NO_3^-) – соли азотной кислоты, широко распространённые в природе. Однако в естественных условиях их концентрация в воде невелика. Рост антропогенной нагрузки привёл к тому, что нитраты стали одним из приоритетных загрязнителей водных экосистем. Для Беларуси, где значительные территории заняты сельхозугодьями, а питьевое водоснабжение более чем на 85% базируется на подземных источниках, эта проблема является актуальной.

К основным источникам загрязнения воды нитратами относятся:

- применение минеральных азотных и органических удобрений;
- хранение и утилизация жидких фракций навоза на открытых лагунах и полях фильтрации животноводческих комплексов;
- селитебные территории без централизованной канализации;
- инфильтрация атмосферных осадков.

Важной особенностью нитратного загрязнения является его воздействие на человека. Основным источником поступления нитратов в организм человека в настоящее время – продукты питания растительного происхождения (овощи). Однако при превышении гигиенических нормативов в питьевой воде (ПДК для нитратов в воде централизованного водоснабжения – 45 мг/л по NO_3^-) именно водный путь становится доминирующим в формировании общей токсикологической нагрузки. При этом нитраты, растворённые в воде, обладают в 1,5 раза более высокой биодоступностью и токсичностью по сравнению с нитратами, содержащимися в продуктах растительного происхождения.

Нитраты, поступающие в организм, частично восстанавливаются в нитриты, которые в 10 раз более токсичны. Именно нитриты определяют степень опасности нитратной нагрузки на организм. Существует первичная токсичность самих нитратов, вторичная – при образовании нитритов, и третичная – связанная с образованием нитрозаминов. Накапливаясь в организме человека, нитраты реагируют с гемоглобином крови, образуя метгемоглобин, и вызывают метгемоглобинемию. Это вещество в отличие от гемоглобина не переносит кислород, что приводит к кислородному голоданию тканей. Нитраты пагубно воздействуют на нервную, сердечно-сосудистую систему, желудочно-кишечный тракт и другие органы. Особенно опасны нитраты для маленьких детей, у которых еще не сформирована восстанавливающая ферментная система, беременных женщин, а также людей, с хроническими заболеваниями сердечно-сосудистой системы, желудочно-кишечного тракта.

В работе были проанализированы данные по содержанию нитратов в воде рек, озер, подземных вод и колодцев. Динамика содержания нитратов в поверхностных водных объектах республики по данным [1] представлена на рисунках 1 и 2.

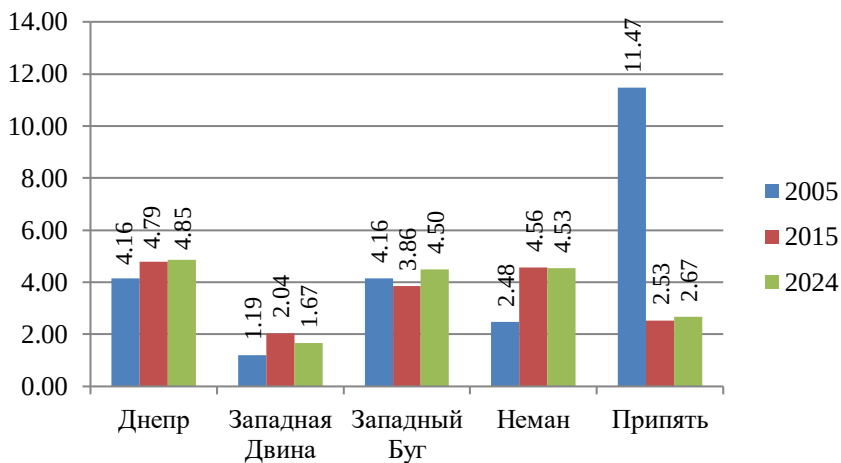


Рисунок 1 – Содержание нитратов в реках, мг NO₃/л

Как видно из представленных диаграмм, в поверхностных источниках не наблюдается повышенного содержания нитратов, а их количество к 2024 году заметно снизилось.

Анализ содержания нитратов в пунктах наблюдений в рамках системы мониторинга подземных вод в период с 2020-2024 гг. показывает, что в

грунтовых водах бассейна р. Западный Буг в 2020 г. превышения гигиенических нормативов безопасности воды выявлены по нитрат-иону в 1,86 раза (скважина 545 Масевичский - 83,9 мг/дм³). В грунтовых водах бассейна р. Западная Двина в скважине 209 Адамовского г/г поста выявлены превышения ПДК в 2021 г. по нитрат-иону – 51 мг/дм³, а в 2024 г. – 118,4 мг/дм³ (ПДК=45,0 мг/дм³). Данная скважина глубиной 12,34 м, оборудована на литологически незащищенные грунтовые воды и расположена вблизи д. Новинье (Полоцкий район, Витебская область) у распаханного поля.

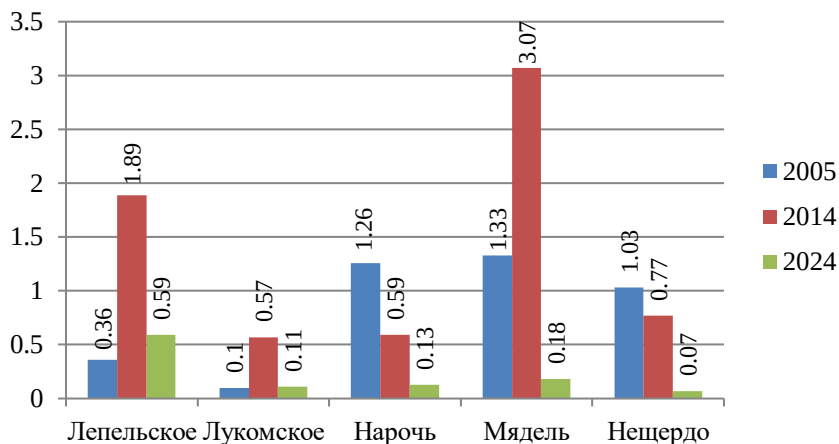


Рисунок 2 - Содержание нитратов в озерах, мг NO₃/л

Также превышение ПДК по нитратам выявлено в 2021 г. и 2024 г. в грунтовых водах бассейна р. Припять в скважине Боровицкого поста 73,8 мг/дм³ и 108,5 мг/дм³ соответственно. В 2023 г. выявлено превышение ПДК по нитрат-иону (по NO₃⁻) – 5,8 ПДК (263,2 мг/дм³): скважина 649 Хвойникского г/г поста (д. Хвойник) Пружанского района Брестской области). Данная скважина оборудована на неглубоко залегающие, незащищенные грунтовые воды (глубина скважины – 4,85 м) и расположена недалеко от деревни вблизи распаханного поля, на которое периодически вносят минеральные/органические удобрения, которые, в свою очередь, с талыми, дождевыми водами мигрируют в грунтовые воды [2].

Проблема нитратного загрязнения колодцев в Республике Беларусь носит массовый характер. Доля проб из источников нецентрализованного водоснабжения (шахтных колодцев) с превышением ПДК по нитратам в среднем по республике составляет 24,5%. В некоторых регионах, например в Брестской области, этот показатель достигает 41%. Ежегодно около трети проб воды из колодцев не соответствует гигиеническим нормативам по содержанию

нитратов. При этом загрязнение может быть значительным: в 3% загрязненных колодцев превышение ПДК составляет 3-5 раз. Вода в колодцах и неглубоких скважинах наиболее уязвима, так как забирается из первого, слабо защищенного водоносного горизонта.

Для эффективного решения проблемы необходим комплексный подход, включающий профилактические, нормативные и технологические меры. Самый надежный способ – не допустить попадания нитратов в источник. Для этого необходимо соблюдение санитарных зон: в радиусе не менее 20 метров от колодца запрещено мыть машины, поить скот, устраивать выгребные ямы и туалеты, а также вносить удобрения. Правильное обустройство колодца также играет важную роль: вокруг колодца необходимо создать надежный «глиняный замок» (глубиной 1,5-2 м и шириной 0,5 м) и бетонную отмостку для предотвращения попадания поверхностных стоков. Не менее значим и регулярный уход: проводить чистку и дезинфекцию колодца не реже одного раза в год, следить за герметичностью швов и целостностью конструкции.

Важно знать, что кипячение, отстаивание и заморозка не удаляют нитраты. Обратный осмос – один из наиболее эффективных методов для домашних условий, однако он удаляет и полезные минеральные соли, поэтому рекомендуется использовать системы с минерализатором. Ионный обмен – еще один эффективный и научно обоснованный метод, который используется как в промышленных, так и в бытовых установках.

В Беларуси действует система Национального мониторинга окружающей среды. Регулярные наблюдения за содержанием нитратов и других биогенных веществ ведутся на 160 водных объектах (86 рек и 74 водоемах) силами 18 лабораторий. Кроме того, любой владелец колодца может обратиться в аккредитованную лабораторию центров гигиены и эпидемиологии для проведения анализа воды.

Таким образом, нитратное загрязнение – приоритетная проблема для децентрализованного водоснабжения сельских территорий. Поверхностные воды нашей страны в целом соответствуют нормативам благодаря самоочищающей способности. Наиболее загрязнены скважины малой глубины (<15 м) вблизи распаханых полей. Требуется ужесточение контроля за обустройством колодцев и внедрение обязательных методов очистки (обратный осмос) в зонах риска.

Литература:

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 09.04.2026).
2. Мониторинг подземных вод. URL: <https://nsmos.by/environmental-monitoring/monitoring-podzemnykh-vod> (дата обращения: 09.04.2026).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ БЕТОННОГО ШЛАМА НА РАСТВОРОБЕТОННОМ УЗЛЕ

Макейчик В.А. студент

Научный руководитель: Веремейчик Л.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассматривается проблема обращения с тонкодисперсным отходом (шламом), образующимся на растворобетонных узлах при рециклинге промывочных вод. На примере филиала №2 ОАО «Минскжелезобетон» проанализирована работа установки ELTI-10, которая выделяет только фракцию твердых частиц крупнее 0,25 мм. Предложено природоохранное мероприятие – внедрение пресс-фильтра для обезвоживания шлама. Дано технико-экономическое обоснование: снижение объема отходов на 80–90 %, экономия цемента до 5–10 %, окупаемость оборудования 1,5–2 года.

Ключевые слова: бетонный шлам, рециклинг, пресс-фильтр, обращение с отходами, ОАО «Минскжелезобетон», ресурсосбережение.

Производство товарного бетона и железобетонных изделий является одним из крупнейших потребителей природных ресурсов и источников образования промышленных отходов.

ОАО «Минскжелезобетон» – одно из ведущих предприятий отрасли в Республике Беларусь, выпускающее сборный железобетон, товарный бетон, стеновые блоки и другие строительные материалы. Филиал №2, расположенный по адресу город Минск, 1-й Твердый переулок, дом 9, представляет собой специализированный растворобетонный узел (РБУ) и обеспечивает товарным бетоном ключевые строительные объекты столицы, включая жилые комплексы «Северный Берег», «Зеленый Бор», Национальный футбольный стадион и другие социально значимые объекты. Согласно санитарной классификации, предприятие относится к объектам IV категории воздействия с санитарно-защитной зоной 100 метров [1, 2].

Производственная деятельность филиала № 2 сопровождается воздействием на атмосферный воздух, водные ресурсы и почвенный покров. На предприятии насчитывается 37 источников выбросов загрязняющих веществ, суммарный выброс составляет 4,11 т/год, основным загрязняющим веществом является цементная пыль.

Особенностью филиала является отсутствие сброса производственных сточных вод в городскую канализацию или поверхностные водоемы. Вода, используемая для промывки оборудования, вместе с остатками бетонной смеси поступает в рециклинговую установку, где происходит ее очистка и возврат в производственный цикл [1].

Для минимизации воздействия на окружающую среду на предприятии эксплуатируется рециклинговая установка ELTI-10. Установка предназначена для переработки жидких отходов производства бетона – остатков бетонной смеси и промывочной воды от автобетоносмесителей [3].

Основные компоненты установки включают: приемный бункер для остатков бетона, шнек-регенератор с промывочным шнеком, накопительный резервуар для шламовой воды, перемешивающее устройство (агитатор), насосное оборудование и систему автоматического управления. Технические характеристики установки ELTI-10 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики рециклинговой установки ELTI-10

Параметр	Значение
Производительность, м³/час	10
Мощность привода промывочного шнека, кВт	5,5
Мощность привода мешалки, кВт	4
Мощность привода промывочного насоса, кВт	3,5 / 2,7
Мощность привода дозирующего насоса, кВт	8,9 / 7,5
Общая подводимая мощность, кВт	22
Напряжение, В/Гц	400 / 50
Площадь размещения установки, мм	6500 × 8000
Масса установки с комплектом автоматики, кг	1100

Принцип работы установки основан на разделении исходной смеси на твердую и жидкую фракции. Остатки бетона и промывочная вода загружаются в приемный бункер, откуда поступают в наклонный шнек-регенератор. Вращающийся шнек отделяет твердые материалы фракцией до 0,25 мм (песок, щебень), которые выгружаются в полусухом состоянии и могут быть повторно использованы в производстве. Шламовая вода (цементное молоко) через сливное отверстие подается в накопительный резервуар, где постоянно перемешивается для предотвращения осаждения твердых частиц, после чего повторно используется для приготовления бетонной смеси и промывки оборудования.

Использование рециклинговой установки позволяет сократить потребление свежей воды до 90 – 95 %, возвращать в производство до 80 % твердых заполнителей и исключить сброс загрязненных сточных вод в канализацию [3].

Однако, как показал анализ, существующая технология имеет ограничения: шнек-сепаратор установки эффективно выделяет только фракцию твердых частиц крупнее 0,25 мм. Более мелкая фракция (частицы цемента, тонкий песок размером менее 0,25 мм) не задерживается шнеком и остается в шламовой воде. Со временем эти тонкодисперсные частицы осаждаются на дне накопительного резервуара и отстойников, образуя бетонный шлам (код отхода 3160100 по общегосударственному классификатору отходов Республики Беларусь). Данный отход относится к опасным отходам четвертого класса опасности и требует контроля при обращении [4].

Согласно Инструкции по обращению с отходами ОАО «Минскжелезобетон» данный шлам позиционируется как вторичный ресурс, направляемый на использование в технических процессах. Однако анализ показывает, что на практике отход возвращается в начало технологической цепочки рециклинга, повторно поступая в приемный бункер установки ELTI-10.

Такая рециркуляция неэффективна, поскольку шнек-сепаратор вновь не может выделить тонкодисперсную фракцию. В результате образуется замкнутый цикл накопления отхода без его конечной утилизации. Шлам накапливается в отстойниках, занимает производственные площади, требует периодической очистки и создает риск залповых сбросов щелочной среды (рН шламовой воды достигает 11–12) в ливневую канализацию.

Для решения этой проблемы современная практика рециклинга бетонных отходов рекомендует использовать пресс-фильтр (фильтр-пресс) в качестве дополнительного оборудования к существующей системе [5]. Модернизация технологической схемы заключается в установке пресс-фильтра на линии подачи шламовой воды от насоса к бассейну-отстойнику.

Технологический процесс модернизированной системы включает следующие последовательные стадии:

- ✓ Остатки бетона и промывочная вода от автобетоносмесителей поступают в приемную воронку, а затем в регенератор (шнековый классификатор).

- ✓ В регенераторе происходит разделение: твердые частицы крупнее 0,25 мм (песок, щебень) выгружаются в полусухом виде и возвращаются в производство.

✓ Шламовая вода (цементное молоко) с частицами мельче 0,25 мм сливается в накопительный бассейн, где постоянно перемешивается для предотвращения осаждения.

✓ Из бассейна шламовая вода забирается насосом и подается под давлением на пресс-фильтр.

✓ В пресс-фильтре происходит разделение фаз: фильтрат (очищенная вода) возвращается в бассейн и далее на БСУ для приготовления бетонной смеси или промывки оборудования, а кек (обезвоженный до влажности 20–25 % тонкодисперсный шлам) выгружается в бункер-накопитель.

✓ Кек используется в качестве минеральной добавки при производстве бетона, заменяя до 5–10 % портландцемента.

Пресс-фильтр представляет собой оборудование, в котором сжатие плит при помощи гидроцилиндра создает фильтровальные отсеки между плитами, обтянутыми фильтровальными полотнами. Шлам подается в эти отсеки пневматическим мембранным насосом. Под давлением жидкая фаза проходит через фильтровальное полотно и сливается, а твердый осадок задерживается. По завершении процесса фильтрации плиты раскрываются, и обезвоженный осадок (кек) сбрасывается в отсек для сбора. Все операции работают в полностью автоматическом режиме [5].

Предлагаемое мероприятие обладает высокой экологической и экономической эффективностью. Экологический эффект заключается в сокращении объема образования отхода «Шлам бетонный» (код 3160100) на 80–90 %, ликвидации накопления шлама в отстойниках, снижении риска залповых сбросов щелочной среды и улучшении качества оборотной воды. Использование пресс-фильтра позволяет увеличить объем использования оборотной воды и обеспечить соответствие требованиям экологических надзорных органов [5].

Экономический эффект достигается за счет возврата в производство тонкодисперсной фракции, используемой в качестве минеральной добавки. При замене 5 % портландцемента на кек (из расчета среднего годового объема производства филиала) экономия цемента составляет до 5 % от общего объема его потребления. Дополнительный эффект дает снижение затрат на забор свежей воды на 15 – 20 % за счет возврата очищенного фильтрата в производственный цикл, а также сокращение расходов на утилизацию отходов.

Капитальные затраты на приобретение и монтаж пресс-фильтра сопоставимы с годовым экономическим эффектом от экономии сырья и воды. Срок окупаемости оборудования, по данным производителей, не превышает 1,5 – 2 лет, что делает данное мероприятие экономически целесообразным.

Проведенный анализ деятельности филиала №2 ОАО «Минскжелезобетон» показал, что существующая система рециклинга ELTI-

10 не обеспечивает полной переработки тонкодисперсных фракций бетонного шлама, что приводит к образованию устойчивого отхода. Предложенное мероприятие – внедрение пресс-фильтра – позволяет: снизить образование отхода «Шлам бетонный» на 80–90 %; получить дополнительный вторичный ресурс для замены части цемента; улучшить качество оборотной воды; обеспечить экономический эффект и окупаемость в течение 1,5–2 лет. Реализация данного мероприятия соответствует экологической политике ОАО «Минскжелезобетон» и принципам устойчивого развития, обеспечивая снижение нагрузки на окружающую среду и ресурсосбережение.

Литература:

1. История ОАО «Минскжелезобетон» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mgb.by/o-predpriyatii/istoriya/>. – Дата доступа: 29.03.2026.
2. Санитарные нормы и правила «Требования к условиям труда работающих и содержанию производственных объектов» : утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 08.07.2016, № 85. – Минск, 2016. – 120 с.
3. Эффективность применения рециклинга в производстве бетонов и растворов [Электронный ресурс] // Readymix. – Режим доступа: <https://readymix.ru/index.php?route=information/blog&act=post&postid=134>. – Дата доступа: 29.03.2026.
4. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь. Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь : ОКРБ 021-2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ecoinfo.by/wp-content/uploads/2023/11/021-2019.pdf>. – Дата доступа: 29.03.2026.
5. Пресс-фильтры для очистки шламовой воды из рециклинговых установок [Электронный ресурс] // БРЕСТА. – Режим доступа: <https://bresta.ru/press-filtry/>. – Дата доступа: 29.03.2026.

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Маркович О.А., Самсонова Д.Д., студенты

Научный руководитель Сидорская Н.В.

**Белорусский государственный университет иностранных языков,
Беларусь**

В данной статье проводится анализ системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь, рассматриваются основные его типы: мониторинг качества воздуха, воды, почв, радиационный мониторинг и мониторинг биоразнообразия, а также отражаются некоторые ключевые изменения 2025-2026 годов в нормативном регулировании и перспективы развития системы согласно новой государственной программе.

Ключевые слова: мониторинг окружающей среды, Национальная система экологического мониторинга (НСЭМ), атмосферный воздух, водные объекты, почвы, радиационный мониторинг, биоразнообразие, локальный мониторинг.

Под экологическим мониторингом в широком смысле понимается комплекс мероприятий, направленных на систематическое отслеживание параметров природной среды. В фокусе внимания находятся качественные характеристики атмосферы, гидросферы, состояния земель и биологических ресурсов. Информация, генерируемая в рамках таких наблюдений, представляет ценность для научных кругов, коммерческого сектора и контролирующих инстанций. На ее основе фиксируются нарушения природоохранного законодательства, разрабатываются меры по рациональному использованию ресурсов и минимизации рисков для здоровья населения, а также обеспечивается сохранность природных экосистем.

В глобальной и локальной практике мониторинга принято выделять такие направления, как контроль чистоты воздуха, водных объектов, состояния почв, уровня засоления, сохранности биоразнообразия и степени техногенной нагрузки. На территории Беларуси реализуется 13 разновидностей подобного мониторинга, причем большая их часть консолидирована в рамках Национальной системы экологического мониторинга (НСЭМ). Далее более подробно охарактеризованы ключевые направления.

Контроль качества атмосферного воздуха

Наблюдения за состоянием воздушного бассейна организованы в 26 населенных пунктах с высокой концентрацией промышленных объектов. Список включает областные центры, а также такие города, как Бобруйск, Борисов, Жлобин, Лида, Молодечно, Орша, Пинск, Светлогорск, Солигорск и

ряд других. Помимо этого, стационарные посты функционируют в зоне Березинского биосферного заповедника и в районе Мозырского промышленного узла. На границе с западными соседями, в городе Высокое, расположена станция, отслеживающая трансграничный перенос загрязнителей. За период с 2004 по 2026 год количество постов, подведомственных Министерству природных ресурсов, увеличилось с 53 до 87 единиц.

Для проведения исследований в локациях, не охваченных стационарной сетью, используется передвижная лаборатория. Также функционирует одна станция, принадлежащая Министерству здравоохранения (в Могилеве). Обработка, хранение и свод поступающих сведений производится профильным информационно-аналитическим центром.

Оценка состояния водных ресурсов

Система наблюдений за поверхностными водами насчитывает 297 створов, объединяющих 203 гидрологических поста. Мониторингом охвачено 70 рек, 14 озер, 10 искусственных водохранилищ и один канал (рис. 1). В географическом разрезе работы ведутся в границах водосборов Днестра, Припяти, Западной Двины, Немана и Западного Буга.

Наибольшее внимание уделяется участкам, расположенным вблизи крупных городов и промышленных предприятий-водопользователей. Программа исследований включает около 50 показателей, в число которых входят физико-химические характеристики, содержание органики, биогенных соединений, специфических загрязняющих веществ (фенолы, нефтепродукты) и тяжелых металлов. Следует отметить отсутствие в стране автоматизированных постов непрерывного действия для мониторинга водных объектов. Гидрохимические изыскания подкрепляются гидробиологическими анализами, позволяющими получить интегральную оценку экологического состояния водоемов. Наиболее остро стоит проблема загрязнения подземных вод нитратами: порядка 70% скважин демонстрируют превышение установленных нормативов. Основным источником этой угрозы выступает деятельность Солигорского калийного комбината.

Мониторинг почв и земельных ресурсов

Специализированная комплексная сеть, предназначенная исключительно для мониторинга земель, на сегодняшний день не сформирована. Изучение почв ведется на отдельных тестовых участках. Целью таких исследований является фиксация трансформаций, происходящих под воздействием мелиорации, ветровой и водной эрозии, а также в результате применения удобрений и химических средств защиты растений. Областные инженерно-исследовательские станции с пятилетней периодичностью проводят агрохимические обследования, чтобы отслеживать объемы использования химикатов в аграрном секторе.

Статистика свидетельствует, что эрозии подвержены 491,2 тысячи гектаров сельскохозяйственных земель. Помимо этого, деградация, вызванная водной эрозией, отмечена на площади 1,4 млн га. Что касается загрязнения почв, то контроль за накоплением поллютантов организован в 45 городах вблизи крупных производств и транспортных магистралей. В перечень отслеживаемых веществ входят 9 наименований; результаты анализов фиксируют локальное превышение содержания кадмия, свинца, цинка и нефтепродуктов в урбанизированных зонах. Фоновое состояние почв оценивается на 100 контрольных точках.

Радиационный мониторинг

Слежение за радиационной обстановкой включает в себя ежедневные замеры мощности гамма-излучения на 41 посту, учет выпадений радионуклидов из атмосферы на 30 станциях и анализ радиоактивных аэрозолей в воздушной среде 6 городов. В зонах влияния Чернобыльской, Игналинской, Ровенской и Смоленской АЭС развернуты автоматизированные системы контроля. Радионуклидное загрязнение поверхностных вод (цезий-137, стронций-90) отслеживается с ежемесячной периодичностью в пяти точках на реках Днепр, Сож, Припять, Ипуть и Беседь.

Почвенный радиационный мониторинг осуществляется на 52 объектах, включающих 38 реперных участков и 14 ландшафтно-геохимических полигонов (рис. 1).

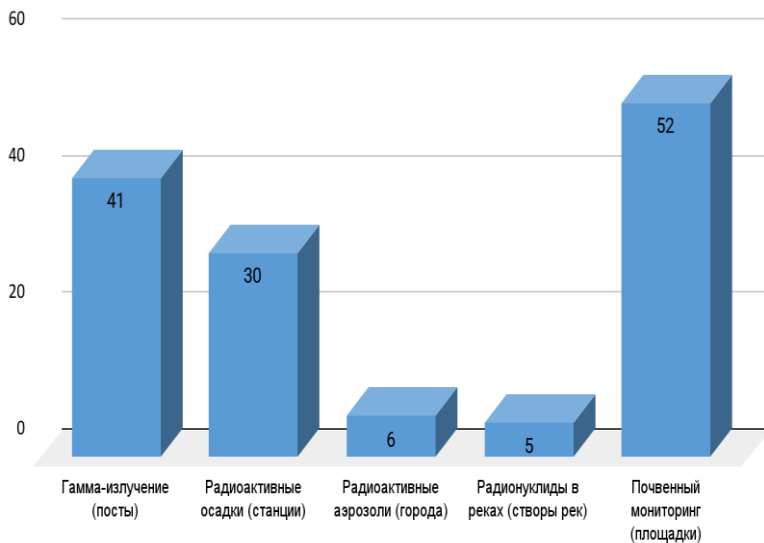


Рисунок 1 – Распределение объектов радиационного мониторинга в Беларуси

С момента аварии на Чернобыльской АЭС (1986 г.) уровень гамма-фона стабильно снижается за счет естественного распада радионуклидов, однако в тридцатикилометровой зоне вокруг станции почвы по-прежнему демонстрируют повышенное содержание цезия-137. Среднегодовые показатели содержания радионуклидов в речной воде находятся в пределах допустимых значений для питьевых источников. Контроль продукции сельского хозяйства обеспечивается широкой сетью ведомственных лабораторий.

Сохранение биоразнообразия и наблюдение за лесами

Регулярная оценка состояния лесов проводится с использованием сетки 16×16 км (покрывает 90% лесного фонда), а также по более детальным сеткам 8×8 и 4×4 км. Методологическая база опирается на рекомендации Международной программы сотрудничества по лесам (ICP Forests) и стандарты Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО). В окрестностях крупных промышленных узлов фиксируется влияние выбросов на древесную растительность. Дополнительно контролируются лесные и болотные массивы, испытывающие нагрузку в связи с мелиоративными мероприятиями.

Наряду с наземными обследованиями широко применяются методы дистанционного зондирования. Сеть мониторинга луговых экосистем представлена 33 действующими и 42 перспективными участками наблюдений. Изучение высшей водной флоры ведется в ограниченном объеме — на 7 озерах и 6 реках, несмотря на то, что изначальные планы предполагали охват 50 озер и 23 рек.

Система мониторинга животного мира находится в стадии становления; основное внимание уделяется хозяйственно ценным и редким видам. Ключевые площадки для таких наблюдений расположены в Березинском заповеднике, Беловежской пуще, Припятском национальном парке и Полесском радиационно-экологическом заповеднике.

Локальный мониторинг

С 2000 года ведется планомерная работа по созданию системы локального мониторинга, предназначенной для регулярной оценки воздействия конкретных хозяйствующих субъектов на окружающую среду. Данные, получаемые в этом сегменте, позволяют судить о соблюдении природоохранных требований и оперативно идентифицировать источники негативного воздействия.

Нормативной базой в 2026 году служит постановление Министерства природных ресурсов № 59, вступившее в силу 28 октября 2025 года. Этот документ внес коррективы в ранее действовавшее постановление № 5 (2017 г.), уточнив перечень наблюдательных точек, их расположение, а также параметры и график отбора проб для юридических лиц.

Предприятия передают полученные сведения в информационно-аналитический центр двумя способами: либо в течение 15 календарных дней после проведения измерений, либо в автоматическом режиме через Республиканскую информационную систему автоматизированного мониторинга окружающей среды (РИСАМОС).

В 2026 году система объединяет 486 пунктов наблюдения, обеспечивая сбор данных о выбросах в атмосферу и сбросах сточных вод. Развитие этого направления повышает прозрачность экологической отчетности и качество контроля со стороны надзорных органов.

В декабре 2025 года правительством утверждена Государственная программа «Экология» на 2026-2030 годы. Основными её направлениями являются повышение качества охраны окружающей среды и обеспечение рационального природопользования.

Таким образом, проведенный анализ подтверждает, что в Республике Беларусь создана и успешно функционирует комплексная система мониторинга окружающей среды, интегрирующая наблюдения за различными компонентами природной среды в единую информационную сеть. Существующие недостатки в некоторых направлениях определяют вектор дальнейшего совершенствования системы. Приоритетными задачами на перспективу являются цифровизация измерительных процессов и усиление контроля за соблюдением природоохранных норм.

Литература:

1. Мониторинг атмосферного воздуха : [сайт]. – Мн., 2008–2026. – URL: <https://rad.org.by/articles/vozduh/monitoring-atmosfernogo-vozduha> (дата обращения: 13.03.2026).
2. Схема размещения пунктов мониторинга атмосферного воздуха [сайт]. – Мн., 2008–2026. – URL: <https://rad.org.by/snob/shema-razmescheniya-punktov-monitoringa-atmosfernogo-vozduha.html> (дата обращения: 10.03.2026).
3. ИАЦ локального мониторинга - <https://analitcentre.by/napravleniya-deyatelnosti/iats-lokalnogo-monitoringa/> (Дата обращения: 26.02.2026).
4. Радиационно-экологический мониторинг :[сайт]. – Мн., 2008–2026. – URL: - <https://belgidromet.by/ru/eco-radio-ru> (дата обращения: 19.03.2026)
5. О Государственной программе "Экология" на 2026 - 2030 годы : [сайт]. – Мн., 2008–2026. – URL: <https://government.gov.by/index.php/news/pravitelstvom-utverzhdena-gosprogramma-ekologiya-na-2026-2030-gody> (дата обращения: 19.03.2026).

ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЧИЩЕННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НУЖД

Маршкова С.А., студент

Научный руководитель Вершиловский В.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассматривается повторное использование технологической воды на дробильно-сортировочных заводах (ДСЗ), производящих высококачественный щебень, а также процессы мокрого грохочения и промывки, где ключевой задачей является очистка от глины и песка.

Ключевые слова: завод дробильно-сортировочный, мокрый щебень, мокрое грохочение, очистка от глины и песка, отстойники.

В современной индустрии производства нерудных строительных материалов дробильно-сортировочные заводы играют ключевую роль. Для получения щебня, соответствующего высоким стандартам качества, обязательной операцией является промывка. Технология получения мокрого щебня включает интенсивную очистку зёрен от глины и пылеватых частиц.

Настоящая схема переработки включает в себя мокрое грохочение и промывку в специальном оборудовании. Эти процессы характеризуются высоким водопотреблением, поскольку образующиеся сточные воды представляют собой полидисперсную суспензию. Сброс вод без очистки запрещён, а использование свежей воды экономически нецелесообразно. Рациональным решением является организация оборотного водоснабжения, при котором загрязнённая вода поступает в специальные гидротехнические сооружения, где вода в водоотстойнике отстаивается и используется повторно в технологическом цикле.

На дробильно-сортировочном предприятии замкнутый цикл водоснабжения можно разделить на три основных этапа (рис. 1):

1. Формирование стоков в цикле производства мокрого щебня.

Исходная горная масса, поступающая на переработку, содержит примеси (глины, ил, песок), которые ухудшают качество готового щебня. Для получения чистого продукта применяют агрегаты мокрого грохочения и промывки.

На практике используются несколько типов оборудования:

1.1. Барабанные грохоты – представляют собой вращающийся барабан, куда одновременно попадает щебень и вода.

1.2. Корытные мойки – это оборудование, которое используется для удаления пылеватых, илистых и глинистых частиц из щебня, гравия, песка для улучшения их потребительских свойств.

1.3. Грохоты с орошением: материал сортируется на ситах, а сверху под давлением через форсунки подаётся вода, которая смывает загрязнения в поддон.

2. Гидравлика отстойника.

Система отстойников работает по принципу гравитационного осаждения: твёрдые частицы выпадают в шламовый осадок, обеспечивая оптимальный режим течения воды, при котором взвешенные частицы выпадают в осадок.

Типы отстойников для нужд дробильно-сортировочных заводов:

- Горизонтальные отстойники.
- Пруды-отстойники.
- Тонкослойные отстойники.

3. Возвращение в цикл и повторное применение.

Осветлённая вода из отстойника самотёком или насосам подаётся в резервуар чистой воды, а оттуда мощными насосами снова направляется в производство.

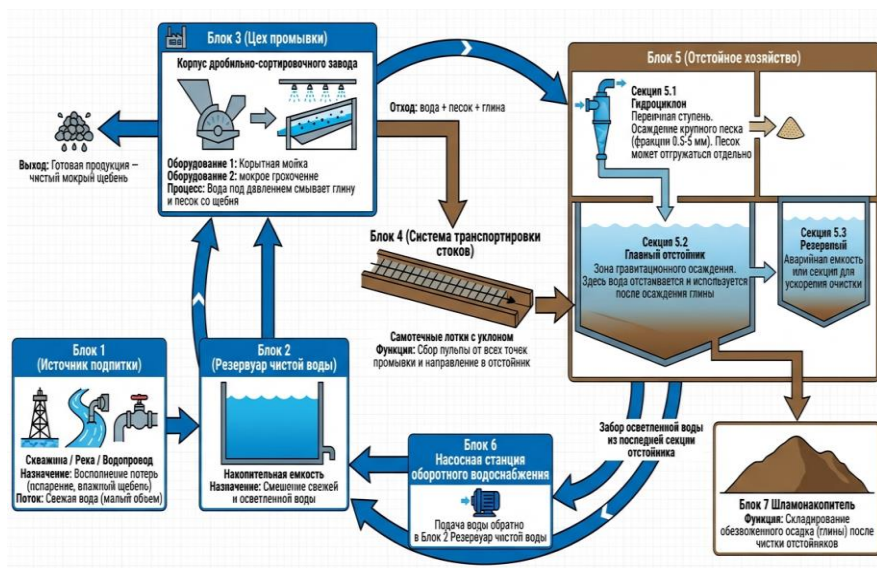


Рисунок 1 – Общая блок-схема водооборота

Для ускорения очистки от глины и песка и повышения качества осветлённой воды применяются многосекционные методы. В современных проектах применяются многосекционные отстойник, где вода в

водоотстойнике отстаивается и используется по секциям поочерёдно, что позволяет проводить очистку одной секции без остановки производства.

При повторном использовании воды необходимо учитывать её влияние на конечный продукт – мокрый щебень.

Влияние на качество промывки: высокое содержание глинистых частиц в оборотной воде приводит к вторичному загрязнению продукта, поэтому требуется постоянный контроль эффективности осветления.

Влияние на оборудование: абразивные частицы песка, остающиеся в воде, ускоряют износ сит грохотов и рабочих органов насосного оборудования.

В мировой практике, в частности на предприятиях по переработке строительных отходов и нерудных материалов, активно внедряются компактные модульные установки осветления. Такая организация процесса обеспечивает:

1. Снижение потребления природной воды из источников.
2. Стабильное качество мокрого щебня, так как подача воды идёт с постоянными параметрами.
3. Геологический аспект: учёт свойств породы при проектировании водооборота.

Повторное использование очищенной воды на дробильно-сортировочных заводах является обязательным условием рентабельного и экологического производства щебня.

Процессы получения мокрого щебня, включающие мокрое грохочение и промывку, требуют больших объёмов воды. Организация замкнутого цикла, где вода проходит этапы очистки от глины и песка, является единственной альтернативой прямому сбросу.

Литература:

1. Черкасов, В.Г. Методологические основы построения системы кондиционирования сточных и оборотных вод при ведении горных работ / В.Г. Черкасов, В.П. Мязин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 11. – С. 215-223.
2. Когановский А.М. Очистка и использование промышленных сточных вод в промышленном водоснабжении/ А.М. Когановский, Н.А. Клименко. М.: Химия, 2017. – С. 287.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Махаров Э.И., студент

Научный руководитель Морзак Г.И.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье на основе Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 года анализируются угрозы безопасности жизнедеятельности и предлагаются пути их минимизации через экологизацию экономики, цифровизацию и формирование культуры безопасности.

Ключевые слова: безопасность жизнедеятельности, устойчивое развитие, экологическая безопасность, техногенные риски, зеленая экономика, циркулярная экономика, человеческий потенциал, цифровизация, Национальная стратегия устойчивого развития.

Обеспечение безопасности жизнедеятельности человека является неотъемлемой составляющей устойчивого развития любого государства. В Республике Беларусь данный тезис закреплён в Национальной стратегии устойчивого развития на период до 2040 года (далее – НСУР-2040), где определено, что главной ценностью страны является человек, а ключевой вызов – обеспечение экологически благоприятных условий для жизнедеятельности населения [1]. В данном документе разработана модель устойчивого развития, определены цели и установлены направления эффективного долгосрочного развития страны. На рисунке 1 представлена структура концепции устойчивого развития государства [2].

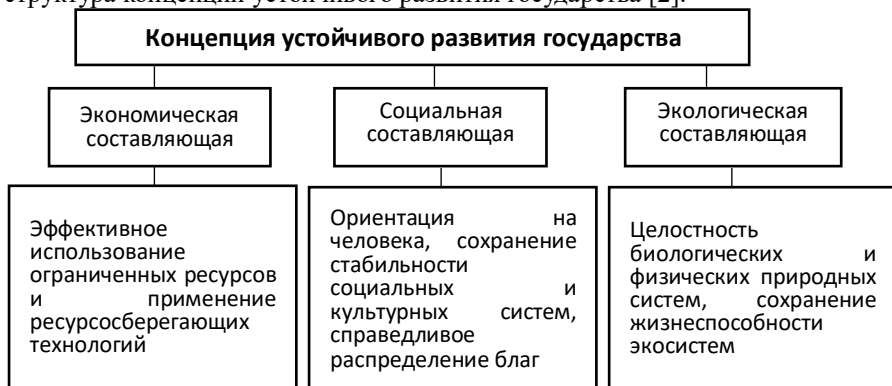


Рисунок 1- Структура концепции устойчивого развития государства

Цель исследований – на основе анализа положений НСУР-2040 и дополнительных источников выявить современные угрозы безопасности жизнедеятельности в Беларуси и обосновать системный подход к их минимизации. Основные направления НСУР-2040 отражены на рисунке 2.



Рисунок 2-Основные направления НСУР-2040

В соответствии с НСУР-2040 к основным угрозам безопасности жизнедеятельности выделяет три группы вызовов, непосредственно влияющих на безопасность человека.

1. *Демографические вызовы.* Как указано в документе, «демографическое старение и ухудшение естественного прироста населения, высокий уровень смертности в трудоспособном возрасте – ключевые вызовы для устойчивого развития страны». Ожидаемая продолжительность жизни в 2018 г. составила 74,5 года (цель на 2040 г. – 80,2). Достижение этого показателя невозможно без снижения смертности от внешних причин (ДТП, производственный травматизм, отравления) и формирования самосохранительного поведения.

2. *Экологические угрозы.* В НСУР-2040 констатируется, что «актуальными остаются: деградация земель и химическое загрязнение почв (2,6% территории - эродированные), загрязнение 12,1% территории страны радионуклидами (цезий-137), загрязнение воздушного бассейна крупных городов и водных ресурсов». Отмечается рост выбросов от стационарных

источников [3]. Эти факторы напрямую влияют на качество среды обитания человека.

3. *Техногенные и производственные опасности.* Низкая производительность труда (второй вызов НСУР-2040) сочетается с высокой энерго/материалоёмкостью производства, что повышает риск аварий. Переход на альтернативные источники энергии может уменьшить техногенную нагрузку, однако такой процесс сопровождается необходимостью строгого соблюдения норм безопасности при работе с новыми видами топлива [4].

Экологическая безопасность как основа жизнедеятельности заключается в улучшении охраны окружающей среды и обеспечение экологической безопасности по следующим приоритетам:

1. *Экологически безопасная среда проживания.* Предусматривается обеспечение качественного атмосферного воздуха в городах, равного доступа к безопасной питьевой воде, внедрение «зелёных» технологий. Для этого планируется совершенствование системы экономической мотивации (налоговые инструменты, экологический менеджмент).

2. *Переход к циркулярной экономике.* НСУР-2040 ставит задачу перехода к рациональным моделям потребления и производства, концепции Zero Waste («ноль отходов»). Это предполагает минимизацию образования отходов, максимальное извлечение вторичных ресурсов и вовлечение их в хозяйственный оборот. Такой подход напрямую снижает загрязнение почвы, воды и воздуха – основных сред жизни человека.

3. *Адаптация к климатическим изменениям.* В документе указано, что без значительного сокращения выбросов средние температуры могут повыситься на 5°C к 2100 г., что создаст риски для продовольственной и водной безопасности. Поэтому Беларусь намерена развивать систему защиты населения от вредных воздействий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Значительное внимание уделено стратегии управления развитием человеческого потенциала. Новая парадигма качественного развития человеческого потенциала содержит важнейшие положения для формирования культуры безопасности:

1. *Образование и просвещение* В НСУР-2040 подчёркивается, что качество образования – это основа успешного жизнеустройства человека и его активной гражданской позиции. Применительно к безопасности это означает необходимость:

- обучения действиям при ЧС с дошкольного возраста;
- формирования навыков первой помощи и самоспасания;
- развития цифровой грамотности для распознавания фейков при ЧС.

2. *Здоровый образ жизни и снижение рисков* Государственная политика направлена на реализацию принципа «Здоровье для всех». Планируется

усиление профилактической работы по предотвращению наркомании, курения и алкоголизма, особенно среди молодежи. Это напрямую снижает смертность от внешних причин, которая в Беларуси остаётся высокой.

3. *Психологическая безопасность и информационная гигиена* НСУР-2040 особо выделяет задачу обеспечения информационной безопасности детства, профилактику интернет-зависимости, предупреждение рисков вовлечения в противоправную деятельность. Взрослое население также нуждается в защите от дезинформации, которая может спровоцировать панику при реальной угрозе.

Цифровая трансформация и построение интеллектуальной экономики содержит важные аспекты для безопасности жизнедеятельности, а именно [5]:

- создание единой информационно-аналитической системы здравоохранения (телемедицина, электронные карты) повышает доступность помощи, но требует защиты персональных данных;

- развитие «умных городов» (интеллектуальные системы управления транспортом, ЖКХ, оповещением) повышает эффективность реагирования на ЧС, но создаёт уязвимость для кибератак;

- роботизация производства снижает риск для человека на опасных участках, но требует переподготовки кадров.

Современная интеллектуальная экономика должна базироваться на устойчивой энергетике и энергоэффективности. Их использование расширится в Беларуси в рамках перехода к «зелёной экономике». Однако с точки зрения безопасности жизнедеятельности необходимо учитывать:

- риски при производстве и хранении биогаза (взрывоопасность метана);

- пожароопасность при обращении с пеллетами и топливными брикетами;

- необходимость специального обучения персонала, работающего с нетрадиционным топливом.

Следовательно, внедрение инноваций в энергетику должно сопровождаться разработкой новых нормативов безопасности и систем мониторинга.

В НСУР-2040 заявлено, что новым усиливающимся риском широкой цифровизации является обострение вероятности кибератак и киберугроз, что потребует дополнительных расходов на кибербезопасность.

Таким образом, Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 года предлагает целостную систему мер по обеспечению безопасности жизнедеятельности человека, базирующуюся на трёх компонентах: социальном (развитие человеческого потенциала), экономическом (цифровая трансформация и зелёная экономика) и экологическом (снижение загрязнения, переход к циркулярной экономике).

Основные выводы и рекомендации:

1.*Приоритет профилактики.* Как следует из НСУР-2040, ключевой задачей является формирование самосохранительного поведения и культуры безопасности через образование и СМИ.

2.*Экологизация экономики:* переход к циркулярной модели и возобновляемой энергетике должен сопровождаться жёсткими стандартами безопасности на всех этапах – от производства до утилизации.

3.*Цифровая защита.* Развитие «умных» систем жизнеобеспечения требует синхронного наращивания кибербезопасности и обучения населения противодействию дезинформации.

4.*Межведомственная координация.* Достижение целей НСУР-2040 по снижению смертности и травматизма невозможно без объединения усилий МЧС, Минздрава, Минобразования, Минприроды и местных органов власти.

Реализация стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 года позволит выйти на ожидаемую продолжительность жизни 80,2 года, снизить техногенную нагрузку на среду обитания и создать экологически безопасные условия для жизнедеятельности каждого человека. Однако успех будет зависеть от активной позиции самого населения – его готовности соблюдать нормы безопасности, осваивать новые знания и участвовать в построении устойчивого общества.

Литература:

1.Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2040 года. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-razvitija-respubliki-belarus-na-period-do-2040-goda.pdf>. — Дата доступа: 21.03.2026.

2.Захаров В. М. Устойчивое развитие: экология и экономика: учеб. пособие /В. М. Захаров, И. Е. Трофимов. – М.: Московский университет им.С.Ю. Витте / Центр устойчивого развития и здоровья среды ИБР РАН, 2021 – 228 с.

3.Башлай, А.Г. Управление рисками в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера / А.Г. Башлай, М. И. Богданович. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2017. – 196 с.

4.Маслова, Т.В. Экологическая безопасность и устойчивое развитие регионов / Т. В. Маслова, Е. А. Сидорова. – М.: Научная мысль, 2018. – 180 с.

5.Сергеев, А.Н. Цифровая трансформация систем безопасности жизнедеятельности / А. Н. Сергеев, Д. В. Ткаченко. – СПб.: Политех-Пресс, 2022. – 144 с.

ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Мельник И.А., студент

Научный руководитель Горбунова В.А.

Белорусский национальный технический университет

В данной статье рассматриваются некоторые антропогенные пути загрязнения тяжелыми металлами окружающей среды, в том числе в Республике Беларусь, мероприятия по снижению и распространению этих выбросов, в том числе за счет геохимических барьеров.

Ключевые слова: тяжелые металлы, водные ресурсы, промышленное производство, мониторинг, геохимические барьеры.

Тяжелые металлы являются одними из самых опасных загрязнителей окружающей среды. Тяжелые металлы проявляют биотоксичность через ряд ключевых механизмов. Нарушение целостности клеточных мембран приводит к изменению их проницаемости и потере клеткой жизненно важных для организма веществ, что в дальнейшем блокирует метаболические процессы. Повреждение структуры ДНК и РНК вызывает мутагенные эффекты и нарушения процессов репликации. Эти молекулярные нарушения в совокупности приводят к системным патологиям органов и тканей у различных биологических видов. Токсическое действие тяжелых металлов зависит от концентрации, их форм в природной среде: от степени окисления, подвижности катионов и др.

Источники загрязнения тяжелыми металлами окружающей среды делятся на природные и антропогенные. Природные источники загрязнений – литогенное нарушение баланса между тяжелыми металлами и фазами-носителями. Основными антропогенными источниками загрязнения тяжелыми металлами являются промышленные выбросы, сельскохозяйственные стоки, содержащие минеральные удобрения и средства защиты растений, транспортные эмиссии, свалки промышленных и твердых бытовых отходов вокруг крупных городов.

Перенос тяжелых металлов осуществляется преимущественно атмосферными потоками и миграцией по речным системам, что способствует распространению токсичных металлов за пределы источников эмиссии. Указанные механизмы осложняют точную локализацию первичных источников загрязнения и требуют комплексного мониторинга. Миграционная подвижность тяжелых металлов в почвенных экосистемах напрямую зависит от гранулометрического состава, уровня кислотности и концентрации органического вещества в почвах. Тяжелые металлы демонстрируют

повышенную аккумуляцию в почвах с высоким содержанием глинистых частиц благодаря их высокой сорбционной емкости, тогда как песчаные почвы характеризуются более интенсивным вымыванием загрязнителей. Кислотно-основные условия (рН) определяют степень растворимости соединений металлов: в кислых средах усиливается миграция кадмия и цинка, тогда как нейтральные и щелочные почвы способствуют их иммобилизации.

Органические вещества, особенно почвенные гумусовые кислоты, образует устойчивые комплексные соединения с ионами металлов, снижая их биодоступность и миграционную активность. В водных экосистемах могут протекать следующие физико-химические процессы с участием ионов тяжелых металлов: гидролиз, сорбция на взвешенных частицах, комплексообразование с органическими веществами, присутствующими в природных водах. Эти процессы влияют на формы нахождения тяжелых металлов, определяя их токсичность, склонность к миграции.

Промышленное производство представляет собой ключевой антропогенный источник поступления тяжелых металлов в экосистемы Беларуси. Крупные металлургические и машиностроительные предприятия генерируют значительные объемы загрязняющих веществ через выбросы дымовых газов и сбросы промышленных сточных вод. В процессе металлообработки и производства сплавов в окружающую среду поступают соединения цинка, меди, никеля, хрома и др. Тяжелые металлы накапливаются в почве, попадают в поверхностные и грунтовые воды, за счет миграции этих металлов могут расширяться зоны загрязнений.

Горнодобывающая промышленность вносит существенный вклад в загрязнение природных сред металлами за счет формирования отвалов и дренажных вод. При разработке месторождений происходит выщелачивание цинка, свинца и кадмия из минеральных пород с последующим их переносом в грунтовые воды и поверхностные водоемы. Высокие концентрации тяжелых металлов в зоне горных выработок вызывают деградацию прилегающих почвенно-растительных комплексов.

Разработка калийных месторождений Старобинского и Петриковского районов, вносит существенный вклад в загрязнение водных ресурсов. Технологические процессы сопровождаются образованием сточных вод, содержащих повышенные концентрации свинца, кадмия и цинка. Сброс этих промышленных стоков в природные водоемы приводит к изменению гидрохимического режима рек. Наибольшая антропогенная нагрузка фиксируется в Гомельской области (нефтеперерабатывающий комплекс) и Минской области (калийные производства). Эти регионы характеризуются устойчивым превышением ПДК по кадмию и свинцу в почвенно-водных системах. Природные воды бассейна р.Днепр содержат железо в значительных концентрациях, превышающих ПДК, особенно в районе г. Речица.

Источником являются, прежде всего, крупные предприятия Жлобина, Рогачева, Могилева и Орши [1].

Внедрение замкнутых водооборотных циклов, оптимизация технологических процессов, разработка современных методов очистки сточных вод и атмосферных выбросов – все это способствует снижению эмиссии тяжелых металлов в окружающую среду. Переход на рециркуляционные системы водоснабжения позволяет сократить объем сбрасываемых стоков на предприятиях машиностроительного и гальванического профиля на 60-80%.

Входной контроль сырья и обязательная предварительная его очистка, также внедрение автоматизированных систем контроля обеспечивают снижение фоновых выбросов кадмия и свинца на 25-30%. Снизить миграцию тяжелых металлов в почвах и водах можно путем создания искусственных геохимических барьеров, которые позволяют локализовать территорию загрязнения ТМ, а также существенно снизить их концентрацию в почве [2].

Искусственные геохимические барьеры основаны на применении материалов, способных иммобилизовать ионы тяжелых металлов, например связать их в комплексные или плохорастворимые в воде соединения. Для этих целей можно использовать различные вещества осадители - фосфатные, карбонатные, силикатные, в том числе техногенные отходы на их основе. Проектирование геохимических барьеров в Республике Беларусь требует учета специфики почвенно-гидрогеологических условий, включая кислотность, гранулометрический состав почв, уровень грунтовых вод. Также важна оценка долговечности материалов и риска вторичного высвобождения металлов при изменении окислительно-восстановительных условий.

Литература

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь/ Статистический сборник. – Минск, -2014 – 263с.

2. Блинов С.М. Основы применения геохимических барьеров для охраны окружающей среды: дисс. канд. геолого-минер. наук: 11.00.11 – Пермь. -2000-160с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ И РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Мельник И. А., Степуленок П.С., студенты
Научные руководители Скуратович И.В., Зеленуха Е.В.
Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье проанализированы перспективы развития атомной энергетики в глобальном масштабе и в Республике Беларусь. Рассмотрена доля ядерной генерации в мировой и белорусской энергетике, связь с низкоуглеродным трендом, устройство реактора ВВЭР-1200, планы по строительству третьего энергоблока БелАЭС, а также географическое расположение станций. Сделан вывод о стратегической роли атомной энергетики в обеспечении энергетической безопасности и устойчивого развития.

Ключевые слова: атомная энергетика, ВВЭР-1200, низкоуглеродный тренд, Белорусская АЭС, экологическая безопасность, глобальная энергетика, энергоблок, Республика Беларусь.

Стремительное развитие искусственного интеллекта (ИИ) привело к резкому росту энергопотребления центров обработки данных (дата-центров). По данным IEA, в 2024 году дата-центры потребили около 415 ТВт·ч электроэнергии (примерно 1,5 % мировой выработки). К 2030 году это потребление, по базовому сценарию, вырастет почти в два раза — до 945 ТВт·ч, а в отдельных прогнозах превысит 1000 ТВт·ч. Основным драйвером роста выступают ИИ-оптимизированные серверы, потребление которых может увеличиться почти в пять раз.

Такой рост создаёт значительную дополнительную нагрузку на глобальные энергосистемы и усиливает актуальность перехода к низкоуглеродным источникам энергии. Компенсировать растущее потребление только за счёт возобновляемых источников (солнечная и ветровая энергия) сложно из-за их непостоянности. Именно поэтому атомная энергетика, обеспечивающая стабильную генерацию 24/7 с минимальным углеродным следом, становится одним из наиболее эффективных решений для удовлетворения спроса дата-центров без существенного увеличения выбросов CO₂.

Атомная энергетика играет ключевую роль в современном мире как надежный, низкоуглеродный и высокотехнологичный источник электроэнергии. В условиях растущего спроса на энергию и необходимости снижения выбросов парниковых газов она становится одним из основных инструментов достижения целей Парижского соглашения по климату. Цель

работы – проанализировать перспективы развития атомной энергетики в мире и Республике Беларусь с учетом актуальных данных 2025–2026 гг.

По данным Международного энергетического агентства и Всемирной ядерной ассоциации, в 2025 году доля атомной энергетики в мировой выработке электроэнергии составляет около 9–10 %. Ядерные станции производят порядка 2,8 трлн кВт·ч электроэнергии в год, что делает атомную генерацию одним из ведущих низкоуглеродных источников наряду с гидроэнергетикой. В глобальном энергобалансе атомная энергетика занимает третье место после угольной и гидроэнергетики, обеспечивая стабильную базовую нагрузку, в отличие от переменчивых возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Особое значение атомная энергетика приобретает в контексте низкоуглеродного тренда. Ядерные технологии являются единственным крупномасштабным низкоуглеродным источником с регулируемой генерацией, способным работать в базовом режиме 24/7 независимо от погодных условий. Согласно докладам МАГАТЭ, атомная энергетика уже позволила избежать выбросов более 70 Гт CO₂ за последние десятилетия. В условиях перехода к углеродной нейтральности к 2050–2060 гг. многие страны (Китай, Индия, Франция, США) активно строят новые энергоблоки и продлевают сроки эксплуатации существующих. К 2026 году ожидается рост глобальной атомной генерации на 10 % по сравнению с 2023 годом за счет ввода новых мощностей в Азии и Европе. Перспективы развития связаны с технологиями поколения III+ и малыми модульными реакторами (ММР), которые повышают безопасность и экономическую эффективность. Данные по доле атомной энергетике в мире представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Общая характеристика атомной энергетики

Доля атомной энергетики в мире	9,0 %
Общая выработка ядерной энергии	≈ 2670 ТВт·ч
Установленная мощность	376 ГВт (416 реакторов)
Топ-5 стран по мощности	США, Франция, Китай, Россия, Южная Корея

В Республике Беларусь атомная энергетика стала ключевым элементом энергетической независимости. Белорусская АЭС (Островец) с двумя энергоблоками ВВЭР-1200 общей мощностью 2400 МВт обеспечивает около

40 % всей выработки электроэнергии страны. Это позволило полностью отказаться от импорта электроэнергии, снизить потребление природного газа на 14–16 млрд м³ в год и сократить выбросы парниковых газов более чем на 30 млн тонн. Доля атомной генерации вывела Беларусь в число мировых лидеров по этому показателю.

Важной вехой перспектив развития стало решение о строительстве третьего энергоблока БелАЭС. В ноябре 2025 года по итогам совещания у Президента Республики Беларусь принято решение о сооружении дополнительного блока. В 2026 году планируется подписание рамочного соглашения с госкорпорацией «Росатом». Запуск третьего энергоблока ожидается в период 2035–2038 гг. Это позволит еще больше повысить долю атомной энергетики в энергобалансе и укрепить экспортный потенциал электроэнергии.

Реактор ВВЭР-1200, установленный на БелАЭС, относится к поколению III+ и представляет собой водо-водяной энергетический реактор под давлением. В его устройстве основными элементами являются: корпус реактора, активная зона с 163 тепловыделяющими сборками (ТВС), содержащими топливные элементы (ТВЭЛы) на основе обогащенного урана, система управления и защиты (СУЗ) с 121 поглощающими стержнями, а также четыре парогенератора и главные циркуляционные насосы. Тепло от цепной реакции деления ядер урана передается теплоносителю (воде под давлением 16,2 МПа), который нагревается до 329 °С, затем в парогенераторе производит пар для турбины. Реактор обладает повышенной безопасностью благодаря пассивным системам охлаждения и защите от внешних воздействий (самолет, землетрясение).

Радиационный мониторинг, информирование граждан о правилах поведения при радиационных авариях и мерах индивидуальной защиты остаётся необходимым элементом государственной системы экологической безопасности.

Для наглядного представления географического расположения атомных мощностей в регионе приведена карта (рисунок 1).

Перспективы развития атомной энергетики в Беларуси связаны не только с расширением БелАЭС, но и с соблюдением строгих норм радиационной безопасности, развитием отечественного кадрового потенциала и интеграцией в международные стандарты МАГАТЭ. Атомная энергетика способствует диверсификации топливно-энергетического баланса, снижению зависимости от ископаемого топлива и достижению целей национальной стратегии устойчивого развития.



Рисунок 1 - карта расположения АЭС в Европе

В заключение следует подчеркнуть, что атомная энергетика является не просто технологическим решением, а ключевым фактором обеспечения баланса между экономическим ростом, энергетической безопасностью и охраной окружающей среды в XXI веке. Её устойчивое развитие как в мире, так и в Республике Беларусь позволит эффективно решать глобальные вызовы современности, способствовать достижению целей устойчивого развития и гарантировать благополучие будущих поколений.

Литература:

1 Международное состояние и перспективы ядерной энергетики – 2025: доклад МАГАТЭ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc69-inf4_rus.pdf (дата обращения: 15.04.2026).

2 Совещание о результатах работы БелАЭС и строительстве новых латомных мощностей [Электронный ресурс] / Официальный сайт Президента Республики Беларусь. – URL: <https://president.gov.by/ru/events/sovesanie-o-rezul-tatah-raboty-belaes-uvelicenii-elektropotreblenia-i-predlozeniah-o-stroitel-stve-novyh-atomnyh-mosnostej> (дата обращения: 15.04.2026).

3 Ролевич И.В., Морзак Г.И., Зеленуха Е.В. Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность: учебно-методическое пособие. – Минск, 2020. – 109 с.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОЦЕССА ГИДРОКРЕКИНГА НЕФТИ ОТ ФЕНОЛА

Менделуц Н.А., бакалавр

Научный руководитель Желовицкая А.В.

**Казанский национальный исследовательский технологический
университет им. А.Н. Туполева - КАИ, Российская Федерация**

Предложенная технологическая схема очистки сточных вод гидрокрекинга от фенола, которая предусматривает последовательную реализацию стадий усреднения, удаления нефтепродуктов в нефтеловушке, механической фильтрации и адсорбционной доочистки. Предлагаемое техническое решение может быть использовано на нефтеперерабатывающих предприятиях для снижения содержания фенола в сточных водах процесса гидрокрекинга перед их дальнейшим отведением в системы канализации или водные объекты.

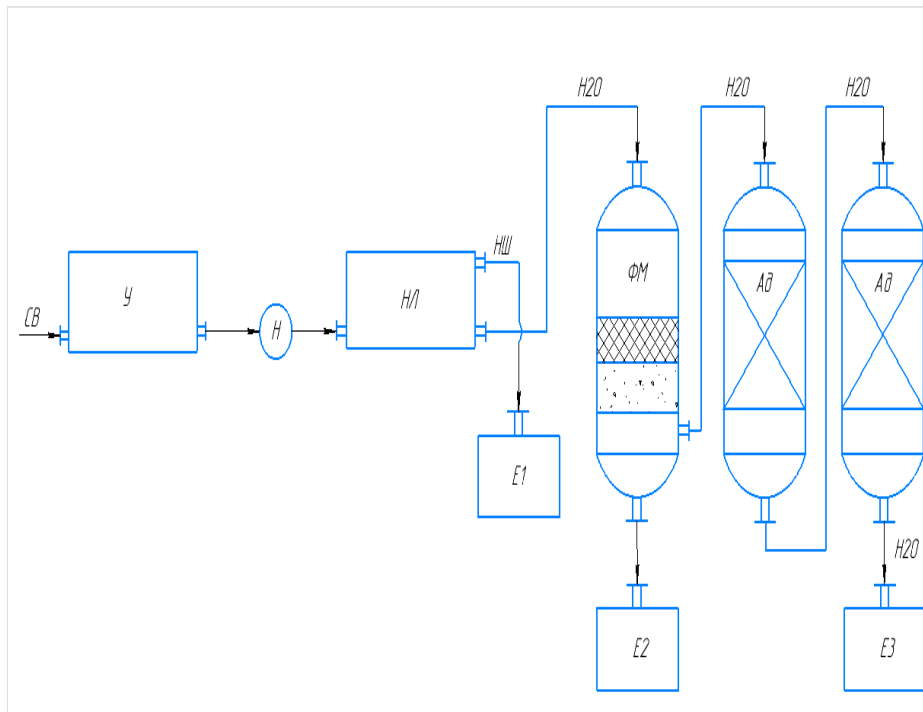
Ключевые слова: фенол, сточные воды, технологическая схема, этапы очистки, нефтеперерабатывающий завод, экологическая безопасность, очистка, гидрокрекинг, нефть, загрязнение.

Гидрокрекинг – представляет собой вторичный процесс переработки нефти, позволяет увеличить выход реактивного топлива. Направлен на получение из углеводородного сырья широкого ассортимента высококачественных компонентов основных нефтепродуктов – сжиженных газов, бензина, дизельного топлива, компонентов масел. Получаемые продукты отличаются пониженным содержанием серы, азота и металлов, а также характеризуются низкой коксуемостью [1].

Фенолы представляют собой класс органических соединений, в состав которых входят бензольное кольцо и одна или несколько гидроксильных групп. В природе эти вещества встречаются как в виде летучих форм (фенол, крезолы, ксиленолы), так и в виде многоатомных нелетучих соединений, к которым относятся резорцин, пирокатехин и гидрохинон [2].

Из-за присутствия в сточных водах нефтепродуктов и масел в технологическую схему необходимо включать блок предочистки. При сорбционной очистке чаще используют порошкообразные сорбенты, так как крупные молекулы СПАВ плохо проникают в поры гранулированных материалов. На НПЗ применяют одноступенчатые схемы (ввод сорбента перед отстойником или флотатором) и двухступенчатые (сначала обработка сорбентом в реакторе, затем реагентная очистка), что позволяет достичь более глубокой очистки и сократить расход реагентов [3].

Предлагаемая технологическая схема (рис.1) очистки сточных вод от фенола включает последовательное прохождение воды через усреднитель (У), насос (Н), нефтеловушку (НЛ), механический фильтр (ФМ) с двухслойной загрузкой (антрацит и кварцевый песок), два адсорбера (Ад) с возможностью регенерации сорбента и емкость для сбора нефтешлама (Е1), емкость для сбора осадка (Е2), емкость для очищенной воды (Е3).



У – усреднитель, НЛ – нефтеловушка, ФМ – фильтр механический,
Ад – адсорбер, Е1 – емкость для нефтешлама, Е2 – емкость для осадка,
Е3 – емкость для очищенной воды

Рисунок 1 – технологическая схема для очистки сточных вод от фенола

Технологическая схема работает следующим образом: сточная вода после установки гидрокрекинга сначала поступает в усреднитель (У), где выравниваются колебания концентрации фенола и других загрязняющих веществ, обеспечивая стабильную нагрузку на последующее оборудование.

Затем насос подает воду под давлением в нефтеловушку (НЛ), где за счет разности плотностей происходит отделение свободных нефтепродуктов и крупных взвесей, что необходимо для защиты последующих аппаратов от замасливания. После НЛ нефтешлам отправляется в отдельную емкость (Е1), а вода направляется в фильтр механический (ФМ) с двухслойной загрузкой, который задерживает оставшиеся мелкодисперсные взвешенные частицы, предотвращая забивание адсорберов. Осадок после ФМ поступает в емкость для осадка (Е2). Сточная вода поступает в первый адсорбер (Ад), где происходит удаление основной массы растворенного фенола. Частично очищенная вода направляется во второй адсорбер (Ад). Во втором адсорбере происходит доочистка воды. Второй адсорбер работает как «страховочный» - он улавливает фенол, который мог проскочить через первый адсорбер. Благодаря этому эффективность очистки значительно повышается.

Литература:

1. Гринвальд, И. И. Катализ в нефтехимическом синтезе [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. И. Гринвальд, Л. И. Бажан, Р. В. Капустин. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2021. – 122 с. – ISBN 978-5-502-01490-8. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/330620> (дата обращения: 15.12.2025).

2. Реутов, О.А. Органическая химия: в 4 ч. Ч. 3 / О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. – 8-е изд. – Москва: Лаборатория знаний, 2021. – 544 с. – ISBN 978-5-00101-336-5 (Ч. 3). – ISBN 978-5-00101-333-4.

3. Информационно-технологический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 8–2022 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказания услуг на крупных предприятиях». – Москва: Бюро НДТ, 2022. – 84 с.

РАЗРАБОТКА АДСОРБЕБРА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОЦЕССА ГИДРОКРЕКИНГА НЕФТИ ОТ ФЕНОЛА

Менделуц Н.А., бакалавр

Научный руководитель Желовицкая А.В.

**Казанский национальный исследовательский технологический
университет им. А.Н. Туполева - КАИ, Российская Федерация**

Предложена конструкция адсорбера для извлечения фенола из сточных вод гидрокрекинга. Аппарат выполнен в виде вертикальной колонны с подвижным слоем сорбента. Приведены основные конструктивные параметры. В качестве сорбента предлагается магнитопористый биоуголь из люфы (MPLB), обладающий высокой адсорбционной емкостью и возможностью быстрой сепарации.

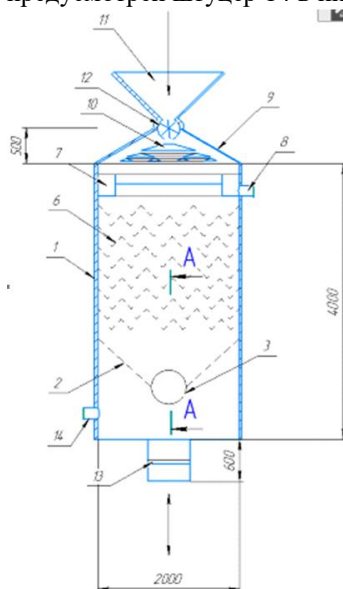
Ключевые слова: адсорбер, фенол, сорбент, сточные воды, нефть, очистка, биоуголь, гидрокрекинг, адсорбция.

Очистка фенолсодержащих сточных вод на большинстве предприятий осуществляется химическими, биологическими и физико-химическими методами. К физико-химическим методам извлечения фенолов относят непосредственно адсорбционную очистку, экстракцию, паровую обработку и т.д. [1].

К преимуществам использования физико-химических методов можно отнести: возможность удаления из сточных вод токсичных, биохимических неокисляемых органических загрязнений; достижение более глубокой и стабильной степени очистки; меньшие размеры сооружений; меньшая чувствительность к изменениям нагрузок; возможность полной автоматизации процесса; не связность с контролем за деятельностью живых организмов; более глубокая изученность кинетики некоторых процессов, а также вопросов моделирования, математического описания и оптимизации, что важно для правильного выбора и расчета аппаратуры [2].

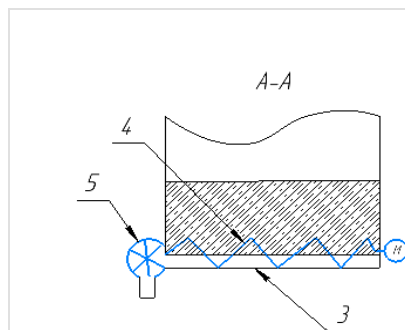
На основании патентно-реферативного анализа адсорбционных аппаратов, предлагается адсорбер (рис. 1) [3]. Адсорбер состоит из цилиндрического корпуса 1 с перфорированным ложным днищем 2 в форме перевернутой трапеции, образующим шнековую камеру 3 со шнеком 4 (рис. 2) и шлюзовым устройством 5. В центральной части корпуса в шахматном порядке установлены горизонтальные перфорированные перегородки 6 (рис. 3) с бортами, задерживающими адсорбент. Между перегородками формируются щели для зигзагообразного движения сорбента. В верхней части расположены кольцевой приемник очищенной воды 7 со штуцером 8, коническая крышка 9 и система концентрических колец 10 для равномерного распределения сорбента. Подача сорбента осуществляется из бункера 11 через

лопастной питатель 12. В днище адсорбера вмонтирован пульсатор 13. Для подачи загрязненной воды предусмотрен штуцер 14 в нижней части корпуса.



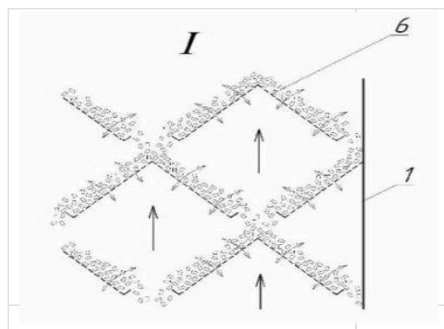
- 1 – цилиндрический корпус; 2 – перфорированное ложное днище;
 3 – шнековая камера; 6 – горизонтальные перегородки; 7 – перфорированный
 кольцевой приемник очищенной воды; 8 – штуцер; 9 – коническая крышка;
 10 – система концентрических колец; 11 – бункер; 12 – лопастной питатель;
 13 – пульсатор; 14 – штуцер, для подачи загрязненных вод

Рисунок 1 – Вертикальный адсорбер



- 3 – шнековая камера; 4 – шнек; 5 – шлюзовое устройство

Рисунок 2 – Шнековая камера



1 – цилиндрический корпус; 6 – горизонтальные перегородки
Рисунок 3 – Устройство горизонтальных перегородок

Принцип работы адсорбера: сточные воды подаются через штуцер 14 в нижнюю часть корпуса и под давлением поднимаются вверх. Гранулы сорбента из бункера 11 через питатель 12 поступают на систему колец 10, смачиваются и под действием силы тяжести опускаются вниз. На пути они проходят через горизонтальные перфорированные перегородки 6, которые обеспечивают зигзагообразное движение гранул. Борты на перегородках задерживают сорбент, увеличивая время контакта. Пульсатор 13 создает пульсации, формирующие микроструи через отверстия перегородок, что взрыхляет слой и улучшает массообмен. Отработанные гранулы собираются на ложном днище 2, поступают в шнековую камеру 3 и через шлюзовое устройство 5 направляются на регенерацию. Очищенная вода собирается в кольцевом приемнике 7 и отводится через патрубок 8.

Выбор данного аппарата обусловлен следующими факторами:

1. *непрерывность процесса очистки*: в отличие от адсорберов с непрерывным слоем, данный аппарат работает непрерывно – загрузка свежего и выгрузка отработанного сорбента происходит без остановки процесса.

2. *повышение эффективности использования сорбента*: горизонтальные перфорированные перегородки с бортами создают зигзагообразную траекторию движения гранул, что увеличивает время контакта сорбента с очищаемой водой и позволяет более полно использовать его сорбционную емкость.

3. *интенсификация массообмена*: пульсатор создает колебания давления, формируя микроструи через отверстия перегородок. Это турбулизировывает поток, обновляет поверхность контакта фаз и способствует проникновению загрязнителей в поры сорбента.

4. *автоматизация выгрузки и подачи сорбента*: шнековая камера и

шлюзовое устройство позволяют механизировать процесс удаления отработанного и дозированной подачи свежего сорбента.

Расчет конструктивных параметров адсорбера:

$$G = q_w (C_n - C_k) \cdot 10^{-3} = 10 \cdot (5 - 0,5) \cdot 10^{-3} = 0,045 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 45 \text{ г/ч} \quad (1)$$

Где G – масса фенола, извлекаемая за час, г/ч;

$$M_{\text{сорб}} = \frac{G}{q \cdot 10^{-3}} = \frac{0,045}{0,04} = 1,125 \text{ кг/ч} \quad (2)$$

Где $M_{\text{сорб}}$ – требуемая масса сорбента в аппарате (при полном насыщении);

q – емкость сорбента, мг/г;

$$M_{\text{сорб, сут}} = M_{\text{сорб}} \cdot 24 = 27 \quad (3)$$

Где $M_{\text{сорб, сут}}$ – требуемая масса сорбента в аппарате, за 24 часа непрерывной работы;

$$F = \frac{q_w}{v} = \frac{10}{5} = 2 \text{ м}^2 \quad (4)$$

Где F – площадь поперечного сечения адсорбера, м^2 ;

v – скорость фильтрации, м/ч;

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{8}{3,14}} = 2 \text{ м} \quad (5)$$

Где D – диаметр адсорбера, м;

$$V_{\text{сорб}} = F \cdot H = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ м}^3 \quad (6)$$

Где $V_{\text{сорб}}$ – объем загрузки сорбента в одном аппарате, м^3 ;

H – высота слоя, принимаем равной 1,5 м;

$$M_{\text{факт}} = V_{\text{сорб}} \cdot \rho_{\text{нас}} = 3 \cdot 500 = 1500 \text{ кг} = 1,5 \text{ т} \quad (7)$$

Где $M_{\text{факт}}$ – масса сорбента в одном аппарате, т;
 ρ – насыпная плотность сорбента, принимаем равной 500 кг/м³;

$$t = \frac{M_{\text{факт}} \cdot q}{G} = \frac{1500 \cdot 0,004}{0,045} = 1333 \text{ ч} = 55 \text{ сут} \quad (8)$$

Где t – время работы аппарата до насыщения, сут;

$$\begin{aligned} H_{\text{общ}} &= H_{\text{слоя}} + H_{\text{нижн}} + H_{\text{верх}} + H_{\text{бункер}} + H_{\text{днища}} = \\ &= 1,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 1,0 = 4 \text{ м} \end{aligned} \quad (9)$$

Где $H_{\text{общ}}$ – суммарная высота, м;

$H_{\text{нижн}}$ – высота нижней зоны (под ложным днищем), м;

$H_{\text{верх}}$ – высота верхней зоны (над слоем), м;

$H_{\text{бункер}}$ – высота бункера с питателем, м;

$H_{\text{днища}}$ – высота конического днища, м;

Литература:

1. Очистка фенолсодержащих стоков методом ультрафильтрации / А. В. Бусарев, А. V. Busarev, А. С. Селюгин [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2025. – № 4. – С. 54-58. – ISSN 3034-4689. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/374404> (дата обращения: 22.03.2026). – Режим доступа: для авториз. Пользователей
2. Хайновский, К. Б. Санитарная гидротехника: учебное пособие / К. Б. Хайновский. – Калининград: КГТУ, 2016. – 111 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/449546> (дата обращения: 06.03.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Патент № 2806348 Российская Федерация, МПК B01D 15/02 (2006.01), B01D 15/10 (2006.01), C02F 1/28 (2006.01). Адсорбер: №2023109833: заявл. 18.04.2023; опубл. 31.10.2023 / Иванов П. П., Семенов А. Г., Иванова Л. А., Михайлова Е. С., Пачкин С Г., Тимощук И. В.; заявитель [не указан] – [б.и.]: ил. – Текст электронный

Минвалиев И.А., ученик 11 класса

Научный руководитель Мингазетдинов И.Х.

**Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет
им. А. Н. Туполева – КАИ, Россия**

В данной статье представлена конструкция вертикального аэротенка нового образца с шинковым перемешиванием, мелкопузырчатой аэрацией и инфракрасной стимуляцией активного ила, а также приведены преимущества разработанного устройства перед горизонтальными аналогами по площади застройки, энергопотреблению и устойчивости к низким температурам.

Ключевые слова: вертикальный аэротенк, биологическая очистка сточных вод, активный ил, аэрация, шинковый транспорт, компактные очистные сооружения.

Введение. В условиях роста антропогенной нагрузки и ужесточения экологических нормативов необходима модернизация систем биологической очистки сточных вод. Традиционные горизонтальные аэротенки обладают существенными недостатками: большой занимаемой площадью, высокой энергоёмкостью (особенно зимой) и неоптимальной гидродинамикой [1, 3]. Это делает их уязвимыми в условиях дефицита земельных ресурсов и сурового климата, характерного для многих регионов России.

Актуальность данного проекта заключается в разработке компактного, энергоэффективного и климатически устойчивого решения для биологической очистки сточных вод на основе вертикальной компоновки аэротенка.

Теоретическая значимость работы заключается в систематизации подходов к интенсификации биологических процессов очистки за счет совмещения механического, пневматического, физического и биохимического воздействий.

Практическая ценность состоит в предложении конкретного инженерного решения, защищённого патентом [2], которое позволяет сократить площадь застройки, снизить эксплуатационные затраты и повысить надёжность работы очистных сооружений в зимних условиях.

Проблемы традиционных систем очистки. Основным аппаратом глубокой биологической очистки сточных вод являются аэротенки – резервуары, где органические загрязнения разлагаются сообществом микроорганизмов (активным илом) в присутствии кислорода. Широко распространённые горизонтальные аэротенки представляют собой открытые или полужакрытые железобетонные сооружения большой длины и ширины при относительно малой глубине. Такая конструкция обуславливает ключевые проблемы, характерные для всей технологической цепочки:

Значительная занимаемая площадь. Например, аэротенки Казанского завода «Оргсинтез» занимают территории, сопоставимые с футбольными полями. Это делает их неприемлемыми для стеснённых городских условий и формирует аналогичную проблему на этапе обработки осадка.

Образование и необходимость утилизации избыточного активного ила. В процессе работы непрерывно образуется избыточный активный ил, требующий обезвоживания и размещения. Традиционное складирование на иловых картах (полях) приводит к долгосрочному выводу значительных земельных площадей из хозяйственного оборота, создаёт риски загрязнения окружающей среды фильтратом и является источником эмиссии парниковых газов и неприятных запахов.

Высокая энергоёмкость в зимний период. Большая площадь поверхности способствует быстрым теплопотерям и промерзанию верхних слоёв. Для поддержания температуры, необходимой для жизнедеятельности микроорганизмов (оптимальная температура в 35°C), требуются значительные затраты энергии на подогрев [3].

Неравномерность аэрации и перемешивания, ведущая к образованию застойных зон и снижению общей эффективности очистки.

Совокупность этих проблем приводит не только к росту эксплуатационных затрат, но и создаёт значительные экологические риски. Большие площади открытых аэротенков являются источником эмиссии летучих органических соединений и парниковых газов (метана, закиси азота). Промерзание и нестабильная работа в зимний период могут стать причиной сброса недостаточно очищенных стоков, нарушая нормативы и нанося ущерб водным объектам. Таким образом, недостатки традиционных систем напрямую противоречат современным принципам «зелёной» экономики и целям устойчивого развития, требующим сокращения углеродного следа, экономии ресурсов и минимизации занимаемых территорий. Это формирует устойчивый технологический запрос на принципиально иные решения.

Конструкция и принцип работы вертикального аэротенка. Устройство представляет собой вертикальный аэротенк, содержащий цилиндрический корпус 1 с вертикальной осью, патрубок подвода исходной воды 14, патрубок отвода обработанной воды с илом 6, разделитель ила 7, смеситель возвратного ила 15, коаксиально расположенный шнек 2 с покрытием из фермента на поверхности, по оси корпуса расположен трубчатый инфракрасный излучатель 4, между витками шнека эквидистантно установлен трубчатый аэратор 9 с перфорацией в шахматном порядке по всей его длине, подвод воздуха на витки аэратора от общей магистрали 10, коническое днище 13 с промывным патрубком 12, верхняя крышка 3, пространство аэротенка 5, источник питания 8, токопровод 11.[2](рис. 1)

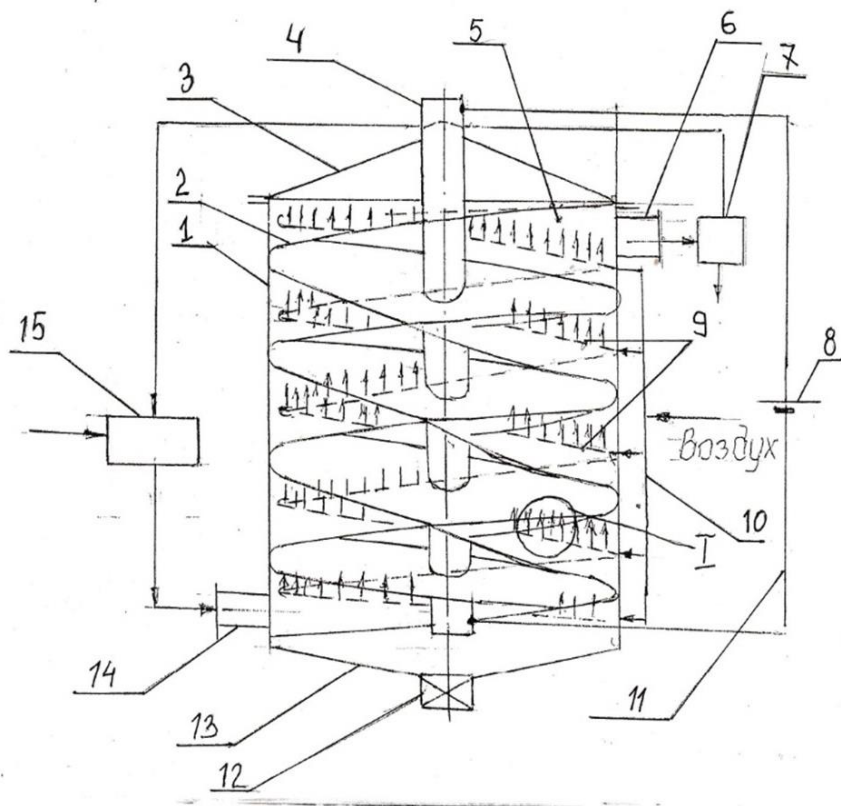


Рисунок 1 – Схема вертикального аэротенка.

Рассматриваемое устройство функционирует следующим образом: в вертикальный аэротенк поступает исходная вода через патрубок 14. Вместе с исходной водой в систему загружается активный ил с помощью смесителя возвратного ила 15. После попадания смеси из исходной воды и ила в корпус 1 и пространство аэротенка 5, смесь начинает постепенно подниматься вверх за счет вращения винтового шнека 2.

Пространство аэротенка 5 содержит трубчатый инфракрасный излучатель 4 — для ускорения процесса очистки исходной жидкости активным илом, а также перфорацию с помощью трубчатого аэратора 9 — для насыщения смеси кислородом. Снаружи аэротенка осуществляется подвод воздуха к виткам аэратора через магистраль 10, через которые воздух равномерно распределяется по всему объёму аэротенка.

Этот воздух жизненно необходим для активного ила — сообщества полезных микроорганизмов, которые «перерабатывают» загрязнения в сточной воде. В присутствии кислорода эти бактерии активно размножаются и эффективно разлагают органические вещества, содержащиеся в воде. Без достаточного количества кислорода процесс биологической очистки замедляется или останавливается, и вода не очищается до требуемых норм.

Показатели эффективности очистки, такие как БПК (биохимическая потребность в кислороде) и ХПК (химическая потребность в кислороде), как раз отражают, сколько органики осталось в воде после обработки. Чем ниже значения БПК и ХПК — тем чище вода. Подача воздуха через перфорации трубчатого аэратора 9 обеспечивает оптимальные условия для микроорганизмов, позволяя максимально снизить эти показатели и добиться высокого качества очистки. Требуемое количество подаваемого воздуха и итоговые показатели очистки (БПК и ХПК) зависят от уровня загрязнённости воды и подбираются индивидуально в зависимости от условий эксплуатации и состава сточных вод.[3]

Корпус аэротенка оснащен нижним днищем и верхней крышкой: нижнее днище 13 соединено с промывным патрубком 12, через который при необходимости внутренняя часть корпуса может быть промыта. Верхняя крышка 3 закрывает пространство аэротенка. После того как ил вместе с исходной водой, благодаря вращению винтового шнека 2, поднимутся под пространство верхней крышки, исходную воду можно считать очищенной. В этот момент объем активного ила увеличивается, вследствие чего возникает необходимость удалить излишки.

Под верхней крышкой расположен патрубок отвода обработанной воды с илом 6 — для выхода очищенной воды и активного ила. После этого активный ил попадает в блок разделения ила 7, где излишки ила удаляются из системы, а необходимая часть возвращается в смеситель возвратного ила 15 для дальнейшего использования.

Дополнительно вертикальный аэротенк оснащен источником питания 8 и токопроводом 11 для электропитания электрической части устройства. Корпус выполнен с наружной теплоизоляцией и имеет внутри корпуса датчик температуры, а на поверхность витков шнека нанесён фермент, выступающий в роли катализатора для ускорения гидролиза сложных органических загрязнений.

Преимущества. Вертикальные аэротенки значительно компактнее горизонтальных, что позволяет экономить занимаемую площадь в условиях ограниченных земельных ресурсов. Освобождённые участки могут быть использованы для сельского хозяйства или иной инфраструктуры. Вертикальная ориентация обеспечивает равномерное распределение

процессов очистки по всей высоте устройства, повышая степень очистки при меньших габаритах.

Все основные узлы размещены в одном вертикальном блоке, что упрощает монтаж и доступ к компонентам, сокращая трудозатраты на обслуживание. Оптимальное расположение инфракрасных излучателей и перфорации для аэрации ускоряет процессы биологической очистки. Вертикальная конструкция также позволяет рациональнее организовать сбор, удаление избыточного ила и его возврат в цикл, повышая стабильность работы и снижая эксплуатационные затраты.

В отличие от горизонтальных аэротенков, занимающих огромные открытые площади, вертикальные системы имеют меньшую поверхность и легко размещаются в утеплённых или закрытых модулях. Это резко снижает риск промерзания активного ила зимой и исключает необходимость дорогостоящего подогрева, делая эксплуатацию более энергоэффективной и надёжной в холодном климате.

Заключение. Предложенный вертикальный аэротенк с непрерывным режимом работы представляет собой перспективное направление для модернизации действующих и строительства новых очистных сооружений. Его внедрение позволит создавать компактные, энергоэффективные и климатически устойчивые комплексы для очистки промышленных и муниципальных сточных вод, что имеет важное значение для развития инфраструктуры в удаленных и труднодоступных регионах страны.

Литература:

1. Основные конструкции аэротенков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studref.com/305054/ekologiya/osnovnye_konstruktsii_aerotenkov (дата обращения: 19.01.2026).

2. Пат. № 238388 Российская Федерация, МПК C02F3/02. Вертикальный аэротенк / Мингазетдинов Идгай Хасанович, Желовицкая Алла Всеволодовна, Минвалиев Ислам Айдарович; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ». – № 2025111458; заявл. 30.04.2025; зарегистрир. 28.10.2025; срок действия до 30.04.2035.

3. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды : учебник для вузов / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников ; под ред. А.И. Родионова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1989. – 512 с. – ISBN 5-7245-0195-3.

АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЖОМА СВЕКЛОВИЧНОГО В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ

Михалович А.Д., Потехина Ю.С. учащиеся УО «Детский национальный технопарк»

***Научные руководители Цыганова А.А., Благовещенская Т.С.
Белорусский национальный технический университет, Беларусь***

В статье отражена рассмотрена структура отходов сахарного производства, характерная для Республики Беларусь, проанализированы ключевые направления применения жома свекловичного, даны предложения по использованию жома в качестве компонента удобрений для сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: отходы, сахарное производство, жом свекловичный мелассированный, удобрения.

Сахарное производство в Республике Беларусь — стратегически значимая, полностью государственная отрасль, выпускающая более 600 тыс. тонн свекловичного сахара ежегодно. Такие объёмы выпуска закрывают потребности внутреннего рынка (330-360 тыс. тонн ежегодно) и позволяют обеспечить значительный экспорт продукции.

Промышленным выращиванием сахарной свеклы занимаются около 300 сельскохозяйственных организаций в 59 районах Республики Беларусь. В стране в настоящее время действует четыре сахарных комбината: ОАО «Городейский сахарный комбинат», ОАО «Жабинковский сахарный завод», ОАО «Скидельский сахарный комбинат», ОАО «Слуцкий сахарорафинадный комбинат», которые перерабатывают порядка 5 млн т сахарной свеклы в год.

Среди перерабатывающих производств агропромышленного комплекса сахарная промышленность является источником значительного количества таких вторичных ресурсов, как свекловичный жом, меласса, фильтрационный осадок, рафинадная патока, свекловичный бой, хвостики свеклы и др. Так, при среднем выходе сахара 12—13 % свеклосахарное производство дает к массе перерабатываемой свеклы 80—83 % сырого свекловичного жома, 5,0—5,5 % мелассы, 10—12 % фильтрационного осадка [1,2,3].

При производстве сахара-песка из сахарной свеклы основную долю отходов составляет свежий жом, получаемый из свекловичной стружки в диффузионных аппаратах и представляющий собой, как отмечено в ряде работ, ценный вторичный материальный ресурс.

Низкая доля переработки вторичных сырьевых ресурсов приводит не только к их значительным потерям, но и к загрязнению окружающей среды,

нарушению экологического баланса, а также значительным финансовым затратам на вывоз неиспользуемых отходов в отвалы и свалки.

В условиях перехода к устойчивому развитию и ресурсосбережению данная проблема приобретает особую актуальность и требует научно обоснованных решений.

Свекловичный жом — это ценное органическое удобрение, которое работает на долгосрочную перспективу, оздоравливая и структурируя почву. При правильном применении с учетом его особенностей он может стать отличным помощником в повышении урожайности. Жом является источником органики, который со временем разлагается и обогащает почву. Для его эффективного использования в качестве удобрения важно равномерно распределять жом по полю и ограничить его дозу [4,5].

Жом можно использовать как органическое удобрение с учетом его кислотности и дозирования, но это может быть временное решение из-за подкисления почвы, так как начальная кислотность жома - pH 4,8 - 5,0. Это может быть полезно на слабощелочных и щелочных почвах, но требует осторожности на уже кислых грунтах.

По данным исследований, внесение в агроценозы свекловичного жома и жома с дефекатом способствовало увеличению запасов продуктивной влаги в почве. При совместном использовании свекловичного жома и дефеката происходит восстановление детритной пищевой цепи, увеличивается численность люмбрицидов и ферментативная активность почвы.

Жом улучшает структуру почвы: разрыхляет тяжелые глинистые почвы и улучшает их аэрацию, повышает влагоемкость песчаных почв, помогая им удерживать воду и питательные вещества.

Органическое вещество жома - пища для полезных почвенных бактерий, которые оздоравливают почву и делают питательные вещества более доступными для растений, что приводит к улучшению азотного питания растений в связи с повышением численности диазотрофов в почве. А главным образом увеличивается продуктивность возделываемых ими сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы и сахарной свеклы) на 12–14 %. Хотя жом не является концентрированным минеральным удобрением, он содержит небольшое количество полезных элементов:

- азот (N): ~0.2-0.5%

- фосфор (P_2O_5): ~0.1-0.2%

- калий (K_2O): ~0.5-1.0%

- кальций (Ca), магний (Mg), микроэлементы (бор, железо и др.) в незначительных количествах.

Цель научной работы было – изучение влияния различного содержания свекловичного жома (5%, 10%, 15%, 20%, 25%) в почве на рост и развитие рапса масличного и озимой ржи.

В задачи исследования входило:

1.Исследовать свойства жома.

2.Исследовать всхожесть семян рапса масличного и озимой ржи в водной вытяжке образцов с разным процентным содержанием жома.

3.Изучить динамику роста корней и надземной массы рапса и ржи в образцах.

4.Оценить эффективность использования жома в качестве удобрения.

Эксперимент показал, что действие жома свекловичного на рост и развитие растений зависит от его концентрации. Результаты проведенного эксперимента представлены в таблице 1,2,3.

Таблица 1. Высота растений озимой ржи и рапса масличного в зависимости от процентного содержания жома в почвогрунте.

Содержание мелиоранта в субстрате (%)	Высота растений (см)	
	Озимая рожь	Рапс
0% (контрольная проба)	10	4
5%	10,5	4,5
10%	10,2	2,5
15%	10,5	2,5
20%	8	2,1
25%	8,5	1,5

На основе полученных данных можно сделать вывод, что оптимальные образцы почвогрунта с содержанием жома 5 и 10 %. При данном содержании жома наблюдалась наилучшая всхожесть семян озимой ржи (85%), наибольшее количество листьев (4) и максимальная высота растений, что свидетельствуют о наилучшем росте и развитии растений.

Таблица 2. Длина корней растений озимой ржи и рапса масличного в зависимости от процентного содержания жома в почвогрунте.

Содержание мелиоранта в субстрате (%)	Длина корней (см)	
	Озимая рожь	Рапс
0% (контрольная проба)	10	6,5
5%	8,5	6,5
10%	8	2,5
15%	6,5	2,5
20%	4,5	2
25%	2,5	1,5

Таблица 3. Количество листьев растений озимой ржи и рапса масличного в зависимости от процентного содержания жома в почвогрунте.

Содержание мелиоранта в субстрате (%)	Количество листьев (штук)	
	Озимая рожь	Рапс
0% (контрольная проба)	2	4
5%	1	4
10%	2	4
15%	1	3
20%	1	3
25%	1	2

Для рапса также оптимальными оказались концентрации 5 и 10 %, обеспечившие максимальную всхожесть и хорошие морфометрические показатели. Остальные концентрации оказывают выраженное угнетающее действие на обе культуры, снижая их всхожесть и морфометрические характеристики. Концентрации выше 15% приводили к резкому ухудшению показателей: снижалась всхожесть, уменьшались высота и длина корней.

Таким образом на основании полученных результатов исследования можно сделать вывод о возможности использования жома свекловичного в сельском хозяйстве для улучшения плодородия почв, лучшей всхожести культур и активации роста сельскохозяйственных культур.

Литература

1.Спичак, В. В. Современные направления использования и утилизации свекловичного жома / В. В. Спичак, А. М. Вратский // Сахар. — 2011. — № 9. — С. 60–64.

2.Славянский А. А., Митрошина Д. П., Грибкова В. А., Ермолаев В. А. Основные отходы сахарного производства и их использование // Сахар. 2022. № 12. С. 30–37. EDN: DSHKOS

3. Харина, М. В. Особенности структуры и состава свекловичного жома и перспективы его переработки / М. В. Харина, Л. М. Васильева, В. М. Емельянов // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — Т. 17. — № 2.

4. Булавин, С. А. Безотходная энергосберегающая технология сушки и переработки свекловичного жома / С. А. Булавин, А. С. Колесников // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. — 2014. — № 4. — С. 3.

5. Гурин, А. Г. Жом как ценнейший продукт сахарного производства / А. Г. Гурин, Ю. В. Басов, В. В. Гнеушева .

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА

Молчанова Ю.Е., студент

Научные руководители Евсеева Е.А., Кречко Н.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

Уменьшение техногенной нагрузки связано в значительной степени с повышением срока эксплуатации изделий. Наряду с другими методами эта задача может быть решена продлением срока эксплуатации изделий из полиэтилена высокого давления

Ключевые слова: полиэтилен высокого давления, деструкция, стабилизация.

Рациональное природопользование в большой степени предусматривает уменьшение отходов производства, потребления и продление сроков эксплуатации изделий. В Беларуси ежегодно образуется около 280–320 тыс. тонн полимерных отходов, из которых значительная часть приходится на упаковку и полимерную пленку. По данным за 2024 год, в стране образовалось 376 тыс. тонн полимерной упаковки, а объем использованных полимерных пакетов и мешков составил около 39 тыс. тонн.

Для уменьшения отходов полимерной пленки необходимо в том числе, продлевать срок ее эксплуатации и расширять возможности переработки.

Пленки полиэтилена высокого давления (ПЭВД) широко используются в упаковочных материалах, сельском хозяйстве, производстве пакетов.

При использовании на полимерные пленки действуют тепло, свет, кислород, влага, механические нагрузки. При таком воздействии полимерные пленки подвергаются деструкции, в результате которой происходит разрыв связей в основной цепи макромолекул, изменение структуры в результате сшивания цепей, что приводит к деградации свойств полимерных пленок: потеря эластичности, повышение жесткости, снижение механической прочности. Таким образом, происходит старение пленок

Реакции, сопровождающие свето – и термо-старение полимеров в условиях обычной эксплуатации. протекают в основном по радикальному механизму (уравнения 1-4)

Инициирование:



Продолжение цепей



Для уменьшения термоокислительной деструкции и повышения срока эксплуатации, в процессе производства в полимеры вводят ингибиторы деструкции – стабилизаторы.

Ингибиторы деструкции подразделяются в основном на две группы - первичные и вторичные.

К первичным относятся антиоксиданты фенольного типа. Обычно антиоксиданты такого типа вводятся в количестве 0,01-0,1 % масс.

Промышленный стабилизатор Ирганокс 1010 проявляет термическую стабилизацию в процессе производства и эксплуатации полимеров. Хорошая совместимость с полимерами без изменения цвета обуславливает возможность его применения как стабилизатора термоокислительной деструкции ПЭВД.

Вторичными ингибиторами свето- и термо-окислительных деструкций являются серусодержащие соединения, вводимые в изделия в количестве до 5% [1]. Механизм ингибирования деструкции в этом случае обусловлен взаимодействием вторичных антиоксидантов с гидропероксидами и разрушением их без образования активных радикалов.

Эффективным стабилизатором термоокислительной деструкции многотоннажного полимера полиэтилена высокого давления (ПЭВД) является серусодержащий стабилизатор полидисульфид 3,4,5-триоксибензойной кислоты (МЛ-3). При введении его в композиционный материал в количестве 0.5% практически полностью прекращается поглощение кислорода.

Применение серусодержащих соединений совместно с фенольными антиоксидантами [2] может демонстрировать эффект синергизма в стабилизации полимеров.

Представляет интерес изучение совместного ингибирующего действия к термоокислительной деструкции ПЭВД серусодержащего стабилизатора МЛ-3 и промышленного стабилизатора Ирганокс 1010.

Продление срока эксплуатации полимерных пленок позволит уменьшить количество отходов, что положительно отразится на уменьшении экологической нагрузки пленками.

Литература

1. <https://minskstroy.by/ru/>
2. chrome xtension: //efaidnbmnnnibpcajpcgicfindmkaj/ <https://nizrp.narod.ru/metod/kaffizikollchem/16.pdf>

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ МОДЕЛЬНЫХ ВОД

Мурзина А.А., бакалавр

Научный руководитель Габдрахманова Г.Н.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия

Исследования выявили, что применение комбинированного сорбента обеспечивает значительное снижение концентрации ионов металлов уже в первые 60 минут взаимодействия с модельными растворами. Контрольные измерения выполнялись через 10, 30 и 60 минут, и по результатам фиксировалось снижение концентрации ионов металлов со временем.

Ключевые слова: Тяжелые металлы, комбинированный сорбент, сточные воды, концентрация, никель, медь, эффективность сорбции.

Среди наиболее опасных для биосферы Земли загрязнителей, вызывающих самые разные негативные эффекты как для человеческого здоровья, так и для жизнедеятельности организмов выделяются загрязнения тяжелыми металлами, такими как никель (Ni^{2+}) и медь (Cu^{2+}). Увеличивающийся масштаб загрязнений окружающей среды оборачивается ростом генетических мутаций, раковых, сердечно – сосудистых и профессиональных заболеваний, отравлений, дерматозов, снижением иммунитета и связанных с этим болезней [1].

В большинстве случаев первоисточником загрязнений являются сточные воды. Тяжелые металлы опасны тем, что они обладают способностью к биоаккумуляции, могут включаться в цикл, образовывать высокотоксичные металлорганические соединения, изменять формы нахождения при переходе от одной природной среды в другую, проявляют канцерогенные и тератогенные свойства[2].

Очистка сточных вод играет ключевую роль в минимизации негативного воздействия промышленных отходов на экосистемы. Сорбционные технологии на основе природных материалов — перспективное решение. Синергетический эффект их смеси позволит повысить селективность и эффективность сорбции тяжелых металлов, снизить затраты и обеспечить регенерацию.

Целью исследований является разработка сорбента «кокосовый уголь–цеолит» для селективной сорбции ионов Ni^{2+} и Cu^{2+} из стоков и сравнение эффективности адсорбции ионов металлов комбинированным сорбентом.

Для экспериментальных исследований использовалась цеолитсодержащая порода Татарско – Шатрашанского месторождения, размером фракции 0,2 – 0,8 мм и активированный кокосовый уголь высшего

сорта. Готовили комбинированный сорбент из двух природных материалов в соотношении 1:1 с общей масса навески 0,5г.

Были подготовлены модельные растворы для ионов металлов Ni^{2+} и Cu^{2+} с концентрацией 5 мг/л.

В стаканы емкостью 250 мл поместили полученный сорбент массой по 0,5 г с модельными растворами каждого металла объемом 100 мл. Измеряли концентрации ионов металлов по истечении 10, 30, 60 минут.

Определение концентрации ионов металлов Ni^{2+} и Cu^{2+} проводилось в соответствии с методиками:

- ПНД Ф 14.1.46-96 Методика выполнения измерений массовой концентрации никеля в сточных водах фотометрическим методом с диметилглиоксимом

- ПНД Ф 14.1.2.48-96 Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов меди в природных и сточных водах фотометрическим методом с диэтилдитиокарбаматом свинца.

Полученные экспериментальные данные после очистки указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Концентрация ионов металлов после очистки.

Время, мин	Концентрация ионов Cu^{2+} , мг/л	Концентрация ионов Ni^{2+} , мг/л
10	0,193	0,056
30	0,118	0,055
60	0,084	0,054

Концентрации ионов Ni^{2+} после очистки спустя 10, 30 и 60 минут практически совпадают. Это свидетельствует о достижении равновесия адсорбции уже в первые 10 минут. Концентрация ионов Cu^{2+} после адсорбции уменьшилась по мере увеличения времени контакта.

Расчет эффективности сорбции композитного материала проводился в соответствии с формулой:

$$E_s = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

где E_s – эффективность сорбции, %; C_0 – начальная концентрация металла в растворе, мг/л; C_e – конечная концентрация металла в растворе после адсорбции на сорбенте, мг/л.

Рассчитанная эффективность очистки для ионов никеля (Ni^{2+}) и меди (Cu^{2+}) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Эффективность сорбции для ионов тяжелых металлов.

Время, мин	Эффективности очистки от Cu^{2+} , %	Эффективности очистки от Ni^{2+} , %
10	96,1	98,8
30	97,6	98,9
60	98,3	98,9

На рисунке 1 изображена зависимость эффективности очистки разработанного сорбента от времени.

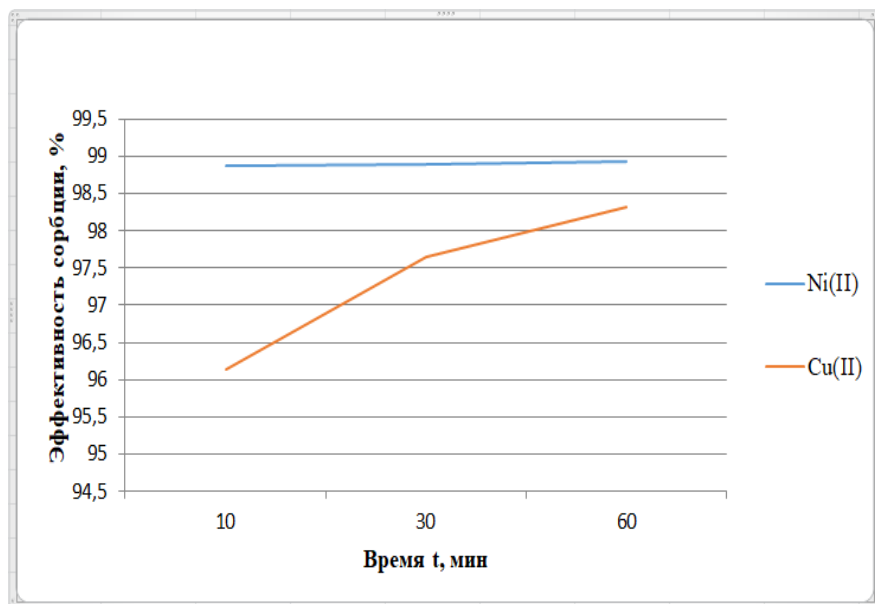


Рисунок 1 – Оценка эффективности очистки по времени

Эффективность очистки модельных вод от ионов никеля слабо зависит от длительности контакта с сорбентом. В начальной фазе быстро заполняются активные центры, а дальнейшее увеличение времени не вызывает заметного повышения эффективности. Следовательно, продолжительность пребывания сорбента в модельной воде, содержащей ионы никеля, не играет решающей роли.

Эффективность очистки модельных вод от ионов меди с помощью разработанного сорбента растет по мере увеличения времени, что

свидетельствует о постепенном процессе сорбции и установлении равновесия между сорбентом и ионами. При увеличении времени контакта усиливается взаимодействие сорбента с ионами, способствуя росту общей эффективности сорбции.

Разработанный сорбент из активированного кокосового угля и природного цеолита эффективно удаляет ионы тяжелых металлов из сточных вод: эффективность очистки от ионов никеля уже в первые 10 минут достигает 98,8%, что выше в 1,03 раз значения эффективности очистки от ионов меди, которое спустя 60 минут сорбции составляет 98,3%.

Применение разработанного сорбента экономически целесообразно за счет дешевизны сырья и уменьшения расходов на регулярную замену фильтров. Такое решение обеспечивает экологическую безопасность и содействует устойчивому развитию.

Литература:

1. Зинина, О.Т. Влияние некоторых тяжелых металлов и микроэлементов на биохимические процессы в организме человека / Зинина О.Т. // Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Дальневосточный государственный медицинский университет” Министерства здравоохранения Российской Федерации. – 2001. – С. 99.
2. Закирьянов Д.И. Очистка сточных вод от нефтепродуктов и тяжелых металлов сорбентом / Закирьянов Д.И., Бикбулатов И.Х., Свергузова С.В., Шайхиев И.Г. // ФГБОУ ВПО “Пермский национальный исследовательский политехнический университет”, г. Пермь. – 2015. – С. 5.

**ОЦЕНКА ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЫБРОСОВ
МАШИН В ПРИДОРОЖНЫХ ЗОНАХ ГОРОДА НИЖНЕКАМСКА (НА
ПРИМЕРЕ УЛИЦЫ КОРАБЕЛЬНОЙ) ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО
УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ВОЗДУХА**

Мурзина А.А., бакалавр

Научный руководитель Шагидуллин А.Р.

**ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия**

В данной статье оценено загрязнение воздуха от автотранспорта на участке дорожной сети города Нижнекамска и рассчитаны прогнозируемые максимальные разовые концентрации загрязнителей на прилегающих к автодороге территориях.

Ключевые слова: автотранспорт, загрязнение воздуха, приземные концентрации, максимально разовые концентрации, рассеивание, интенсивность движения, диоксид азота.

В условиях города автомобильный транспорт является одним из главных источников загрязнения воздуха. Его негативное воздействие может возрасти по мере расширения городских территорий: увеличение интенсивности движения на фоне плотной застройки не позволяет соблюдать необходимые санитарные разрывы между дорогами и жилыми зонами, что мешает рассеиванию вредных веществ. В таких условиях требуется разработка специальных природоохранных мер.

Основой для их планирования и оценки эффективности, направленной на снижение выбросов от автотранспорта, служит расчётный мониторинг загрязнения атмосферы.

Целью проведённого исследования стала оценка уровня загрязнения воздуха выбросами автомобилей на участке улицы Корабельной (от улицы Студенческой до улицы Вокзальной) в городе Нижнекамске.

Для расчёта объёмов выбросов загрязняющих веществ на отдельных участках улично-дорожной сети использовалась «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха» [1].

Данная методика предназначена для инвентаризации выбросов в рамках комплексных оценок состояния воздуха. Согласно её положениям, оценка выбросов производится на основе данных о интенсивности движения транспорта (количестве проездов за фиксированный 20-минутный интервал) с распределением транспортных средств по пяти категориям:

1. Легковые автомобили;
2. Автофургоны и микроавтобусы массой до 3,5 тонн;
3. Грузовые автомобили от 3,5 до 12 тонн;
4. Грузовые автомобили свыше 12 тонн;
5. Автобусы более 3,5 тонн.

Для определения максимальных разовых концентраций вредных веществ замеры проводятся в периоды наибольшей загруженности дороги транспортом. На следующем этапе, опираясь на полученные данные, а также на нормативные пробеговые выбросы (удельные величины выбросов загрязняющих веществ на километр пути для каждой категории транспорта) и протяжённость рассматриваемого участка, рассчитываются объёмы загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу.

Методика даёт возможность рассчитывать выбросы для следующих вредных веществ (и групп веществ):

- Углерода оксид (CO)
- Азота оксид (NO)
- Азота диоксид (NO₂)
- Взвешенные мелкодисперсные частицы PM_{2,5}
- Бензин
- Керосин
- Серы диоксид (SO₂)
- Формальдегид (CH₂O)
- Бензапирен (C₂₀H₁₂) (установлены только среднегодовые ПДК)
- Метан (CH₄)

Затем выполняется расчёт рассеивания выбросов автотранспорта в атмосферном воздухе, который позволяет определить ожидаемые концентрации вредных веществ на прилегающих к автодороге территориях.

Для этого использовалось программное обеспечение УПРЗА «Эколог» (версия 4.70), реализующее методику расчёта рассеивания загрязняющих веществ [2].

Расчёты проводились с полным перебором метеорологических условий в пределах климатической характеристики города Нижнекамска с целью определения максимальных разовых концентраций. В связи с этим дальнейшие результаты представлены только для тех веществ, для которых установлены максимальные разовые предельно допустимые концентрации [3].

После анализа расположения исследуемого участка дороги и попадающей под его воздействие городской застройки были заданы параметры расчётной сетки для моделирования полей концентраций. Расчёты выполнялись для квадрата размером 1000×1000 метров с шагом сетки 50 метров. Также были определены характерные точки, соответствующие

расположению ближайших к проезжей части зданий. Расчёты проводились с детализацией максимальных концентраций в точках, перечисленных в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные точки для детализации максимальных разовых концентраций.

Код	Координаты в системе координат МСК-16 (зона 2), м		Высота расчета, м	Комментарий
	X	Y		
1	2284924,50	457798,00	2,00	Общежитие, Корабельная улица, 38
2	2285115,00	457611,00	2,00	Многоквартирный жилой дом, Корабельная улица, 30
3	2285452,50	457308,00	2,00	Многоквартирный жилой дом, Корабельная улица, 20
4	2285667,00	457138,50	2,00	Многоквартирный жилой дом, Корабельная улица, 14
5	2284944,50	457629,00	2,00	Многоквартирный жилой дом, Корабельная улица, 29
6	2285017,50	457562,00	2,00	Многоквартирный жилой дом, Корабельная улица, 27
7	2285357,00	457223,00	2,00	Общежитие, Корабельная улица, 13
8	2285579,50	457006,50	2,00	Общежитие, Корабельная улица, 7

Распределение концентраций вредных веществ в заданных расчётных точках, полученное в ходе вычислений, представлено в таблице 2. Степень вредного влияния выявленных абсолютных концентраций оценивалась путём сравнения с установленными максимальными разовыми ПДК.

Из данных таблицы 2 видно, что приземные концентрации загрязняющих веществ, образующихся при выбросах автомобильного транспорта и поступающих в атмосферу на территориях, прилегающих к дороге, не превышают установленных максимальных разовых предельно допустимых концентраций [3]. При этом наибольшая величина концентрации в долях ПДК зафиксирована для диоксида азота. В часы самой высокой интенсивности движения транспорта загрязнение воздуха этим веществом может достигать 86% от установленного норматива.

Таблица 2– Распределение концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках.

Код вещества	Наименование вещества	Распределение концентраций, доли ПДК	Распределение концентраций, мг/м ³
0010	Взвешенные частицы PM _{2,5}	0,0136 – 0,0264	0,0022 – 0,0042
0301	Азота диоксид (Двуокись азота; пероксид азота)	0,4460 – 0,8649	0,0892 – 0,1730
0304	Азот (II) оксид (Азот монооксид)	0,0363 – 0,0703	0,0145 – 0,0281
0330	Сера диоксид	0,0011 – 0,0023	0,0005 – 0,0012
0337	Углерода оксид (Углерод окись; углерод моноокись; угарный газ)	0,0170 – 0,0361	0,0850 – 0,1806
0410	Метан	0,0000576 – 0,0001	0,0029 – 0,0063
0703	Бенз/а/пирен	-	0,000000020691 – 0,000000024037
1325	Формальдегид (Муравьиный альдегид, оксометан, метилен оксид)	0,0023 – 0,0052	0,0001 – 0,0003
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый) (в пересчете на углерод)	0,0033 – 0,0080	0,0163 – 0,0402
2732	Керосин (керосин прямой перегонки; керосин дезодорированный)	0,0051 – 0,0105	0,0062 – 0,0126
6204	Группа неполной суммации с коэффициентом “1,6”: Азота диоксид, серы диоксид	0,2794 – 0,5419	-

Распределение полей приземных концентраций диоксида азота показано на рисунке 1.»



Рисунок 1 – Поля максимальных концентраций диоксида азота.

Литература:

1.Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха (утверждена приказом Минприроды России от 27.11.2019 года №804).

2.Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 №273).

3.Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28. 01.2021 №2).

МОНИТОРИНГ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Наривончик Е.С., студент

Научные руководители Агабалаева Е.Д., Агабалаев А.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье приводятся данные по мониторингу распространения инвазивных видов в Республике Беларусь, указываются основные инвазивные виды, районы их наибольшего распространения и методы борьбы с ними.

Ключевые слова: мониторинг, инвазивные виды, Национальная система мониторинга окружающей среды, меры борьбы

В соответствии со статьей 67 Закона Республики Беларусь «О растительном мире» мониторинг растительного мира представляет собой систему наблюдений за состоянием объектов растительного мира и среды их произрастания, оценки и прогноза их изменений. Мониторинг растительного мира является видом мониторинга окружающей среды и проводится Национальной академией наук Беларуси в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [1].

Одним из направлений мониторинга растительного мира является мониторинг инвазивных видов растений. Инвазивные (чужеродные) виды – это распространившиеся в результате деятельности человека биологические виды, распространение которых угрожает биологическому разнообразию.

В Республике Беларусь мониторинг инвазивных видов – это системный процесс наблюдения за чужеродными растениями и животными, которые угрожают местному биоразнообразию и экономике. Мониторинг распространения инвазивных видов растений в Республике Беларусь является частью Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) и направлен на своевременное выявление, учет и ограничение численности агрессивных чужеродных видов [1]. Координацию этой деятельности осуществляет Центр мониторинга растительного мира при Институте экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича НАН Беларуси. Организациями, которые также занимаются данным направлением, являются: Министерство природных ресурсов (обеспечивает законодательную базу и контроль за реализацией планов по ограничению распространения инвазивных видов), Белгидромет, Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича (отвечает за мониторинг растительного мира), НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам (курирует мониторинг животного мира, включая рыб и наземных животных).

Целью мониторинга распространения инвазивных видов растений в Республике Беларусь является регулярное наблюдение за состоянием популяций инвазивных видов, оценка среды их произрастания и прогноз дальнейшего распространения для принятия мер по их искоренению. Исследования проводятся на постоянных пунктах наблюдения (ППП) и ключевых участках (КУ), охватывающих все области страны. Используются методы фитоиндикации, создание ГИС-баз данных и карт распространения. Данная деятельность регулируется техническими кодексами установившейся практики, которые определяют порядок выявления, учета и методы борьбы (химические, механические) [3].

В Беларуси выделяют следующие виды приоритетных инвазивных растений, подлежащих искоренению: борщевик Сосновского, борщевик Мантегацци, золотарник канадский, золотарник гигантский, клен ясенелистный, робиния лжеакация, эхиноциссис лопастный, амброзия полыннолистная.

Инвазивными видами рыб являются ротан-головешка, американский сомик, чебачок амурский, различные виды бычков, инвазивными животными – американская норка, енотовидная собака, ондатра. Енотовидная собака активно заселяет леса, разоряет гнезда птиц и может быть переносчиком бешенства. Американская норка практически полностью вытеснила аборигенную европейскую норку за счет конкуренции за еду и территорию. Ондатра была завезена для мехового промысла; негативно влияет на водную растительность и береговые экосистемы. Инвазивные виды рыб конкурируют с местными видами в озерах и реках, поедают их икру и мальков. Законодательство Беларуси позволяет ловить эти виды рыб без ограничений по весу и количеству, так как они вредят местной ихтиофауне.

Инвазивные беспозвоночные и насекомые Республики Беларусь – колорадский жук (опасный вредитель картофеля и других пасленовых культур), каштановая минирующая моль (уничтожает листву каштанов, из-за чего деревья желтеют уже в середине лета), испанский слизень (активно поедает огородные культуры и дикую растительность).

Мониторинг распространения инвазивных видов в Республике Беларусь осуществляется путем кадастрового учета: данные о местах произрастания инвазивных растений заносятся в государственные кадастры (например, plantcadastre.by) [4]. Также данная проблема решается путем полевых обследований специалистами, картирования и местного контроля районными инспекциями природных ресурсов, которые обязаны выявлять и уничтожать очаги (особенно борщевика и золотарника). Специалисты проводят регулярные экспедиции для оценки плотности популяций и границ ареалов [5, 6]. Картирование осуществляется путем использования ГИС-

технологий и программных средств (например, RStudio) для визуализации распространения видов [7].

По данным Государственного кадастра растительного мира Республики Беларусь [4] на территории страны в настоящее время выявлены свыше 11 тыс. популяций опасных видов инвазивных растений, занимающих более 3 тыс. га земель. Самые большие площади занимают борщевик Сосновского, золотарник канадский, эхиноцистис лопастной, клен ясенелистный и робиния лжеакация. Так, на территории Беларуси выявлены 3275 мест произрастания *гигантских борщевиков* общей площадью свыше 2000 га (наиболее распространен данный вид в Ушачском, Витебском, Браславском, Логойском, Минском, Миорском и Сенненском районах), более 1900 мест произрастания инвазивных *золотарников* на площади свыше 483 га (наиболее распространен в Минском, Смолевичском, Пуховичском и Молодечненском районах). В настоящее время на территории страны учтено 4088 популяций *клена ясенелистного* на общей площади 335,8 га (наибольшие площади распространения отмечены в Минском, Жлобинском Славгородском, Полоцком, Гомельском, Бобруйском, Пуховичском, Лунинецком и Пинском районах), 1261 местонахождение *эхиноцистиса лопастного* на площади 132,5 га (наибольшие площади произрастания зарегистрированы в Петриковском, Светлогорском, Пинском, Шкловском и Житковичском районах), 1585 местонахождений *робинии лжеакации* на площади 485,6 га (чаще встречается на юге Беларуси, в Жлобинском, Добрушском, Гомельском, Брестском, Пинском и Бобруйском районах Могилевской области).

В последние годы заметное влияние на биоразнообразие растительного мира, помимо выше рассмотренных инвазивных видов растений, оказывают такие виды, как недотрога железистая, рябинник рябинолистный, подсолнечник клубненосный. Все они использовались в качестве растений для озеленения на приусадебных участках, а также сельских кладбищ, а в последние годы начали очень активно внедряться в естественные сообщества. Однако площадь распространения этих видов в целом незначительна.

По данным Государственного кадастра растительного мира Республики Беларусь [4] анализ динамики распространения инвазивных видов показывает, что их активная экспансия в Республике Беларусь продолжается. Так, после стабилизации и даже некоторого сокращения площади борщевика Сосновского в 2012-2014 гг. вновь наблюдается рост количества популяций и занимаемой площади (особенно в Минском, Браславском, Ушачском, Мядельском и др. районах). Это может быть вызвано снижением активности и качества мер по борьбе с ним. Активно распространяется по поймам рек в республике эхиноцистис лопастной. В центральных районах республики увеличивает свои площади и влияние на экосистемы золотарник канадский [4].

По результатам комплексных исследований по мониторингу инвазивных видов Республики Беларусь была издана книга «Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения» [8], в которую включены 52 вида наиболее опасных инвазивных растений.

Литература:

1. Центр мониторинга растительного мира и комплексного мониторинга естественных экологических систем на особо охраняемых природных территориях - <https://monitoring.basnet.by/directions/monitoring-of-invasive-plant-species> (Дата обращения 04.04.2026)
2. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь – <https://www.nsmos.by/monitoring.basnet.by> (Дата обращения 04.04.2026)
3. Положение о порядке выявления, учета и мониторинга инвазивных видов растений и принятии мер борьбы с ними- <https://braslavpark.by/lesnoe-khozyaystvo/lesnaya-sertifikatsiya/Polozhenie%20o%20poryadke%20vyvavleniya,%20ucheta%20i%20monitoringa%20invazivnyh%20vidov%20rastenij%20i%20prinyatii%20mer%20borby%20s%20nimi.pdf> (Дата обращения 04.04.2026)
4. Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь – <https://plantcadastre.by/public/ho.php?nh=n4> (Дата обращения 04.04.2026)
5. Гусев, А. П. Вторжение золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) в антропогенные ландшафты Беларуси / А. П. Гусев // Российский Журнал Биологических Инвазий. – 2017. – № 4. – С. 28–35.
6. Спиридович, Е. В. Сравнительный анализ видового состава и структуры растительных сообществ с участием жостера слабительного *Rhamnus cathartica* в Беларуси и в регионах среднего запада США / Е. В. Спиридович [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2023. – Т. 67. – №. 5. – С. 399-409.
7. Синчук О. В., Буга С. В. Картирование распространения инвазивных видов животных фауны Беларуси средствами RSTUDIO / Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии: материалы междунар. науч. конгресса, Республика Беларусь, Минск, 24-27 окт. 2016 г. - Минск : БГУ – 2016. - С.185-189.
8. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик [и др.] ; под общ ред. В. И. Парфенова, А. В. Пугачевского ; НАН Беларуси, Ин-т экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск : Беларуская навука, 2020. – 407 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАНА И БЕНЗИНА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Невертович В. Д., Фалей П. А., студенты

Научный руководитель Клясова Ю. В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье представлен сравнительный анализ выбросов автомобилей, работающих на бензине и метане. Рассмотрены показатели CO_2 , NO_x , CO и CH_4 , их влияние на качество воздуха и климат. Определены экологические преимущества CNG и ограничения, связанные с метановыми утечками и техническим состоянием двигателей.

Ключевые слова: выбросы, бензин, метан, углекислый газ, оксиды азота, угарный газ, парниковый эффект, экологическая эффективность.

Введение

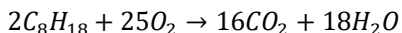
С ростом количества транспорта возникают проблемы загрязнения атмосферы и изменения климата. При работе современного бензинового двигателя внутреннего сгорания в атмосферу выбрасываются большое количество углекислого газа (CO_2), оксидов азота (NO_x), угарного газа (CO). Эти вещества не только способствуют глобальному потеплению, но и ухудшают качество воздуха в городах, вызывая смог, кислотные дожди и проблемы со здоровьем населения.

Более экологичным вариантом альтернативы бензину может стать сжатый природный газ. В его составе преимущественно преобладает метан (CH_4), он экологичнее бензина за счет более чистого сгорания и меньшему содержанию углерода в молекуле вещества. Но использование метана, как топлива сопровождается определенными рисками, которые связаны с высокой парниковой активностью при его не полном сгорании [1]. Поэтому газовое оборудование, устанавливаемое на автомобили, должно проходить тщательную проверку и настройку специалистами, а также своевременно обслуживаться, что позволит долго и безопасно эксплуатировать автомобиль с соблюдением всех экологических норм.

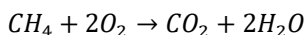
Цель – рассмотреть сравнительные показания выбросов от автомобилей на бензине и метане. Понять преимущества, недостатки и ограничения, которые связаны с выбором одного из видов топлива.

Основная часть

Выбросы углекислого газа. Углекислый газ образуется при полном сгорании углеводородного топлива. Для бензина это выглядит как:



Для метана:



Содержание углерода в метане меньше, поэтому при сгорании выделяется меньшее количество углекислого газа на кВт·ч энергии.

Для легкового автомобиля с бензиновым двигателем выбросы CO_2 составляют примерно 160–180 г/км. Средние выбросы для такого же автомобиля, но на метане составят 120–150 г/км, что на 15–25% ниже. Факторами, влияющими на количество выбросов, являются: экономичность двигателя, режим вождения, а также состояния автомобиля, в частности, топливной системы и катализатора.

Выбросы оксидов азота.

Оксиды азота образуются при интенсивном сгорании топлива на высоких температурах в цилиндрах двигателя. Средние показатели выбросов у бензиновых авто 0.25–0.35 г/км, у автомобилей на метане – 0.15–0.25 г/км что не значительно отличается. Однако сильное влияние оказывает наличие и исправность каталитического нейтрализатора, способного значительно снизить выбросы.

Выбросы угарного газа.

Образование угарного газа происходит в следствии неполного или частичного сгорания топлива. Различия в количестве выбросов между бензиновыми и двигателями на газу достаточно велики и могут составлять более 50% [2]. Происходит это благодаря меньшему содержанию углерода и более полному сгоранию топливной смеси.

Метан.

Метан обладает высокой энергетической плотностью на единицу массы, сгорает чище бензина практически без образования сажи. Однако метан – это мощный парниковый газ, примерно в 28–34 раза более сильный, чем CO_2 . Это значит, что даже небольшие выбросы CH_4 оказывают значительное влияние на глобальное потепление. Это означает что его утечки или неполное сгорание приведет к выбросам в атмосферу. Причинами того могут быть технические особенности двигателя и топливной системы, неправильная настройка топливной аппаратуры и системные утечки через изношенные уплотнения и детали двигателя [3]. Таким образом любые утечки метана могут привести к нивелированию всех его экологических преимуществ перед бензином.

Заключение

Выбор и поиск более экологичного аналога бензину не может быть ограничен одним фактором, это всегда должен быть комплексный подход,

который будет учитывать химический состав топлива, его режимы и температуры сгорания, техническое состояния двигателя и топливной аппаратуры.

Метан действительно обладает преимуществами перед бензином, за счет более низкого содержания углерода в молекулах. Благодаря этому при сгорании метана выделяется на 15–25% меньше углекислого газа на километр пробега автомобиля. Однако ключевым ограничивающим фактором остаётся возможность утечек метана. Метан как парниковый газ обладает значительно более высоким потенциалом глобального потепления по сравнению с CO_2 в краткосрочной перспективе. Даже относительно небольшие утечки или неполное сгорание CH_4 способны частично нивелировать климатическое преимущество. Это означает, что экологическая эффективность газовых автомобилей напрямую зависит от уровня технологичности двигателя, качества катализаторов и общего состояния топливной системы.

В итоге можно заключить, что автомобили на метане обладают более высокой экологической эффективностью по большинству локальных показателей загрязнения воздуха и демонстрируют умеренное снижение выбросов CO_2 . Тем не менее их преимущество становится полностью реализуемым только при строгом контроле метановых выбросов и внедрении современных технологических решений.

Литература:

1. Gao, Y., Liu, Z., & Zhang, Q. Well-to-Wheel Greenhouse Gas Emissions of CNG and Gasoline Vehicles: A Comparative Life Cycle Assessment. *Journal of Cleaner Production*, 2024.
2. Khan, A. A., Ahmed, Z., & Kalam, M. A. Experimental Investigation of Performance and Emissions for a Hybrid Electric Vehicle Operating on Gasoline, CNG, and Dual Fuel. *Applied Sciences (MDPI)*, 2023.
3. Rakopoulos, S., & Giakoumis, E. Comparative Emission Analysis of Natural Gas and Gasoline Engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ
ОМЕЛЫ БЕЛОЙ (*Viscum album*) С ПОЛУЧЕНИЕМ
ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
ЭКСТРАКТОВ**

Никитчук А.А., Радостовец А.В., Полещук Е.В., студенты

Научный руководитель Тыновец С.В.

Полесский государственный университет, Беларусь

Исследована способность гидратированной биомассы листьев и мякоти ягод омелы белой к образованию нитевидных волокон при механическом растяжении. Визуализирована микроструктура нитей. Качественными реакциями в этанольном экстракте подтверждено присутствие сапонинов и флавоноидов. Обоснована перспектива переработки отходов в волокнистые материалы и биоактивные экстракты.

*Ключевые слова: омела белая, *Viscum album*, растительные отходы, утилизация биомассы, натуральные волокна, сапонины, флавоноиды, фитохимический анализ, зеленая экономика, инженерная экология.*

Введение. Омела белая (*Viscum album* L.) представляет собой вечнозеленый кустарниковый полупаразит, поражающий широкий спектр лиственных и хвойных пород деревьев. В условиях городской среды Республики Беларусь наблюдается тенденция к расширению ареала распространения данного вида, что создает дополнительную нагрузку на зеленый фонд населенных пунктов и требует проведения регулярных санитарных рубок и обрезки крон [2]. Образующаяся при этом растительная масса фактически не вовлекается во вторичный хозяйственный оборот. Традиционные методы обращения с такими отходами сводятся к компостированию, вывозу либо низкоэффективному сжиганию.

Подобный подход вступает в противоречие с базовыми положениями Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года, в которой одним из приоритетных направлений декларируется максимальное использование вторичных материальных ресурсов и внедрение малоотходных технологических процессов [1]. С точки зрения инженерной экологии, фитомасса омелы должна рассматриваться не как обременительный отход, требующий затрат на захоронение, а как потенциальное возобновляемое сырье, содержащее комплекс ценных химических соединений [3][6][8].

В научной литературе имеются разрозненные сведения о присутствии в тканях омелы сапонинов, флавоноидов, лектинов и вискотоксинов, обладающих поверхностно-активными, антиоксидантными и иными

биологическими свойствами [7]. Однако данные о структурно-механических характеристиках биомассы и возможности ее переработки с получением волокнистых полуфабрикатов практически отсутствуют.

Целью данной работы являлась инженерно-экологическая оценка потенциала переработки вегетативных отходов омелы белой для извлечения полезных компонентов и изучение способности сырья к волокнообразованию в условиях простейшей водно-механической обработки.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования служила свежая вегетативная масса омелы белой (листья и молодые побеги), собранная в зимний период 2026 года с древесных пород, произрастающих на территории Полесского государственного университета г. Пинска. Видовая принадлежность подтверждена морфологическими признаками согласно определителю высших растений Беларуси.

Подготовка листового сырья. Подсушенные листья измельчали с помощью ножевой мельницы до пылевидной фракции. Полученный порошок заливали водой комнатной температуры в соотношении 1:1,5 и выдерживали в течение 30 минут. По истечении указанного времени фильтровали. Влажную массу аккуратно извлекали с поверхности фильтра и перемещали в стеклянную посуду. После этого небольшое количество массы помещали между большим и указательным пальцами и выполняли серию растирающих движений с медленным разведением пальцев в противоположные стороны. Визуально при этом наблюдалось образование тонких, коротких нитей длиной до нескольких миллиметров (рис. 1).



Рисунок 1 – Тонкие нити, образующиеся при раздвижении пальцев

Подготовка ягодного сырья. Свежие ягоды омелы белой помещали в дистиллированную воду, подогретую до температуры 40–50 °С, и выдерживали в течение 15 минут. Термическое воздействие способствовало

размягчению наружной оболочки и облегчало последующее механическое вскрытие. После замачивания ягоды вскрывали, извлекали внутреннюю мякоть (мезокарпий) и подвергали её механическому растяжению. В процессе растяжения наблюдалось формирование тонких, эластичных нитей около 20 см (рис. 2).



Рисунок 2 – Мезокарпий ягоды омелы, растянутый в нить механическим путём

Микроскопическое исследование. Структуру нитей, полученных как из листовой массы, так и из мякоти ягод, изучали методом световой микроскопии. Образцы помещали на предметное стекло, накрывали покровным стеклом и рассматривали в проходящем свете. Микрофотографии полученных структур представлены на (рис. 3). Установлено, что нити представляют собой вытянутые вдоль оси растяжения волокнистые образования, иногда свитые в неплотные спирали или имеющие лентообразную форму.

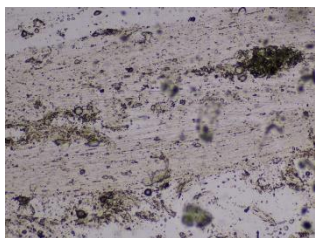


Рисунок 3 – Структура нитей под микроскопом

Приготовление экстракта и фитохимический скрининг. Листья омелы белой (5 г) растирали в фарфоровой ступке до гомогенного состояния. К полученной массе добавляли 10 мл этилового спирта (96 %) и настаивали в

течение 40 минут при периодическом перемешивании. Экстракт отфильтровывали через бумажный фильтр для удаления твердых частиц.

1. *Качественная реакция на сапонины.* В чистую стеклянную пробирку вносили 2 мл этанольного экстракта и добавляли равный объем (2 мл) дистиллированной воды. Содержимое пробирки интенсивно встряхивали вручную в течение 15 секунд до образования пены (рис. 4). Результат оценивали по высоте и устойчивости образовавшейся пены [8].



Рисунок 4 – Образовавшаяся пена после встряхивания

2. *Качественная реакция на флавоноиды (с хлоридом железа (III)).* Во вторую пробирку с 1 мл экстракта добавляли 3–4 капли 5%-го водного раствора FeCl_3 . Изменение окраски фиксировали визуально (рис. 5).



Рисунок 5 – Изменение окраски

Результаты и их обсуждение.

Реологическое поведение гидратированной массы. В ходе эксперимента установлено, что при растяжении предварительно замоченной и отжатой массы из листьев омелы наблюдается образование тонких, эластичных нитей длиной

от 2 до 20 мм. Время нахождения сырья в воде оказывает влияние на выход и качество волокон. При настаивании в течение 30 минут нити образовывались фрагментарно и легко рвались. При увеличении времени до 60 минут количество формирующихся нитей заметно возрастало, они становились более длинными и пластичными на разрыв.

Микроскопическое исследование показало, что они представляют собой вытянутые вдоль оси растяжения волокна, иногда свитые в неплотные спирали. Механизм данного явления может быть связан с частичным набуханием и гидролизом пектиновых веществ срединных пластинок растительной ткани, что приводит к высвобождению целлюлозных микрофибрилл или к коагуляции присутствующих в растении природных полимерных соединений под действием сапонинов. Данное наблюдение имеет прикладное значение: полученная волокнистая масса может служить сырьем для изготовления биоразлагаемых армирующих наполнителей в композиционных материалах либо нетканых технических полотен, что полностью соответствует принципам «зеленой» экономики [5].

Фитохимический анализ. При энергичном встряхивании водно-спиртовой смеси в первой пробирке наблюдалось обильное пенообразование. Слой устойчивой мелкопузырчатой пены сохранялся на поверхности жидкости более 3 минут. Полученная пена является классическим подтверждением присутствия в сырье тритерпеновых сапонинов [4][8]. Наличие ПАВ-компонентов в экстракте омелы открывает перспективу его использования в качестве основы для экологически мягких моющих композиций или эмульгаторов, что может быть альтернативой синтетическим тензидам.

Добавление раствора хлорида железа (III) вызвало мгновенное изменение окраски раствора со светло-желтой на интенсивный черно-зеленый оттенок. Данная цветовая реакция специфична для фенольных соединений флавоноидной природы, которые способны образовывать с ионами Fe^{3+} окрашенные хелатные комплексы [7][9]. Полученный результат свидетельствует о значительном содержании в биомассе омелы веществ с выраженной антиоксидантной активностью.

Заключение. Выполненное исследование подтверждает гипотезу о том, что вегетативные отходы омелы белой, образующиеся при санитарной очистке насаждений, являются ценным вторичным сырьем для малотоннажной химической переработки. Экспериментально доказана способность гидратированной листовой массы к формированию полимерных нитей, что может быть использовано при разработке биоразлагаемых волокнистых материалов. Качественный фитохимический анализ подтвердил наличие в составе сырья сапонинов и флавоноидов, что создает предпосылки для получения технических экстрактов с поверхностно-активными и

антиоксидантными свойствами. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию условий экстракции, количественное определение выхода целевых компонентов и разработку принципиальной технологической схемы комплексной утилизации биомассы омелы в условиях городского хозяйства.

Литература:

1. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/NSUR-2035-1.pdf>. – Дата обращения: 05.04.2026.
2. Земскова, Л. А. Лимитирующие факторы распространения *Viscum album* L. и биоиндикационные характеристики биомассы адвентивного вида в Брянской области / Л. А. Земскова, В. М. Нестеренко, Л. Н. Анищенко // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2025. – Т. 33, № 3. – С. 268–283.
3. Аджихметова, С. Л. Компонентный состав и некоторые особенности биологической активности *Viscum album* (Viscaceae) / С. Л. Аджихметова, Н. М. Червонная, Д. И. Поздняков [и др.] // Растительные ресурсы. – 2023. – Т. 59, вып. 3. – С. 228–248.
4. Муравьева, Д. А. Фармакогнозия : учебник / Д. А. Муравьева, И. А. Самылина, Г. П. Яковлев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Медицина, 2002. – 656 с.
5. Вавилов, А. В. Топливо из нетрадиционных энергоресурсов / А. В. Вавилов. – Минск : СтройМедиаПроект, 2014. – 80 с.
6. Федураев, П. В. Оценка метаболического профиля *Viscum album* L. в условиях урбанизированной среды / П. В. Федураев [и др.] // Plants. – 2022. – Vol. 11, Iss. 23. – Art. 3280.
7. Омела белая: полезные свойства и применение // Справочник лекарственных средств Видаль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vidal.ru/encyclopedia/travnik/omela-belaya>. – Дата обращения: 07.04.2026.
8. Государственная фармакопея Республики Беларусь. В 2 т. Т. 1. Общие методы контроля качества лекарственных средств / под общ. ред. А. А. Шерякова. – Молодечно : Победа, 2012. – 1220 с.
9. Атлас лекарственных растений России / под ред. В. А. Быкова. – М. : Изд-во РУДН, 2021. – 480 с.

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ДИГЕСТАТА МЕТАНОВОГО БРОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ

Николаевич В.Л., магистрант

Научный руководитель Бельская Г.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье представлен обзор современных методов по доработке дигестата – дополнительного продукта метанового брожения с целью получения топливных пеллет. Рассмотрены технологические проблемы, связанные с высоким содержанием водной фракции, проанализированы наиболее перспективные подходы по обезвоживанию дигестата.

Ключевые слова: дигестат, метановое брожение, обезвоживание, топливные пеллеты, циркулярная экономика.

Развитие биогазовых технологий в Республике Беларусь, обусловленное необходимостью переработки органических отходов животноводства, растениеводства и пищевой промышленности, а также получения возобновляемой энергии, привело к значительному увеличению количества действующих биогазовых установок.

По состоянию на 2025 г. в стране функционирует 37 комплексов различной мощности, интегрированных преимущественно в крупные агропромышленные предприятия, которые перерабатывают сырье по двум технологиям – влажной ферментации (22 установки) и сухой ферментации (15 установок).

Несмотря на очевидный ресурсный потенциал образования и складирования органических отходов, использование дигестата для производства топливных пеллет сопряжено с рядом технологических сложностей. Высокая исходная влажность (92-96%) [1], повышенное содержание минеральной составляющей (зольность до 15-35% в пересчете на сухое вещество), низкая температура плавления золы, а также гигроскопичность и неоднородность фракционного состава дигестата существенно снижают энергетическую ценность готовых гранул и ограничивают возможность их сжигания в стандартных котлах без модернизации оборудования и технологических процессов. Кроме того, дополнительные энергозатраты на сушку и гранулирование дигестата снижают экономическую эффективность его переработки в биотопливо.

Этот вопрос требует специального решения для каждого биогазового комплекса, с применением инновационных подходов для улучшения эффективности обезвоживания и улучшения качества топливных пеллет.

Физико-химические показатели: проблема высокой влажности и сложной структуры дигестата.

Дигестат, выходящий из реактора после цикла метанового брожения, характеризуется высокой влажностью – от 90% до 96% (в зависимости от вида ферментации, типа исходного сырья и конструкции реактора).

Установлено, что вода в дигестате находится в трех формах – свободной, слабо связанной и сильно связанной (Таблица 1).

Таблица 1 – Формы воды, содержащейся в дигестате

Форма воды	Время релаксации (T ₂)	Характеристика		
Свободная	100 мс	Не связана с твердыми частицами, свободно удаляется механическими методами		
Слабо связанная	40-100 мс	Удерживается капиллярными силами в порах и на поверхности субстрата		
Сильно связанная	<40 мс	Химически и осмотически связана с коллоидными структурами и органическими полимерами		

Даже после интенсивного механического обезвоживания в дигестате сохраняется преимущественно средне и сильно связанная вода, удаление которой требует значительных энергетических затрат (скрытая теплота парообразования 2260 кДж/кг) [2].

Известно, что форма содержания воды приурочена к определенным органическим субстратам (Таблица 2).

Так, зеленая масса и силос содержат 65-75% свободной воды, и только 5% - химически связанной. Это означает, что целлюлозный материал эффективно подвергается процессам механического обезвоживания. Вторичная биомасса (навоз с.-х. животных, активный ил) содержит 55-60% свободной воды и 10% связанной. Это свидетельствует о том, что вторичная биомасса подвергается обезвоживанию в средней степени. И, наконец,

крахмалистые (сахаристые) субстраты содержат до 60% связанной воды, и это их делает практически непригодными для механического обезвоживания.

Таблица 2 – Распределение форм воды в дигестате метанового брожения биомассы в зависимости от типа сырья [3]

Тип сырья	Свободная вода, %	Капиллярно-связанная вода, %	Коллоидно-связанная вода, %	Химически –связанная (клеточная) вода, %
Волокнистое (кукуруза, трава)	65-75	15-20	5-10	5
Крахмалистое (рис, зерно)	40-50	15-20	25-35	5-10
Навоз, ил	50-60	20-25	10-20	5-10

Исходное сырье, используемое в биогазовых технологиях, существенно отличается по сложности удаления сильно связанной воды из образующегося дигестата.

В Республике Беларусь в биогазовых технологиях используют разное органическое сырье. В таблице 3 представлены данные по их видам и объемам образования, с использованием данных Белстат и Минсельхозпрод за 2024-2025 года.

Таблица 3 – Виды органического сырья, используемого в биогазовых технологиях в Республике Беларусь за 2024-2025 гг.

Вид сырья	Категория сырья	Объем, тыс.тонн	Доля, %
Навоз КРС	Жиродержащее/белковое	21500	27,7
Силос кукурузы	Волокнистое	18860	24,3
Сенаж	Волокнистое	13900	17,9
Зерновые и зернобобовые	Легкогидролизуемое (крахмалы)	9100	11,7
Сахарная свекла	Смешенное (сахара/жом)	5900	7,6
Навоз свиней	Жиродержащие/белковые	5400	6,9
Картофель	Легкогидролизуемые (крахмалы)	3000	3,9

Как видно из приведенных данных, целлюлозное сырье (силос и сенаж) составляет более трети объема (39%) используемого органического сырья. Это создает благоприятные условия для успешного обезвоживания образующегося дигестата. Навоз КРС составляет около 28%. Это базовый субстрат для приготовления рецептуры бродящей смеси в реакторах. Навоз КРС относится к категории сырья со средней степенью связывания воды, что требует смешивания с волокнистыми компонентами для повышения эффективности обезвоживания.

Наиболее проблемная фракция – это крахмалистое сырье (зерно и картофель, которые составляют примерно 12,1 млн тонн или 15,3 %) – образуют большое количество внеклеточных полимерных веществ (ВПВ), что приводит к образованию сильно связанной воды (до 50 %) в дигестате [3].

Промышленные культуры (сахарная свекла примерно 5,9 млн тонн или 7,6 %) – ценность представляет прежде всего жом (отход переработки), содержащий остатки сахаров и целлюлозу. Обладает высоким энергетическим потенциалом и низкой потребностью в энергии для обезвоживания, но требует индивидуального подхода к составлению сырьевой смеси [4].

Исходя из вышеизложенного, можно констатировать, что для получения высококачественных пеллет из дигестата, необходимо регулировать входящие потоки органических материалов, используемых в биогазовых технологиях, на их пригодность к обезвоживанию. Это можно достичь путем составления специальной рецептуры бродящей биомассы, с учетом особенностей входящих компонентов, а также их наличия. Переработка органических отходов является существенной составляющей циркулярной экономики.

Литература:

1. Клясова, Ю. В., Цыганова, А. А., Бельская, Г. В. (2024). Управление осадком метанового брожения биомассы для получения биогумуса. Вестник Брестского государственного технического университета, № 1 (133), С. 144–148.
2. Matúš, M., Križan, P., Beniák, J., & Pavůčková, A. (2022). Technological conditions for the production of fuel pellets from biogas digestate. *International Journal of Advances in Engineering and Management*, 4(1), 655–661.
3. Zhao, J., Wang, Z., Li, J., Yan, B., & Chen, G. (2022). Pyrolysis of food waste and food waste solid digestate: A comparative investigation. *Bioresource Technology*, 347, 127191. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127191.
4. Dussan, K., & Monaghan, R. F. D. (2018). Integrated Thermal Conversion and Anaerobic Digestion for Sludge Management in Wastewater Treatment Plants. *Waste and Biomass Valorization*, 9, 65–85. DOI: 10.1007/s12649-016-9814-6.

МНОГОКАМЕРНЫЙ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОР ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ОТ СЕРОВОДОРОДА

Петрова К.И., бакалавр

Научный руководитель Желовицкая А.В.

***Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева, Российская Федерация, Республика Татарстан***

В данной статье приводится сравнение аппаратов для очистки сероводородсодержащих сточных вод, образующихся в процессе каталитического крекинга нефтепереработки, также рассчитаны конструктивные параметры многокамерного электрокоагулятора.

Ключевые слова: каталитический крекинг, конструктивные параметры, многокамерный электрокоагулятор, сточные воды, сероводород.

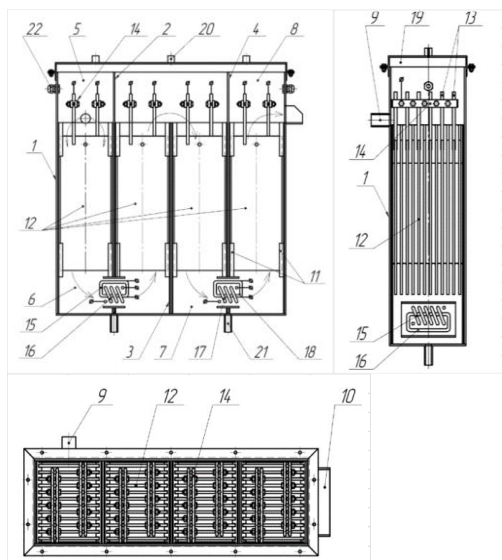
Введение

К основным экологическим проблемам нефтеперерабатывающей отрасли относятся антропогенное загрязнение окружающей среды и нерациональное использование природных ресурсов на предприятиях. Нефтеперерабатывающие заводы оказывают значительное негативное воздействие на общее состояние окружающей среды. Так ежегодно при переработке нефти в Российской Федерации ежегодно в гидросферу поступают тысячи тонн загрязняющих веществ. Наибольший вклад в общее загрязнение сточных вод сероводородами вносят установки первичной переработки нефти, каталитического крекинга, установки очистки сернисто-щелочных стоков и технологического конденсата. Сточные воды процесса каталитического крекинга содержат сероводород в концентрациях 300 мг/л, такое значение концентраций в значительной степени превышает ПДК для рыбохозяйственных водных объектов [1]. Следовательно, требуется разработка мероприятий (инженерных решений) по очистке сточных вод с целью минимизации негативного воздействия на гидросферу.

Методы исследования

Для решения данной проблемы был выполнен анализ современных технологий обработки сточных вод, содержащих сероводород [2-3] и патентно-реферативный поиск аппаратов электрокоагуляционной очистки [4-5].

На основе сравнительных технико-экономических характеристик, конструктивных особенностей электрокоагуляционных аппаратов и высокой эффективности очистки предложен аппарат на основе патента RU 2 747 770 C1 [5].



1 – корпус; 2 – перегородки для отвода газа; 3, 4 – перегородки; 5, 6, 7, 8 – камеры; 9 – подводящий патрубок; 10 – отводящий лоток; 11 – электроизолирующий материал; 12 – растворимые электроды; 13 – токопроводы; 14 – шины; 15, 16, 17, 18 – катушки электромагнитной системы в виде соленоидов; 19 – крышка; 20 – штуцер; 21 – вводные клеммы; 22, 23 – сальники
Рисунок 1 – Электрокоагулятор многокамерный

Предлагаемым аппаратом для электрокоагуляционной очистки выбран многокамерный электрокоагулятор (рис. 1) ввиду того, что при устройстве многокамерного коагулятора совместно с электромагнитной системой устраняются негативные процессы, присутствующие при обработке в однокамерном электрокоагуляторе. К таким процессам относятся затруднительное достижение результатов по коагуляционной очистке, неоправданно быстрое растворение электродов при повышении тока, а также зарастание электродов оксидным слоем, блокирующим процесс растворения. При использовании выбранного многокамерного коагулятора процесс коагуляции и удаление растворимых веществ возрастает, как и срок службы растворимых электродов, который увеличивается в 4–7 раз. При этом электрод практически не обрастает оксидным слоем. Также многокамерный коагулятор отличается тем, что витки плеча катушки перпендикулярны виткам плеча другой катушки за счет чего образуют при своей работе два взаимосвязанных перпендикулярных друг к другу электромагнитных полей и приложенный

потенциал к растворимым электродам идентичен потенциалу, приложенному к катушкам соленоидов электромагнитной системы. Конструктивные исполнения камер и катушек соленоида электромагнитной системы в едином корпусе многокамерного электрокоагулятора позволяют оказывать воздействие на водные системы в непрерывном процессе электрообработки. За счет всех перечисленных особенностей скорость осаждения крупных хлопьев взвеси, резко возрастает по сравнению с классической, традиционной схемой электрокоагуляционной обработки, что позволяет достичь глубокой очистки стоков от трудноудаляемых, хорошо растворимых веществ.

Следующим этапом на основе анализа литературных данных была выбрана методика расчета конструктивных параметров многокамерного электрокоагулятора. Для расчета габаритов электрокоагулятора с железными электродами были рассчитаны длина, ширина и высота аппарата.

$$V_{\text{ж}} = n \cdot q_{\text{ап}} \cdot \tau_{\text{эк}} = 1 \cdot 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ м}^3 \quad (1)$$

где $V_{\text{ж}}$ – полезный объем электрокоагуляционной установки, м^3 ;

n – число электрокоагуляторов, шт;

$q_{\text{ап}}$ – производительность аппарата, $\text{м}^3/\text{ч}$, принимаемая равной $2 \text{ м}^3/\text{ч}$;

$\tau_{\text{эк}}$ – продолжительность цикла очистки, ч, принимаемая $0,5 \text{ ч}$.

$$Q_{\text{эл}} = V_{\text{ж}} \cdot q_{\text{эл}} = 1 \cdot 500 = 500 \text{ А} \cdot \text{ч} \quad (2)$$

где $Q_{\text{эл}}$ – расход электричества на обработку СВ, $\text{А} \cdot \text{ч}$;

$q_{\text{эл}}$ – удельный расход электричества на обработку СВ, $\text{А} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$.

$$J = Q_{\text{эл}}/\tau_1 = 500/0,25 = 2000 \text{ А} \quad (3)$$

где J – величина тока в электрической цепи, А ;

τ_1 – продолжительность электрокоагуляционной обработки, ч, принимаемая $0,25 \text{ ч}$.

$$S_{\text{эл}} = J/i_a = 2000/120 = 16,6 \text{ м}^2 \quad (4)$$

где $S_{\text{эл}}$ – рабочая поверхность анодов (площадь электродов), м^2 ;

i_a – анодная плотность тока, $\text{А}/\text{м}^2$, принимаемая $120 \text{ А}/\text{м}^2$.

$$V_{\text{эл}} = S_{\text{эл}} \cdot \delta = 16,6 \cdot 0,005 = 0,083 \text{ м}^3 \quad (5)$$

где $V_{\text{эл}}$ – общий объем электродов, м^3 ;

δ – толщина электродных пластин, принимаемая равной $0,005 \text{ м}$.

$$M_{\text{эл}} = V_{\text{эл}} \cdot \rho_{\text{м}} = 0,083 \cdot 7800 = 647 \text{ кг} \quad (6)$$

$M_{\text{эл}}$ – общая масса электродной системы, кг ;

ρ_m – плотность материала электродов, кг/м³, для железа 7800 кг/м³.
 Так как масса одного электродного блока не должна превышать 50 кг, принимаем число блоков 13.

$$V_{мэ} = S_{эл} \cdot b = 16,6 \cdot 0,012 = 0,199 \text{ м}^3 \quad (7)$$

где $V_{мэ}$ – общий объем жидкости в межэлектродном пространстве, м³;
 b – межэлектродное расстояние, м, принятое 0,012 м.

$$V_{бл} = (V_{эл} + V_{мл})/13 = \frac{0,083 + 0,199}{13} = 0,022 \text{ м}^3 \quad (8)$$

где $V_{бл}$ – объем одного электродного блока, м³.

$$l_{бл} = \sqrt[3]{V_{бл}} = \sqrt[3]{0,022} = 0,28 \text{ м} \quad (9)$$

где $l_{бл}$ – длина ребра электродного блока, м.

$$m = l_{бл}/(\delta + b) = 0,28/(0,005 + 0,012) = 16,5 \approx 18 \text{ шт} \quad (10)$$

где m – число электродов в одном электродном блоке, шт (т.е. блок состоит из 9 катодов и 9 анодов).

$$L_{эл} = 6l_{бл} + 7l_3 = 6 \cdot 0,28 + 7 \cdot 0,07 = 2,17 \approx 2 \text{ м} \quad (11)$$

где $L_{эл}$ – длина электрокоагулятора, м;
 l_3 – учет установочных зазоров, м, принимаемый равным 0,07 м.

$$B_{эл} = l_{бл} + 2l_3 = 0,28 + 2 \cdot 0,07 = 0,42 \approx 0,5 \text{ м} \quad (12)$$

где $B_{эл}$ – ширина электрокоагулятора, м.

$$V_{ж1} = L_{эл} \cdot B_{эл} \cdot (l_{бл} + l_3) - V_{эл} = 2,17 \cdot 0,42 \cdot (0,28 + 0,07) - 0,083 = 0,236 \text{ м}^3 \quad (13)$$

где $V_{ж1}$ – объем жидкости в электрокоагуляторе, м³.

$$h_1 = l_{бл} + l_3 = 0,28 + 0,07 = 0,35 \text{ м} \quad (14)$$

где h_1 – высота верхний кромки электрокоагулятора, м.

$$h_2 = \frac{(V_{ж} - V_{ж1})}{(L_{эл} \cdot B_{эл})} = \frac{1 - 0,236}{2,17 \cdot 0,42} = 0,84 \text{ м} \quad (15)$$

где h_2 – высота слоя жидкости над электродами, м.

$$h_{ж} = h_1 + h_2 = 0,35 + 0,84 = 1,19 \text{ м} \quad (16)$$

где $h_{\text{ж}}$ – высота слоя жидкости в электрокоагуляторе, м.

Высота аппарат $H_{\text{эл}}$ с учетом установки зазоров равна 1 м.

Исходя из вышеперечисленных расчетов общие габариты электрокоагулятора равны:

$$L_{\text{эл}} \cdot B_{\text{эл}} \cdot H_{\text{эл}} = 2 \text{ м} \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} \quad (17)$$

Выводы:

Исследование подтвердило, что наиболее эффективным аппаратом для электрокоагуляционной очистки сточных вод каталитического крекинга от сероводорода является многокамерный электрокоагулятор.

Литература:

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 30–2021 «Переработка нефти». – Москва: Бюро НДТ, 2021. – 512 с.

2. Бутенко Э.О. Разработка технических решений по удалению сероводорода и сульфидов из промышленных сточных вод // Перший Незалежний Науковий Вісник. – 2015. – №1-2. С. 31-36. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnicheskikh-resheniy-po-udaleniyu-serovodoroda-i-sulfidov-iz-promyshlennyh-stochnyh-vod> (дата обращения: 18.03.2026).

3. Feng Y. Electrochemical technologies for wastewater treatment and resource reclamation / Ю.Фэн. // Environmental Science: Water Research & Technology. 2016. – V. 2. – I. 5. – P. 800-831.

4. Патент № 2664918 Российская Федерация, МПК C02F 3/30 (2006.01), C02F3/34 (2006.01), C01B 17/04 (2006.01), C02F 101/10 (2006.01). Способ удаления сульфида из водного раствора: № 2016116027: заявл. 26.09.2014: опубл. 31.10.2017 / Эрик В.; заявитель [не указан]. - [б.и.]: ил. – Текст: электронный.

5. Патент № 2747770 Российская Федерация, МПК C02F 1/463 (2006.01). Многокамерный электрокоагулятор: № 2020130097: заявл. 14.09.2020: опубл. 13.05.2021 / Демидович Я.Н.; заявитель [не указан]. - [б.и.]: ил. – Текст: электронный.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ОТ СЕРОВОДОРОДА

Петрова К.И., бакалавр

Научный руководитель Желовицкая А.В.

**Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева, Российская Федерация, Республика Татарстан**

В данной статье приводится сравнение современных технологий очистки сточных вод от сероводорода, образующихся в процессе каталитического крекинга переработки нефти, также приведена разработанная технологическая схема электрокоагуляционной очистки.

Ключевые слова: каталитический крекинг, сточные воды, сероводород, технологическая схема, электрокоагуляционная очистка.

Введение

Наибольшее распространение в практике очистки сточных вод от сероводорода получил метод электрокоагуляционной очистки с использованием железных и алюминиевых анодов. Суть способа основана на использовании постоянного электрического тока для получения растворимых анодов коагулянтов, для последующего удаления загрязняющих веществ из сточной воды. В некоторых случаях требуется предварительная биологическая очистка перед последующей очисткой или доочистка дополнительными коагулянтами и фильтрованием. Способ включает в себя окислительно-восстановительные реакции, процессы разделения веществ и коагуляции, что в совокупности позволяет эффективнее удалять сероводород из сточных вод.

Основными достоинствами электрокоагуляции являются:

- низкая чувствительность к изменениям условий процесса очистки;
- универсальность метода;
- возможность автоматизации;
- низкие эксплуатационные затраты без учета химических реагентов;
- компактность оборудования и простота управления установками;
- высокая эффективность удаления тяжелых металлов, органики и взвешенных веществ – до 90%;
- получение шлама, с хорошими структурно-механическими свойствами.

Из недостатков можно выделить следующие параметры:

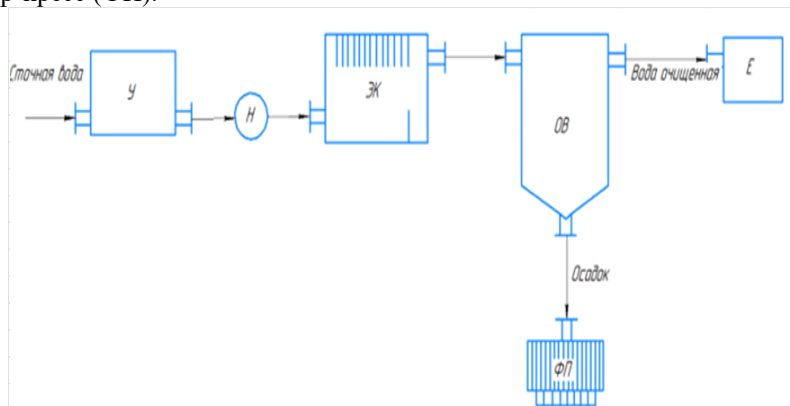
- объем полученного шлама;
- пассивация анодов при высокой минерализации стоков;

- повышенный расход электроэнергии;
- пожароопасность и взрывоопасность установки за счет выделения водорода в процессе эксплуатации;
- повышенный расход железа [1].

Методы исследования

Для решения проблемы по очистке сточных вод от сероводорода был выполнен анализ современных технологий и различных методов очистки сточных вод от H_2S [2].

Для очистки сероводородсодержащих сточных вод на нефтеперерабатывающем заводе была предложена технологическая схема электрокоагуляционной очистки сточных вод. Сточные воды, содержащие сероводород поступают в усреднитель (У), где происходит усреднение расхода и состава обрабатываемой сточной воды. Далее при помощи насоса (Н), который обеспечивает необходимое давление, сточные воды поступают в электрокоагулятор (ЭК) происходит электрогенерация частиц коагулянта с последующим взаимодействием данных частиц с частицами сероводорода. Смесь сточной воды со скоагулированным осадком направляется в вертикальный отстойник (ОВ), где происходит процесс разделения осадка коагулянта и осветленной воды. Далее очищенная и осветленная вода поступает в емкость для ее сбора (Е), а полученный осадок направляется в фильтр-пресс (ФП).



Е – емкость накопительная для очищенной воды; У – усреднитель разбавленных и концентрированных стоков; ОВ – отстойник вертикальный; Н – насос; ФП – фильтр-пресс; ЭК – электрокоагулятор с железными электродами

Рисунок 1 – Технологическая схема электрокоагуляционной очистки сточных вод от сероводорода

Литература:

1. Киреев С.Ю., Штепа В.Н., Киреева С.Н., Камардина Н.В., Маркина М.А., Балыбердин А.С. Обзор технологий электрохимической очистки сточных вод // Вестник ПензГУ. - 2025. - №4. - С. 107-110. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-tehnologiy-elektrohimicheskoy-ochistki-stochnyh-vod> (дата обращения: 04.03.2026).

2. Dermenzis K.I. Removal of sulfide and COD from model crude oil wastewater using aluminum and iron electrocoagulation // Journal of Engineering Science and Technology Review, 2016. – V. 9. – I. 1. – P. 13-16.

3. Бутенко Э.О. Разработка технических решений по удалению сероводорода и сульфидов из промышленных сточных вод // Перший Незалежний Науковий Вісник. – 2015. – №1-2. С. 31-36 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnicheskikh-resheniy-po-udalenyu-serovodoroda-i-sulfidov-iz-promyshlennyh-stochnyh-vod> (дата обращения: 18.03.2026).

4. Feng Y., Yang L., Liu J., and Logan B.E. Electrochemical technologies for wastewater treatment and resource reclamation / Ю.Фэн, Ян Л., Лю Дж., Логан Б.Э. // Environmental Science: Water Research & Technology. 2016. – V. 2. – I. 5. – P. 800-831.

5. Патент № 2593877 Российская Федерация, МПК C02F 9/04 (2006.01), C02F 1/58 (2006.01), C02F 101/10 (2006.01), C02F 103/28 (2006.01), C02F 103/32 (2006.01). Способ очистки сточной жидкости от фосфатов и сульфатов: № 2014144829: заявл. 05.11.2014: опубл. 27.05.2016 / Терещук В.С., Стаценко И.Н., Степанов И.Н.; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин): ил. – Текст электронный.

6. Патент № 2664918 Российская Федерация, МПК C02F 3/30 (2006.01), C02F3/34 (2006.01), C01B 17/04 (2006.01), C02F 101/10 (2006.01). Способ удаления сульфида из водного раствора: № 2016116027: заявл. 26.09.2014: опубл. 31.10.2017 / Эрик В., Йорна А. Веллинг Ш., Дейкман Х.; заявитель [не указан]. - [б.и.]: ил. – Текст: электронный.

7. Патент № 2641930 Российская Федерация, МПК C02F 1/58 (2006.01), C02F 1/52 (2006.01), C02F 5/08 (2006.01), C01B 17/96 (2006.01), C02F 101/10 (2006.01). Способ очистки воды от сульфатов реагентным методом: № 2015129315: заявл. 16.07.2015: опубл. 25.01.2017 / Гомеля Н.Д., Трус И.Н., Омельчук Ю.А., Храброва Е.А.; заявитель [не указан]. - [б.и.]: ил. – Текст: электронный.

МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО УЛАВЛИВАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Петрова К.И., бакалавр

Научный руководитель Желовицкая А.В., доцент

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань

В представленной статье приводятся методы улавливания углекислого газа электрохимическими способами.

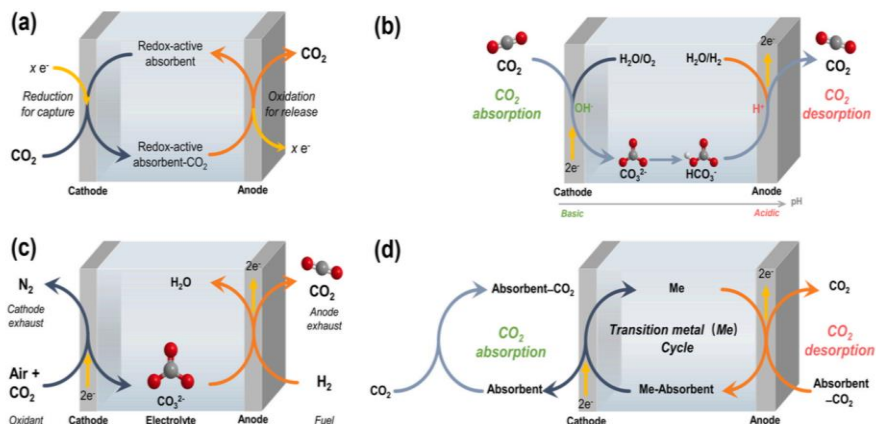
Ключевые слова: углекислый газ, электрохимические методы, электролиз

Глобальная инициатива по достижению чистого нулевого уровня выбросов стимулировала активные усилия по улавливанию, использованию и хранению углерода, направленные на сокращение выбросов углекислого газа. Новые технологии электрохимического улавливания CO₂ (Electrochemical capture - ECC) утверждают о низких энергозатратах, модульную масштабируемость и простоту внедрения, а также возможность прямой интеграции с возобновляемыми источниками энергии. Однако, несмотря на значительные исследования и заявления о отличных эксплуатационных характеристиках, возможность применения технологий ECC для крупномасштабных промышленных применений остается неопределенной. В статье анализируются фундаментальные научные принципы основных систем ECC, оцениваются их эксплуатационные преимущества и ограничения, а также их эффективность.

В настоящее время отраслевые стандарты ECC отсутствуют, поскольку данная технология в основном находится на экспериментальной стадии. Поэтому для определения ожидаемых результатов обычно проводится сравнение с коммерческим методом улавливания CO₂ и системой электролиза воды [1]. Эти показатели отражают эксплуатационные возможности ECC, включая требования к энергопотреблению, долговечность и пригодность для промышленного использования. Эффективность ECC технологий улавливания углекислого газа оценивают по следующим показателям: энергопотребление, плотность тока, постоянная Фарадея, эффективность использования электронов, коэффициент улавливания и эффективность улавливания CO₂, циклическая производительность улавливания (количество CO₂, перерабатываемого за цикл до регенерации), стабильность системы, масштабируемость (оценивает способность системы поддерживать эффективность и рентабельность при переходе от небольших операций к более крупным), воздействие на окружающую среду (оценка жизненного цикла

системы ЕСС, включая производство абсорбента, эксплуатацию и утилизацию имеет решающее значение для оценки долгосрочных экологических преимуществ технологии).

На рисунке 1 представлены системы электрохимического улавливания CO_2 .



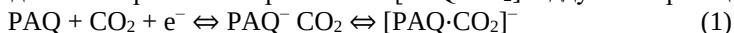
(а) система прямого окислительно-активного комплексообразования с использованием окислительно-активного носителя для улавливания CO_2 ; (б) система регулирования рН с использованием электрохимически контролируемых изменений рН для улавливания CO_2 ; (в) система расплавленного карбоната с использованием высокотемпературного расплава для улавливания CO_2 ; (д) процесс электролиза связанного амина с использованием переходного металла в качестве электрохимической среды для улавливания CO_2

Рисунок 1. Механизм действия электрохимического улавливания CO_2

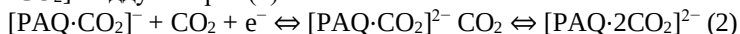
Прямое окислительно-активное комплексообразование. Метод прямого окислительно-активного комплексообразования, показанный на рис. 1а, использует окислительно-активные соединения для циклического улавливания и высвобождения CO_2 . Этот метод включает в себя редокс-активный нуклеофильный абсорбент в восстановленном состоянии, который вступает в реакцию с CO_2 с образованием стабильного промежуточного аддукта CO_2 . Затем аддукт дестабилизируется анодным окислением, высвобождая CO_2 и регенерация абсорбента. Обычными редокс-активными соединениями являются органические молекулы или комплексы переходных металлов [1].

Редокс-активное комплексообразование на органической основе. В методе используется специализированный окислительно-активный носитель, что является примером метода прямого окислительно-активного

комплексообразования. Этот подход был впервые предложен Мизеном и соавторами, которые продемонстрировали концепцию с использованием окислительно-восстановительной системы на основе 9,10-фенантренихинона (PAQ – phenanthrenequinone) [1]. Их инновационная система позволила восстановить PAQ до его анионной формы PAQ^- , которая впоследствии улавливала CO_2 , связываясь с его электрофильным центром. Это взаимодействие привело к образованию $[\text{PAQ} \cdot \text{CO}_2]^-$ аддукта по реакции (1):

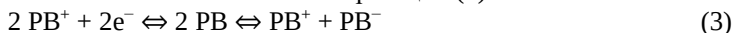


Процесс продолжался по мере того, как промежуточный $[\text{PAQ} \cdot \text{CO}_2]^-$ аддукт подвергался дальнейшему восстановлению, что позволяло ему связывать дополнительную молекулу CO_2 и образовывать более стабильный $[\text{PAQ} \cdot 2\text{CO}_2]^{2-}$ аддукт через (2):



Стехиометрический анализ метода прямого окислительно-активного комплексообразования выявил высокоэффективное использование электронов для захвата CO_2 . В частности, один моль электронов потенциально способен улавливать один моль CO_2 в системе на основе PAQ, что обеспечивает эффективность использования электронов, равную 1. Это соотношение, которое указывает на молярное соотношение между захваченным CO_2 и израсходованными электронами, отражает эффективность переноса заряда в системе.

Расширение спектра редокс-активных соединений для улавливания CO_2 , Ишида и др. исследовали потенциал электрогенерируемых нуклеофилов, с особым упором на N-пропил-4,4'-бипиридин (bipyridinium – PB^+) PB^+ – ион [1]. Этот подход основан на использовании азот (N) анион-радикалов для облегчения секвестрации CO_2 . В данном инновационном процессе ион PB^+ сначала восстанавливался до нейтральной радикальной формы PB. Затем этот промежуточный продукт участвует в реакции диспропорционирования, одновременно регенерирует ион PB^+ и приводит к образованию восстановленного иона PB^- согласно реакции (3):



После диспропорционирования анион-радикал азота (N) в ионе PB^- связывается с CO_2 , образуя стабильный аддукт, обозначаемый как $\text{PB}-\text{CO}_2^-$ (4). В анодном отделении этот связанный с азотом (N) аддукт CO_2 подвергается окислению, в результате которого регенерируется ион PB^+ и одновременно высвобождается захваченный CO_2 . Теоретически было определено, что коэффициент использования электронов в системе PB равен 0,5. Несмотря на то, что это соотношение ниже, чем в некоторых других системах, образование аддукта $\text{PB}-\text{CO}_2^-$ указывает на практичность и эффективность использования азотцентрированных радикалов для улавливания CO_2 . Успешное использование таких радикалов предлагает

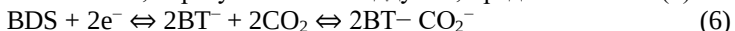
возможную альтернативу более традиционной О-анион-радикальной системе, тем самым расширяя сферу применения и потенциал технологий ЕСС.



Стремясь повысить эффективность взаимодействия анионного радикала N с CO_2 , авторы [1] представили инновационный улавливающий агент – 4,4'-бипиридин (Bip). При восстановлении этого агента образуется Bip^- , который затем соединяется с CO_2 с образованием Bip-CO_2^- аддукта, представленного (5):

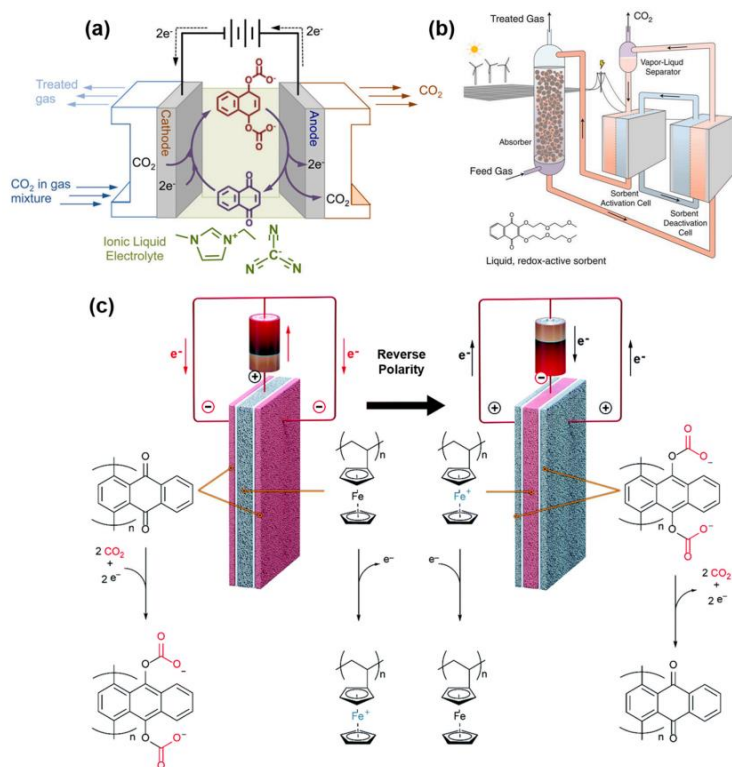


Эффективность использования электронов в системе Bip была оценена как равная 1. Это стало существенным улучшением по сравнению с системой PB, по сути, удвоив количество CO_2 , которое может быть улавливаемо на каждый использованный электрон. Это повышение эффективности не только сделало систему Bip более привлекательной с точки зрения использования ресурсов, но и выявило потенциал для дальнейшей оптимизации систем ЕСС для улавливания CO_2 . Сингх и соавт. [1] расширили процесс окислительно-активного комплексообразования с органическими химикатами на основе O или N до анион-радикальной системы на основе серы (S) с акцентом на тиолаты. Электрохимическое восстановление бензилдисульфида (BDS – benzyldisulfide) привело к получению бензилтиолат-анионов (BT^-) с помощью процесса симметричного расщепления. Эти анионы имели склонность к соединению с CO_2 , образуя BT-CO_2^- аддукты, представленные (6):



Эффективность системы бензилдисульфида (BDS) для улавливания CO_2 была отражена в коэффициенте использования электронов, равном 1, что является впечатляющим показателем, иллюстрирующим ее способность эффективно использовать электроны в процессе улавливания. Органические соединения на основе O, S и N показали значительные перспективы для улавливания CO_2 благодаря их высокой эффективности использования электронов, равной 1 [1]. Однако их склонность к протонированию может снизить эффективность улавливания [1]. Кроме того, ограниченная растворимость (обычно менее 0,5 М по сравнению с 5 М коммерческой аминной системой). Также стабильность в водной среде создает серьезные проблемы для применения в реальных условиях. Высокая концентрация растворителя необходима для увеличения расхода CO_2 на килограмм раствора, что позволяет снизить потребление дополнительной энергии (например, для насосов и воздуходувок). Чтобы решить проблему растворимости, Гуркан и др. [1] использовали ионную жидкость трицианометанид 1-этил-3-метилимидазолия [emim] [tcm] в качестве среды для растворения 1,4-NQ, способствующей обратимому поглощению CO_2 . Этот процесс показан на рис. 2а, где 1,4-NQ восстанавливается для улавливания CO_2 и образует в

последующем с углекислым газом аддукт, который затем окисляется с выделением CO_2 .



(a) трицианометанид 1,4-нафтохинона/1-этил-3-метилимидазолия; (b) жидкие хиноны; (c) композит из поли-1,4-антрахинона, нанесенный на внешние электроды

Рисунок 2. Схема процессов прямого окислительно-активного комплексообразования с использованием различных окислительно-активных носителей для улавливания CO_2

Несмотря на свою полезность, ионные жидкие растворители затруднительны в использовании из-за их высокой вязкости, дороговизны и чувствительности к воде, в то время как органические растворители вызывают проблемы со стабильностью, токсичностью и воспламеняемостью. Осознавая эти ограничения, Liu и соавт. исследовали потенциал высокочконцентрированных солей для окислительно-восстановительного улавливания CO_2 , промежуточным хиноном. Дидерихсен и др. представили

систему непрерывного улавливания углерода, не содержащую растворителей, на основе жидких окислительно-восстановительных хинонов (LQ – liquid quinones) (рис. 2b). Эта передовая система продемонстрировала потребность в энергии от 0,8 до 5 ГДж/т CO_2 , работающая при текущей плотности 4 – 14 А/м². Ли и др. расширили структурное разнообразие редокс-активных сорбентов, объединив различные основания Льюиса, такие как хиноксалин (QX - quinoxaline), 4,4'-бипиридин (BPy - bipyridine) и азопиридин (AzPy - azopyridine). Эти сорбенты, содержащие азотные центры sp^2 , обеспечивают обратимый захват и высвобождение CO_2 с помощью уникального механизма, отличного от азотных центров sp^3 , обычно используемых в аминах. Для практического применения AzPy был подвергнут проточному электролизу в лабораторных условиях, что свидетельствует о потреблении энергии в 2,7 и 3,5 ГДж/т CO_2 . Для обработки моделировались газы с концентрациями CO_2 18,5 % и 15% соответственно при плотности тока 20 А/м². Эти результаты продемонстрировали эффективность основ Льюиса в улавливании и выделении CO_2 [1].

В дополнение к реактивной окислительно-восстановительной паре на основе раствора, Воскиан и др. [1] усовершенствовали технологию улавливания CO_2 , перейдя от прямого окислительно-активного комплексообразования к твердотельным системам. Их конструкция, показанная на рис. 2с, включает в себя твердотельную систему, опосредованную поли-1,4-антрахиноном, для обратимой хемосорбции с использованием поли-1,4-антрахинона, нанесенного на электроды. Эта система улавлиwała CO_2 при отрицательном потенциале и высвобождала его при изменении полярности. PAQ-углеродная нанотрубка как композитный электрод продемонстрировала способность улавливать CO_2 при энергозатратах 0,9 – 2,0 ГДж/т CO_2 и фарадеевской эффективности более 90 %. Примечательно, что после 7000 циклов производительность электрода снизилась менее чем на 30%, что свидетельствует о значительном сроке службы. Основываясь на этой работе, Хемматифар и др. оптимизировали технологию, создав конфигурацию ячеек с биполярными электродами. Эта адаптированная система продемонстрировала исключительную энергоэффективность, потребляя всего 2,6 ГДж/т CO_2 даже при сверхнизкой концентрации CO_2 в 400 частей на миллион (0,04 %), что указывает на потенциал твердотельных окислительно-восстановительных систем для улавливания CO_2 из окружающего воздуха в будущем. Ли и др. компания представила новый класс дизайнерских сорбентов, известных как "заряженные сорбенты", которые используют процесс зарядки для накопления активных гидроксидных ионов в порах угольного электрода. В отличие от традиционных объемных карбонатов, регенерация наполненного сорбента может быть осуществлена при низких температурах (90-100°C), а электропроводность

сорбента позволяет осуществлять регенерацию при прямом джоулевым нагреве. Кроме того, группа Ли предложила материалы на основе MXene для потенциальной углеродной регенерации [1].

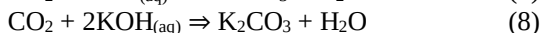
Редокс-активное комплексообразование на основе переходных металлов. Ряд комплексов металлов, содержащих двуюдерные макроциклические лиганды, потенциально могут служить эффективными редокс-активными носителями. Исследования этих комплексов показали, что их константы связывания анионов значительно превышают таковые у их мооядерных аналогов, часто на несколько порядков [1]. Эта повышенная эффективность связывания является результатом взаимодействия аниона с двумя ионами металлов, создающего “обратное хелатное кольцо” и гидрофобные условия, окружающие анион [1]. Ньюэлл и соавт. [1] разработали двухъядерный комплекс никеля (II) с лигандом (N, N', N'', N''')-тетракис-(2-аминоэтил)-1,4,8,11-тетраазациклотетрадекан), который обратимо связывает CO₂, демонстрируя заметную константу связывания 4,39 при pH 7,4. Однако его практическое применение ограничено сильно отрицательными потенциалами восстановления (меньше минус 2 В по сравнению с ферроценом/ферроцениумом), что приводит к выделению водорода и низкой фарадеевой эффективности в водных средах. В ответ на это Аппель и др. [1] ввели комплекс меди [Cu₂(tpmc)(*m*-OH)]³⁺(tpmc=N,N',N'',N'''-тетракис (2-пиридилметил)-1,4,8,11-тетраазациклотетрадекан)], способный обратимо улавливать и высвобождать CO₂ путем модулирования окислительно-восстановительного состояния пары Cu²⁺/Cu⁺, достигая значительно более положительного восстановительного потенциала минус 1,1 В по сравнению с AgCl/Ag. Лабораторные эксперименты подтвердили его практичность, позволив успешно сконцентрировать поток CO₂/N₂ в количестве 10% в продукт на 75 % состоящего из CO₂.

Метод изменения pH (рис. 1b) использует электрохимически индуцированные изменения pH для облегчения улавливания CO₂. Этот метод предусматривает поглощение CO₂ в виде карбоната (CO₃²⁻) или бикарбоната (HCO₃⁻) иона при высоком значении pH, с последующим выделением газообразного CO₂ при понижении pH. Различные методы, применяемые в pH-изменении, основаны на ЕСС включают электролиз, перенос электронов с протонной связью (PCET - proton-coupled electron transfer), мембранную емкостную деионизацию и биполярный мембранный электродиализ (BPMED - bipolar membrane electrodialysis). Эти стратегии обеспечивают динамическое и регулируемое управление для эффективного улавливания и последующего высвобождения CO₂.

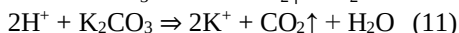
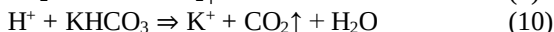
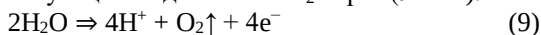
Электролиз

Методы электролиза для улавливания CO₂ обычно основываются на принципах электролиза воды или соли [1]. Stucki и др. [2] первыми

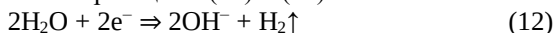
разработали при создании системы электролиза, предназначенной для улавливания CO₂ из дымовых газов, водный раствор КОН для поглощения CO₂ согласно реакциям (7) и (8):



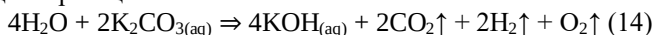
Во время анодной реакции окисления воды образуются ионы O₂ и H⁺, способствующие выделению CO₂ через (9 – 11):



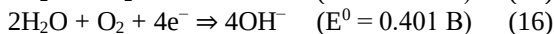
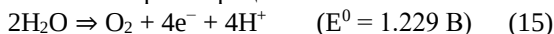
На катоде КОН регенерировался с выделением H₂ и образованием ионов OH⁻ согласно реакциям (12) и (13):



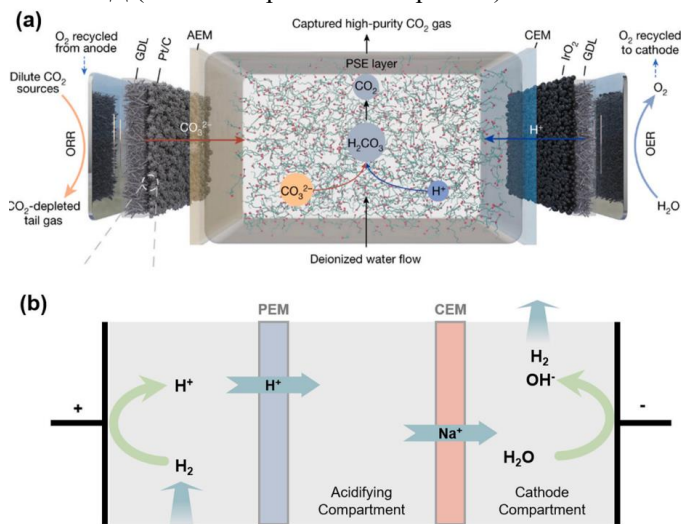
Объединяя реакции как на аноде, так и на катоде, общий процесс был обобщен в реакции 14:



Стандартный электролиз воды для получения H₂ и O₂ проводился при напряжении термодинамической ячейки 1,23 В, что приводило к теоретическому потреблению энергии в 2,7 ГДж/т CO₂ при условии, что эффективность использования электронов равна 1. При включении в систему улавливания CO₂ был необходим градиент pH - например, поддержание pH на уровне 14 для абсорбции и pH на уровне 0 для десорбции на аноде. Для облегчения этого требовалось минимальное напряжение элемента 2,06 В, что приводило к увеличению энергопотребления на 4,5 – 9,0 ГДж/т CO₂, в зависимости от преобразования CO₂ в карбонат или бикарбонат. Чтобы сократить высокие энергозатраты, связанные с традиционным электролизом, Wang и др. [3] представили новую систему обратимого окислительно-восстановительного электролиза, оснащенную механизмом рециркуляции O₂. В этой системе кислород, образующийся на аноде (15), не высвобождался, а вместо этого перенаправлялся и использовался на катоде (16) для получения гидроксид-ионов. Термодинамическое напряжение ячейки для процесса рециркуляции кислорода было рассчитано на уровне 0,83 В, что соответствует теоретической потребности в энергии в 1,8 ГДж/т, принимая коэффициент использования электронов равным 1. Этот замкнутый технологический процесс продемонстрировал потенциальный путь эффективного улавливания CO₂ за счет минимизации потерь кислорода в окружающей среде и снижения потребности в его регенерации.



Чжу и соавт. [4] разработали реактор с пористым твердым электролитом (PSE – porous solid electrolyte) для улучшения поглощения CO_2 при низких концентрациях при одновременном получении CO_2 высокой чистоты (более 99 %) (рис. 3а). Реактор, расположенный между анодной и катодной камерами системы улавливания CO_2 с рециркуляцией O_2 , работает в режиме реакции выделения кислорода (15) на аноде и реакции восстановления кислорода (16) на катоде. PSE слой способствовал критической реакции между протонами из катионообменной мембраны (CEM – cation-exchange membrane) и ионами карбоната/бикарбоната из анионообменной мембраны (AEM – anion-exchange membrane), генерируя газообразный CO_2 . Потребление энергии системой составило 3,4 ГДж/т CO_2 при плотности тока 4400 А/м² и начальном напряжении 0,8 В. Реактор также продемонстрировал впечатляющую скорость улавливания 0,137 ммоль CO_2 в минуту на 1 см² (86,7 кг CO_2 день⁻¹ м⁻²), исключительная эффективность удаления нагара (>98 %) и высокий Фарадеевский КПД (>90 % в пересчете на карбонат).



(а) рециркуляция O_2 ; (б) рециркуляция H_2

Рисунок 3. Схема изменения pH на основе электролиза для улавливания CO_2

Шу и др. представили инновационную систему обратимого окислительно-восстановительного электролиза, использующую рециркуляцию H_2 (рис. 3б) [5]. В этой системе CO_2 выделялся на аноде в результате окисления H_2 до ионов H^+ , создавая среду с низким pH, в то время как катодный отсек регенерировал щелочной раствор для улавливания NaOH путем восстановления H_2O при высоком pH. Термодинамическое напряжение ячейки для этого процесса было рассчитано при 0,83 В, при теоретической

потребности в энергии 1,8 ГДж/т CO₂, исходя из коэффициента использования электронов, равного 1. Система потребляла 8,5 ГДж/т CO₂ при плотности тока 50 А/м², производя CO₂ с чистотой более 95%. Однако увеличение плотности тока до 200 А/м² привело к увеличению энергопотребления до 12,2 ± 0,8 ГДж/т CO₂ [6] из-за более высоких перенапряжений, связанных с активацией, концентрацией и потерями сопротивления. Для решения проблемы высокого энергопотребления, Чжан и др. [7] внедрили реактор на основе PSE для регенерации CO₂, что позволило значительно снизить энергопотребление до 1,1 ГДж/т CO₂ и 2,7 ГДж/т CO₂ при текущих плотностях 10 А/м² и 1000 А/м² для бикарбоната, соответственно. Реактор продемонстрировал соответствующие промышленным требованиям скорости регенерации углерода, достигающие приблизительно 18 ммоль/(см²·ч), высокую улавливающую способность, сохраняемую примерно на 90 %, коэффициент переноса ионов Na⁺ составляет примерно 90 %, а долговременная стабильность превышает 100 часов.

Литература:

1. Changhong Wang, Kaiqi Jiang and all Review of electrochemical carbon dioxide capture towards practical application / Changhong Wang, Kaiqi Jiang, Hai Yu, Shuai Li, Yong Zhao, Zhi Zheng, Hanming Liu, Xinbing Xia, Pengfei Zhao, Yibo Li, Hong Liu, Shenghai Yang, Yu Yang, Wei Zhang, Hangbo Zheng, Fengwang Li, Kangkang Li // Next Materials. 2025. – I. 8. P. 1-23.
2. S. Stucki, A. Schuler, M. Constantinescu, Coupled CO₂ recovery from the atmosphere and water electrolysis: Feasibility of a new process for hydrogen storage // Int. J. Hydrog. Energy 20 (1995) 653–663.
3. C. Wang, H. Liu, X. Li, L. Zheng, Importance of ambient O₂ for electrochemical enrichment of atmospheric CO₂ // Ind. Eng. Chem. Res. 52 (2013) 2470–2476.
4. P. Zhu, et al., Continuous carbon capture in an electrochemical solid-electrolyte reactor // Nature 618 (2023) 959–966.
5. Q.D. Shu, L. Legrand, P. Kuntke, M. Tedesco, H.V.M. Hamelers, Electrochemical regeneration of spent alkaline absorbent from direct air capture // Environ. Sci. Technol. 54 (2020) 8990–8998.
6. Q.D. Shu, M. Haug, M. Tedesco, P. Kuntke, H.V.M. Hamelers, Direct air capture using electrochemically regenerated anion exchange resins // Environ. Sci. Technol. 56 (2022) 11559–11566.
7. X. Zhang, Z.W. Fang, P. Zhu, Y. Xia, H.T. Wang, Electrochemical regeneration of high-purity CO₂ from (bi)carbonates in a porous solid electrolyte reactor for efficient carbon capture // Nat. Energy (2024), <https://doi.org/10.1038/s41560-024-01654-z>.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Пилипенко А.Ю., магистрант

Научный руководитель Цыганова А.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье анализируются объемы нефтесодержащих отходов по годам в Республике Беларусь, а также экологические риски, связанные с ними. Рассматривается их классификация и методы утилизации, такие как термические, химические, физико-химические и биологические, для снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: нефтесодержащие отходы, утилизация, отработанные масла, образование, сжигание, пиролиз, центрифугирование, микробиологическое разложение.

На сегодняшний день в Республике Беларусь наблюдается положительная тенденция с использованием нефтесодержащих отходов: в 2022 году было использовано 84,75 тыс. тонн, а в 2024 году 91,35 тыс. тонн. В стране ежегодно образуется более 100 тысяч тонн автомобильных и промышленных масел, что не может считаться хорошим результатом. Если представить, что весь объем несобранных отработанных масел попадает в подземные и грунтовые воды, становится очевидным, что значительное количество водных ресурсов может стать непригодным для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а почвы — для сельскохозяйственных нужд. Снижения рисков возникновения данных экологических проблем можно достичь путем применения различных способов утилизации нефтесодержащих отходов [1].

Нефтесодержащие отходы (НСО) представляют собой многокомпонентные смеси, в состав которых входят нефтепродукты и другие вредные вещества. Согласно общегосударственному классификатору отходов, утвержденному постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ (Минприроды) от 09.09.2019 г. № 3-Т, к НСО относятся различные продукты переработки нефти, включая: отходы синтетических и минеральных масел; отходы жиров (смазок) и парафинов из минеральных масел; отходы эмульсий и смесей нефтепродуктов; отходы добычи нефти; шламы минеральных масел, остатки, содержащие нефтепродукты; остатки рафинирования нефтепродуктов; прочие отходы нефтепродуктов, продуктов переработки нефти.

По данным государственной статистической отчетности в 2024 г. на 4208 предприятиях Республики Беларусь образовано 111,76 тыс. тонн НСО,

в 2023 – на 4009 образовано 108,27 тыс. тонн, а в 2022 – 105,82 тыс. тонн также на 4009 предприятиях (таблица 1).

Таблица 1 – Движение нефтесодержащих отходов, образующихся в Республике Беларусь в 2022-2024 гг. (тысяч тонн)

Год	Наличие на начало года	Образовано	Использовано	Обезврежено	Захоронено	Наличие на конец года
2022	26,2	105,8	84,8	1,0	10,3	35,9
2023	35,9	108,3	92,2	0,8	12,6	38,6
2024	37,4	111,8	91,4	0,9	15,0	41,9

Нефтесодержащие отходы образуются на различных этапах производственного цикла, связанного с нефтью и нефтепродуктами [2]:

- бурение скважин;
- добыча нефти и газа;
- хранение и транспортировка нефти и нефтепродуктов;
- металлообработка и машиностроение (использование СОЖ);
- ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов.

В состав нефтесодержащих отходов могут входить взрывоопасные и легковоспламеняющиеся компоненты, в связи с чем они относятся к 3–4 классу опасности.

Нефтесодержащие отходы условно можно классифицировать по следующим типам [3]:

- безреагентной обработки сточных нефтесодержащих вод;
- реагентной обработки сточных нефтесодержащих вод;
- смешанные отходы трудно-разделяемых нефтесодержащих смесей, к которым можно отнести синтетические ПАВ, станочные эмульсии;
- масла, принимаемые на регенерацию;
- резервуарные остатки;
- придонные – скапливающиеся на дне водоемов после технологических аварий;
- грунтовые – скапливающиеся в грунте после технологических аварий.

Утилизация отходов подразумевает процесс, в результате которого отходы могут быть повторно использованы (рециклинг), возвращены в производственный цикл после обработки (регенерация) или из них могут быть извлечены полезные компоненты (рекуперация). Наиболее распространенными методами утилизации являются пиролиз и газификация.

Утилизация нефтесодержащих отходов включает в себя ряд основных методов:

- механическое обезвоживание;
- термические (сжигание, пиролиз);
- химические;
- физические;
- физико-химические;
- биологические.

Выбор метода утилизации НСО обусловлен содержанием в них нефтепродуктов. Все известные технологии переработки нефтяных шламов можно разделить на термические, химические, биологические и физико-химические [4].

Для уменьшения объема НСО и с целью повышения эффективности методов утилизации их предварительно обезвоживают. В этом процессе используют отстаивание, фильтрация, центрифугирование, разделение в гидроциклонах, сушка и вымораживание. Для фильтрации отходов с высоким содержанием нефтепродуктов применяются различные виды фильтров (например, ленточные и ручные фильтры-прессы), а для улучшения процесса нефтеотходы интенсивно перемешивают до однородности, а также добавляют реагенты (зола, полиэлектролиты и др.), изменяющие их физико-химические свойства.

Термические методы утилизации НСО включают сжигание, сушку, пиролиз и другие высокотемпературные процессы, а также комбинации. Однако ужесточение требований к охране окружающей среды обуславливает и увеличение затрат на очистку выбросов в атмосферу [4]. В результате удорожания данных методов их применение стало реже. Образующиеся при сжигании вторичные отходы (четвертый класс опасности) требуют специального захоронения и составляют примерно одну десятую от исходного объема отходов (до процесса сжигания).

Сжигание НСО может осуществляться в различных типах установок, включая камерные, циклонные и надслоевые. Для сжигания жидких нефтесодержащих отходов, включая промышленные стоки и отработанные углеводородные масла, которые не подлежат регенерации, применяется мобильная установка, состоящая из камер сгорания и выброса, нагревателя, емкости с топливом и водой, запорно-регулирующей аппаратуры, системы управления и насосов.

Более эффективными методами утилизации НСО считаются пиролиз для получения горючих газов и термическая обработка на движущемся твердом теплоносителе, нагреваемом до 350–750 °С, что позволяет получить парогазовую смесь, которая затем конденсируется и отстаивается с разделением на воду и нефтепродукты. Пиролиз требует предварительного высушивания отходов для достижения низкого уровня влажности (примерно 1–3 %). Ограничение по доступу воздуха и температуре (500–550 °С)

позволяет избежать образования токсичных продуктов сгорания, а полученные продукты в виде газа, жидкости и твердых фракций используют в качестве топлива.

Химические методы утилизации обеспечивают полное обезвреживание НСО с возможностью повторного использования полученных продуктов, основываясь на процессах экстракции растворителями и отверждения с применением неорганических (глина, жидкое стекло, цемент) и органических (полистирольные и эпоксидные смолы, полиуретаны) добавок. В результате применения данного метода утилизации образуется продукт, который может быть использован в строительстве или продан третьим лицам. Стоимость химического метода утилизации НСО примерно в два раза меньше, чем при сжигании.

Кроме того, химические методы применяют для очистки водоемов от разливов нефти. Для рассивания нефти используют эмульгирующие препараты, которые представляют собой поверхностно-активные вещества (ПАВ), разбавленные органическими растворителями. Данные препараты способны к биологическому разложению под действием бактерий. Интенсивное перемешивание нефтяных пятен с водой с помощью распыления способствует распределению отходов по водной поверхности и последующему их биохимическому окислению.

К физическим методам утилизации НСО относятся, в основном, разделение в центробежном поле, захоронение отходов на специализированных полигонах, а также вакуумное фильтрование и фильтрование под давлением.

Физико-химические методы предполагают использование специальных реагентов, которые изменяют физико-химические характеристики отходов, после чего они обрабатываются на специальном оборудовании. Среди методов разделения нефтешламов для их утилизации можно выделить экстракцию, гравитационное уплотнение, центрифугирование, замораживание, фильтр-прессование, вакуум-фильтрование и др. Наиболее перспективным считается центрифугирование с применением флокулянтов, что позволяет извлекать до 85 % нефтепродуктов и 95 % механических примесей. Обработка реагентами изменяет свойства НСО, увеличивая их водоотдачу и упрощая выделение нефтепродуктов. В настоящее время центробежный метод широко применяется для разделения нефтешламов с использованием декантеров и сепараторов.

Биологические методы утилизации НСО базируются на микробиологическом разложении нефтепродуктов в почве в местах накопления (биотермическое разложение). Этот метод считается наиболее экологичным, однако его применение ограничивается определенными условиями: кислотностью, температурой, активностью биопрепаратов,

толщиной нефтезагрязнения и аэробными условиями. Биологические методы проявляют наибольшую эффективность при обработке загрязненной почвы, водной поверхности и для утилизации нефтешламов, образующихся при очистке резервуаров и емкостей от нефтепродуктов.

Выбор метода утилизации нефтешлама зависит от состава сырья, природы нефтешлама, экологических норм, отношения содержания органических и неорганических компонентов, профиля предприятия, его технических возможностей [4].

Литература:

1. Стародубова, П. Я. Анализ способов утилизации нефтесодержащих отходов предприятий / П. Я. Стародубова // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета / Полоцкий государственный университет; ред. кол.: О. А. Романов (пред.) [и др.]. – Новополоцк : ПГУ, 2021. – Вып. 40 (110): Промышленность. – С. 156-159.

2. Эффективное обезвреживание и ликвидация отходов нефтепродуктов [Электронный ресурс]. – Электронные данные – Режим доступа: <https://barrel.by/a62937-effektivnoe-obezvrezhivanie-likvidatsiya.html>. – Дата доступа: 09.04.2026.

3. Утилизация шлама нефтепродуктов [Электронный ресурс]. – Электронные данные – Режим доступа: <https://www.ntu.by/services/utilizatsiya-nefteshlama/?ysclid=mnqik9r3do30986859>. – Дата доступа: 09.04.2026.

4. Юсевич, А. И. Вторичные виды сырья в технологии органического синтеза : учеб. пособие для студентов специальности «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий». / А. И. Юсевич, Е. И. Грушова, О. В. Куис. – Минск : БГТУ, 2012. – 164 с.

РАЗГРАНИЧЕНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И МЕТАЛЛОЛОМА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ КРИТЕРИЕВ END-OF-WASTE

Побожный В. А., Коленко Е. В., студенты

Научные руководители Ионас Е.Л., Цайц М.В.

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Беларусь

В статье анализируется проблема терминологической неопределённости и конкуренции нормативных актов при классификации объектов как отходов производства, металлолома или вторичных материальных ресурсов по законодательству Республики Беларусь. На примере отработанных свинцовых аккумуляторов и иных материальных объектов показано, что один и тот же предмет может подпадать под действие различных нормативных правовых актов, что порождает сложности в правоприменении, учёте и отчётности. Проводится сравнительный анализ подходов Беларуси, Российской Федерации и Европейского союза к определению момента утраты статуса отхода. Формулируются предложения по гармонизации законодательства в рамках ЕАЭС.

Ключевые слова: отходы производства, металлолом, вторичные материальные ресурсы, утрата статуса отхода, классификация отходов.

Современное экологическое законодательство Республики Беларусь содержит разветвлённую систему нормативных правовых актов, регулирующих обращение с отходами. Основополагающим актом в этой сфере является Закон Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З «Об обращении с отходами» [1]. Вместе с тем отдельные виды материальных объектов, по своей природе являющихся отходами, одновременно подпадают под действие специального законодательства – актов Президента Республики Беларусь и иных актов, регулирующих вопросы обращения с ломом и отходами черных и цветных металлов, а также вторичными материальными ресурсами. Пункт 7 статьи 2 Закона № 271-З прямо устанавливает, что отношения, возникающие в процессе обращения с ломом и отходами черных и цветных металлов, регулируются актами Президента Республики Беларусь и иными актами законодательства, регулирующими вопросы обращения с ломом и отходами черных и цветных металлов [1].

Правовая неопределённость статуса отработанных свинцовых аккумуляторов наиболее проявляется на примере отработанных свинцовых аккумуляторных батарей (АКБ). С одной стороны, в соответствии с Общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 021-2019 «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь», отработанные свинцовые аккумуляторы относятся к отходам 1-го класса опасности. С другой

стороны, в соответствии с ГОСТ 1639-78 «Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие технические условия», они включены в перечень лома и отходов цветных металлов (позиция 11 «Свинец и свинцовые сплавы», код АЛ – лом и отходы свинцовых АКБ). Как следствие, отработанные АКБ одновременно могут квалифицироваться и как опасные отходы, и как металлолом [2].

Указом Президента Республики Беларусь от 10 апреля 2023 г. № 93 «О порядке обращения с ломом и отходами черных и цветных металлов» установлено, что лом и отходы черных и цветных металлов, образующиеся в процессе хозяйственной деятельности у юридических лиц, подлежат обязательной сдаче юридическим лицам, имеющим лицензию на осуществление деятельности по заготовке (закупке) и первичной переработке лома и отходов черных и цветных металлов [3]. При этом Положением о порядке учета, хранения, использования и поставки (отгрузки) лома и отходов черных и цветных металлов, утверждённым постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24 мая 2023 г. № 341, определён самостоятельный порядок учёта, хранения, использования и поставки металлолома, который не регулируется законодательством об обращении с отходами [4].

В разъяснении Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 21 мая 2024 г. указано, что металлолом не включается в документы, наличие которых предусмотрено законодательством об обращении с отходами (акт инвентаризации отходов производства, формы ПОД-9 и ПОД-10, инструкцию по обращению с отходами производства) [5]. Пункт 108 экологических норм и правил ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 также прямо запрещает отражать в формах ПОД-9 и ПОД-10 информацию об отходах, отношения с которыми не регулируются законодательством об обращении с отходами [6].

В соответствии с пунктом 4 Указаний по заполнению формы государственной статистической отчетности 1-отходы (Минприроды) «Отчёт об обращении с отходами производства», утверждённых постановлением Национального статистического комитета Республики Беларусь от 30 сентября 2022 г. № 90, в данном отчёте не отражаются данные об объёмах металлолома, за исключением отходов, содержащих или загрязнённых полихлорированными бифенилами, а также отработанных свинцовых аккумуляторов [7]. Исключение для свинцовых АКБ создаёт дополнительную неопределённость: с одной стороны, они квалифицируются как металлолом, с другой – требуют отражения в статистической отчётности об отходах.

В Европейском союзе проблема разграничения отходов и продукции решается через механизм «утраты статуса отхода», закреплённый в Директиве 2008/98/ЕС [8]. В соответствии с данной Директивой, определённые виды отходов перестают быть отходами и приобретают статус продукции (вторичного сырья) при соблюдении установленных критериев. В частности, Регламент

Совета ЕС № 333/2011 устанавливает критерии, при которых лом чёрных и цветных металлов перестаёт считаться отходом, включая требования к сортировке, содержанию оксидов, а также к тому, что лом должен соответствовать спецификации заказчика, отраслевому стандарту или стандарту для прямого использования [9].

В отличие от ЕС, в законодательстве Республики Беларусь отсутствует чёткий механизм перехода отходов в категорию вторичных материальных ресурсов или продукции. Как отмечается в научной литературе, в странах ЕАЭС регулирование в данной сфере схоже с российским, но имеет свои особенности, например, понятие вторичных материальных ресурсов в Беларуси. При этом, если отходы, содержащие черные и цветные металлы, не соответствуют установленным стандартами характеристикам и техническим требованиям к лому и отходам черных и цветных металлов, Минприроды полагает необходимым осуществлять обращение с ними в рамках законодательства об обращении с отходами. Такое решение, однако, не устраняет основную проблему – отсутствие единых критериев для определения статуса объекта.

Правовая неопределённость приводит к следующим негативным последствиям: 1) субъекты хозяйствования вынуждены вести параллельный учёт одного и того же объекта по разным правилам; 2) возникает риск привлечения к административной ответственности за неправильную квалификацию объекта (например, за неотражение в статотчётности); 3) государственная статистика в сфере обращения с отходами не отражает реального положения дел; 4) затрудняется переход к экономике замкнутого цикла, поскольку отсутствуют чёткие стимулы для переработки отходов во вторичные ресурсы.

Проведённый анализ позволяет сделать вывод о необходимости совершенствования законодательства Республики Беларусь в сфере разграничения отходов производства, металлолома и вторичных материальных ресурсов. Представляется целесообразным:

- разработать и закрепить на законодательном уровне критерии утраты статуса отхода для основных видов вторичных материальных ресурсов (по аналогии с Регламентом ЕС № 333/2011);

- привести в соответствие положения Закона об отходах и Указа № 93, устранив дублирование правового регулирования в отношении отработанных свинцовых аккумуляторов и иных объектов, одновременно являющихся отходами и металлоломом;

- в рамках ЕАЭС разработать и принять модельный закон «Об обращении с отходами», который закрепит единую методологию обращения с отходами и унифицированные подходы к определению момента прекращения статуса отхода.

Литература

1. Об обращении с отходами : Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2007 г., № 271-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 29.12.2023 г. // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.
2. Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие технические условия : ГОСТ 1639-78. – Введ. 01.01.1980. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 27 с.
3. О порядке обращения с ломом и отходами черных и цветных металлов : Указ Президента Респ. Беларусь, 10 апр. 2023 г., № 93 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.
4. О реализации Указа Президента Республики Беларусь от 10 апреля 2023 г. № 93 : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 24 мая 2023 г., № 341 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.
5. Разъяснение Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 21 мая 2024 г. «Об обращении с ломом и отходами черных и цветных металлов» // Официальный сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by>. – Дата доступа: 16.05.2026.
6. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности : ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 : утв. постановлением Минприроды Респ. Беларусь 18 июля 2017 г. № 5-Т. – Минск, 2017. – 180 с.
7. Об утверждении формы государственной статистической отчетности 1-отходы (Минприроды) «Отчет об обращении с отходами производства» и указаний по ее заполнению : постановление Нац. стат. комитета Респ. Беларусь, 30 сент. 2022 г., № 90 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.
8. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives // Official Journal of the European Union. – 2008. – L 312. – P. 3–30.
9. Council Regulation (EU) No 333/2011 of 31 March 2011 establishing criteria determining when certain types of scrap metal cease to be waste under Directive 2008/98/EC // Official Journal of the European Union. – 2011. – L 94. – P. 2–11.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Подлосная Д. С., Руденя Р. Д., студенты

Научный руководитель: Вершиловский В. А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассматривается важность гидрогеологических исследований при открытой разработке месторождений полезных ископаемых в условиях высокой обводненности. Описываются методы наблюдения и анализа подземных вод для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации горных выработок.

Ключевые слова: мониторинг, горная выработка, безопасность.

В странах СНГ в настоящее время более 70% совокупного объёма добычи твёрдых полезных ископаемых обеспечивается открытым способом разработки, что обусловлено его экономической эффективностью и соответствием современному технологическому уровню.

Экологический мониторинг месторождений включает в себя систематическое изучение динамики подземных и поверхностных водных ресурсов, а также изучение геологических процессов, протекающих на территории карьерной зоны. Поэтому гидрогеологи на постоянной основе проводят наблюдения и исследовательские работы в горных выработках и на поверхности месторождения с целью выявления изменений в состоянии водных ресурсов и физико-геологических процессов.

Влияние гидрогеологических условий на процесс добычи полезных ископаемых определяется рядом факторов. Среди них присутствие поверхностных водоёмов или водотоков на участке месторождения или вблизи его границ, что может оказать существенное влияние на безопасность горных выработок.

Кроме того, физические и механические свойства песчано-глинистых отложений, степень трещиноватости и тектонической нарушенности вмещающих пород и полезного ископаемого являются важными факторами. Это касается также наличия или отсутствия карстовых явлений в рудном теле и окружающих породах.

Большое значение имеет то, насколько хорошо полезное ископаемое защищено от воды. От этого напрямую зависит безопасность добычи. Также необходимо учитывать, какой рельеф был раньше (древний, погребённый) и какой он сейчас и то, как именно планируется отрабатывать месторождение. Все эти факторы одинаково важно учитывать при проектировании горных работ.

Значительную роль играет расположение месторождения относительно рек и ручьёв, а также относительно подземных вод, озёр и рек. Всё это важно для добычи. Огромное значение имеет природа и климат в районе месторождения. От них зависит, будет ли скапливание подземных вод в месте разработки.

Чтобы добыча полезных ископаемых была эффективна, необходимо учитывать гидрогеологические условия в совокупности. В зависимости от степени сложности и трудности освоения месторождения делят на четыре группы:

- Группа 1 – месторождения с простыми гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями.

- Группа 2 – месторождения с условиями средней сложности.

- Группа 3 – месторождения со сложными условиями.

- Группа 4 – месторождения с очень сложными условиями.

До начала работы геолог или гидрогеолог должен собрать все нужные данные по месторождению и району. Далее он определяет тип подземных вод и решает ход дальнейшей работы.

Мониторинг за подземными водами необходимо проводить с самого начала, как только вскрыли месторождение. И так на протяжении всей эксплуатации месторождения. Инженер-гидрогеолог должен постоянно следить за состоянием подземных вод. Это необходимо делать при проходке всех горных выработок (разведочных, капитальных, подготовительных и тех, где добывают руду).

При изучении воды непосредственно в горной выработке, получают более точные данные, чем при обычных гидрогеологических работах. Все наблюдения фиксируются в специальном журнале. Далее на базе этих записей составляют отчет, где прописывают: какой у воды химический состав; в какой период происходил мониторинг; какой объем воды поступает в горные выработки; сколько воды поступает в выработки; как изменяется уровень воды в разных зонах; где возможны прорывы воды и тд.

При изучении собранных данных, нужно определить следующие параметры: коэффициент фильтрации; насколько устойчивыми будут выработки; как далеко вокруг выработок падает уровень воды и тд. Точное определение указанных параметров играет важную роль, поскольку на их основе разрабатываются меры по управлению подземными водами. Благодаря этим данным возможно обеспечение устойчивости бортов карьеров, уступов и отвалов, также возможно уменьшение влажности добываемого полезного ископаемого, что приведёт к повышению качества продукции и упрощению последующих технологических процессов. Снижение водопритока в карьер создает безопасные и комфортные условия труда для горнорабочих и обеспечивает бесперебойную работу горного и транспортного оборудования.

Это возможно при эффективном использовании осушительных систем, при использовании которых возможно значительно сократить капитальные и эксплуатационные затраты на откачку воды, что положительно сказывается на экономической эффективности проекта.

Гидрогеологическое изучение подземных вод при открытой разработке месторождений - это непрерывный процесс от разведки до ликвидации карьера. Современный подход базируется на численном моделировании, комплексировании полевых и лабораторных методов, а также на интеграции гидрогеологических и геомеханических данных. Только детальное знание фильтрационной структуры месторождения позволяет выбрать оптимальную схему осушения, обеспечить устойчивость бортов и минимизировать экологический ущерб.

Литература:

1. Ракишев Б.Р. Вскрытие карьерных полей и системы открытой разработки: Учебник. – Алматы, 2012. – ___с.–Ил. 129. Табл. 29. Библиогр. – 17 назв.
2. Скабалланович И.А., Седенко М.В. Гидрогеология инженерная геология и осушение месторождений: Учебник для техникумов. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 205 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Подчашенко Я. Д., Кеть В. Д., студенты

Научный руководитель Скуратович И.В.

Белорусский национальный Технический университет, Беларусь

В работе рассматривается противоречивая роль искусственного интеллекта в экологии: от потребления ресурсов до эффективного решения природоохраных задач. Проанализированы пути снижения негативного воздействия ИИ-инфраструктуры и перспективы использования технологий для защиты окружающей среды. Сделан вывод о необходимости внедрения стандартов энергоэффективности и ответственного потребления.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейросети, углеродный след, энергопотребление, дата-центры, устойчивое развитие, «зеленые» технологии.

Под искусственным интеллектом (ИИ) понимается комплекс инструментов, способных имитировать когнитивные функции человека: обучение, анализ данных, распознавание речи, образов и принятие решений.

В настоящее время ИИ охватывает различные сферы жизни, такие как технологии, экономика, образование, финансы, медицина, развлечения, библиотечное дело. Существует большое количество ИИ, они делятся по уровню возможности, по сфере применения, по функционалу.

В настоящее время искусственный интеллект требует колоссальных вычислительных мощностей, что означает потребление большого количества электроэнергии и ведет к увеличению углеродного следа. Основной вклад в ресурсопотребление вносит не «искусственный интеллект» в целом, а технологии машинного обучения, в особенности глубокие нейронные сети. Именно обучение и эксплуатация больших языковых моделей, таких как GPT, требуют больших вычислительных мощностей графических процессоров, что и является первопричиной растущего энергопотребления.

Например, каждый текстовый запрос к ChatGPT потребляет около 0,34 Вт·ч, что в десять раз больше энергии, чем аналогичный запрос в поисковике Google. Генерация одного изображения нейросетью требует столько же энергии, сколько полная зарядка смартфона. Особенно ресурсоемким является этап обучения больших языковых моделей: например, тренировка GPT-3 привела к выбросу в атмосферу такого объема CO₂, который примерно равен выбросами пяти автомобилей за весь срок их эксплуатации.

В глобальном масштабе стремительный рост популярности ИИ-сервисов приведет к тому, что к 2027 году центры, обеспечивающие их работу,

будут потреблять столько же электроэнергии, сколько вся Япония, а ежегодный прирост энергопотребления в этом секторе составит 15-20%. По прогнозам, в ближайшие 10 лет энергозатраты ИИ-дата-центров вырастут в 4 раза, что составит 1600 ТВт·ч или 4,4% мирового потребления электроэнергии.

Также применение ИИ-технологий приводит к большому потреблению воды. Мощные серверы, обрабатывающие данные, выделяют тепло, и для их охлаждения требуются испарительные системы. На каждый киловатт-час потребляемой центром энергии уходит около двух литров чистой пресной воды на испарение. Чтобы представить масштаб на примере: только на этапе обучения модели GPT-3 было израсходовано около 700 тысяч литров воды, что соответствует затратам на производство примерно 300 автомобилей или охлаждению ядерного реактора в течение суток.

Экологическая нагрузка не ограничивается воздействием нейросетей на окружающую среду во время работы. Для производства оборудования – микрочипов и серверов, используются редкоземельные металлы (литий, кобальт, тантал). Их добыча связана с разрушением экосистем, загрязнением почвы и воды, а также социальными проблемами. Дополнительную нагрузку на окружающую среду создают и электронные отходы, так как оборудование быстро устаревает.

Но, несмотря на негативное воздействие ИИ-технологий, нейросети также широко применяются для мониторинга и защиты окружающей среды, так как позволяют анализировать данные в масштабах, недоступных человеку.

Например, в Московской области нейросети круглосуточно анализируют поток видео с камер и спутников, что позволило снизить количество нелегальных свалок мусора более чем на 65%. Алгоритмы вычисляют грузовики, пытающиеся сбросить отходы в неположенном месте.

В Кузбассе ИИ-система «Экомониторинг» от МТС прогнозирует уровни загрязнения воздуха за 48 часов, давая промышленным предприятиям время скорректировать выбросы до наступления неблагоприятных метеоусловий.

В глобальном масштабе ИИ помогает спасать леса. В реальном времени ИИ отслеживает незаконную вырубку джунглей Амазонки.

В городской среде ИИ оптимизирует процессы, напрямую сокращая выбросы и потребление ресурсов. Проект Google Green Light уже снизил выбросы CO₂ на перекрестках на 30% за счет умной настройки светофоров, уменьшающей простои машин в пробках.

В сельском хозяйстве точные алгоритмы позволяют вносить удобрения и воду не на всё поле сразу, а точно – туда, где это действительно нужно, что сокращает углеродный след агросектора и предотвращает загрязнение почв.

Однако, развитие искусственного интеллекта требует разработки мер и правил пользования технологиями всеми заинтересованными сторонами (таблица 1).

Таблица 1 – Меры по снижению негативного воздействия ИИ на окружающую среду

Уровень	Предлагаемые меры
Разработчики (IT-компании)	Внедрение «углеродных метрик» для отображения экологической стоимости запросов; создание энергоэффективных архитектур, активирующих только часть нейросети для ответа; оптимизация алгоритмов, снижающая вычислительную сложность без потери точности; продление жизненного цикла оборудования.
Государство	Разработка нормативных требований к энергоэффективности центров обработки данных; введение требований по использованию возобновляемой энергии для крупных дата-центров; налоговое стимулирование «зеленых» IT-решений; поддержка исследований в области энергоэффективного ИИ.
Научное сообщество	Разработка методик оценки полного жизненного цикла ИИ-продуктов; поиск принципиально новых архитектур вычислений, имитирующих работу человеческого мозга.
Бизнес	При выборе облачных провайдеров отдавать предпочтение тем, кто использует «чистую» энергию и публикует отчеты об устойчивом развитии; использование ИИ для оптимизации собственных производственных цепочек с целью снижения выбросов.
Пользователи	Осознанный подход: отказ от генерации тысяч ненужных изображений; выбор экологичных провайдеров; информационная гигиена и понимание «цифрового следа».

Современное развитие технологий искусственного интеллекта характеризуется фундаментальным эколого-ресурсным противоречием. Ключевыми условиями достижения баланса выступают: внедрение энергоэффективных решений и возобновляемых источников энергии корпорациями, введение государствами стандартизированных норм экологической отчетности, а также минимизация избыточных пользовательских запросов. Только при соблюдении этих условий представляется возможным реализовать потенциал ИИ в интересах устойчивого развития, предотвратив его трансформацию в неконтролируемого потребителя природных ресурсов. Достижение этого баланса возможно лишь на пути междисциплинарного подхода, объединяющего усилия инженеров, экологов, законодателей и каждого отдельного пользователя, что станет важным шагом на пути к по-настоящему устойчивому цифровому будущему.

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЯМИ ФОСФОРА ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЙ

Полторан А.А., студент

Научные руководители Меженцев А.А., Костюк Н.Н.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В связи с актуальностью проблемы более эффективного использования фосфора удобрений в последнее время исследования многих ученых за рубежом и в нашей стране посвящены изучению влияния кремния на питание растений фосфатом.

Ключевые слова: фосфат кремния, фосфорные и азотные удобрения, питательные вещества, урожайность, радиационное загрязнение

Анализируя литературные данные можно выделить следующие основные факторы положительного влияния кремния на урожайность растений:

1. Физиологическое действие, способствующее увеличению поступления фосфора в растения или замена в экстремальных условиях фосфора на кремний;
2. Обеспечение устойчивости растений к грибковым заболеваниям;
3. Повышение устойчивости зерновых культур к полеганию;
4. Повышение растворимости почвенных фосфатов и снижение фиксации фосфора удобрений почвой;
5. Улучшение питательного режима почвы в результате усиления микробиологической активности почвы [1, 2].

В сельском хозяйстве нашей страны и за рубежом проводятся испытания удобрений, содержащих в своем составе кремний. Пригодные в качестве удобрения кремнийсодержащие материалы можно подразделить на две группы:

1. Природные силикаты и отходы промышленного производства;
2. Искусственно полученные кремнийсодержащие удобрения.

Учитывая более высокую эффективность совместного внесения в почву кремния и фосфора, и также способность фосфатов кремния к постепенному освобождению фосфат-ионов, представляется актуальным проведение широких агрохимических исследований фосфатов кремния в качестве удобрений пролонгированного действия.

Благодаря способности постепенного выделения при гидролизе свободной фосфорной кислоты, а также способности ионообменного поглощения радиоактивных элементов, фосфат кремния может быть использован для получения удобрений с регулируемым освобождением

питательных веществ, и обладающих способностью снижать уровень радиоактивного загрязнения продукции

Из литературы следует, что присутствие кремния в удобрениях оказывает положительное влияние на азотный и фосфатный режим питания растений, урожайность, засухо- и морозоустойчивость. Поэтому представлялось актуальным исследование возможности использования фосфата кремния в качестве покрытия на гранулы или в качестве добавки к азотсодержащим удобрениям.

В поглощении фосфора растениями важную роль играет десорбция фосфатов с поверхности почвенных минералов. Поэтому частичная десорбция растворенной кремнекислоты вносит положительный вклад в процесс адсорбции фосфора растениями.

Был разработан способ получения карбамида с использованием в качестве покрытия на гранулы фосфата кремния [3] и совместно с БелНИИПа проведены агрохимические исследования полученного удобрения и фосфата кремния в качестве фосфорного удобрения [4]. Получение карбамида осуществлялось путем обработки гранул карбамида водной суспензией нейтрализованного фосфата кремния с последующей сушкой. Результаты агрохимических исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты исследования агрохимических свойств карбамида в оболочке фосфата кремния

№ опыта	Объект	Масса нейтрализующей добавки, %	pH водной вытяжки	Масса защитного покрытия, %	Прочность гранул, МПа	Прибавка урожая, %
1	2	3	4	5	6	7
1	Карбамид в оболочке фосфата кремния	5,0	6,1	6	2,82	20,50
2		7,5	6,7	8	2,95	21,50
3		10,0	7,0	10	3,06	20,90
4		4,0	4,9	4	2,80	13,80
5		12,0	8,2	12	3,13	9,50
6	Карбамид в оболочке дикальций-фосфата	-	6,4	14	2,0	6,02
7	Карбамид без покрытия	-	-	-	1,6	-

В опытах 1,3,5 состав нейтрализованного фосфата кремния, СаО – 4,89; (%) SiO₂ – 45,0; P₂O₅ – 44,7; H₂O – 5,41, нейтрализацию осуществляли СаО.

В опытах 2,4 состав нейтрализованного фосфата кремния, СаО – 2,78; (%) SiO₂ – 48,9; P₂O₅ – 32,4; H₂O – 15,9, нейтрализацию осуществляли мелом.

Содержание цезия – 137 в зерне, Бк/кг:

Карбамид в оболочке фосфата кремния – 47,9 – 50,3;

Карбамид в оболочке дикальций-фосфата – 66,7;

Карбамид без покрытия – 64,7.

Количество наносимого защитного покрытия на гранулы составляет 6 – 10% от общей массы получаемого удобрения.

Кальцийсодержащий щелочной реагент вводили для нейтрализации остаточной кислотности фосфата кремния до рН водной вытяжки, равной 6 – 7.

Увеличение агрохимической эффективности удобрения обусловлено способностью фосфата кремния к постепенному выделению фосфат-ионов, а также наличием растворимых форм кремния в почвенном растворе, что увеличивает доступность фосфатов почвы и удобрений. Снижение уровня загрязнения продукции связано со способностью фосфата к ионнообменному поглощению радиактивностью Cs¹³⁷.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что применение фосфата кремния в качестве добавки к удобрению или покрытия на гранулы карбамида существенно увеличивает прочность гранул, удобрение характеризуется более высокой агрохимической эффективностью и способно снижать уровень радиоактивного загрязнения продукции.

Литература

1. Приходько, Н.Е. Формы соединений кремния в почвах элювиального ряда на примере Восточно-Европейской орации / Е.Н. Приходько : автореф. дис. ... канд. биол. наук : М.: МГУ, 1979. – 22 с.

2. Аскинази, Д.Л. Пути повышения на красноземех доступности растениям P₂O₅ / Д.Л. Аскинази, И.П. Санникова // Новое в удобрении. – М.: Сельхозгиз. – 1937. – Вып. 2. – С. 88 – 109.

3. Способ получения карбамида с фосфатным покрытием : ав. свид. 1616057 СССР, МКИ³ C05 C 9/00 / В.В. Печковский, Е.Д. Дзюба, С.И. Кулешова, А.Н. Мурашкевич, А.А. Меженцев.

4. Азотсодержащее удобрение : ав. свид. 1616053 СССР, МКИ³ C05 C 9/00 / И.М. Богдевич, Г.В. Пироговская, И.А. Юшкевич, А.Н. Мурашкевич, А.А. Меженцев.

АТОМНО-АБСОРБЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА

Поплавская О.Е., магистрант

Научный руководитель Габдрахманова Г.Н.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», Казань

Разработана методика атомно-абсорбционного определения ионов железа в сточных водах производства синтетического каучука. Построен градуировочный график ($R^2 = 0,9991$). Установлена высокая эффективность адсорбционной очистки (97,6%). Методика рекомендована для производственного экологического контроля.

Ключевые слова: сточные воды, эффективность очистки, атомно-абсорбционная спектрометрия, спектрофотометр АА-7000.

Современное промышленное производство синтетического каучука методом эмульсионной полимеризации сопровождается образованием значительных объемов сточных вод, насыщенных разнообразными органическими и неорганическими загрязнителями. Согласно Постановлению Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398, предприятия по производству синтетического каучука относятся к I категории объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, что обуславливает необходимость внедрения эффективных систем очистки и регулярного производственного экологического контроля [1].

Особую опасность среди загрязняющих веществ представляют ионы тяжелых металлов, в частности соединения железа (II, III), которые обладают способностью к биоаккумуляции и оказывают токсическое действие на гидробионты. Сточные воды завода синтетического каучука характеризуются концентрацией ионов железа до 12 мг/л, что в 40 раз превышает установленную предельно допустимую концентрацию (ПДК = 0,3 мг/л). Помимо железа, в сточных водах присутствуют сульфаты (199 мг/л, превышение ПДК в 1,99 раза), нитриты (0,142 мг/л, превышение в 1,78 раза), взвешенные вещества (50 мг/л, превышение в 200 раз) и органические соединения с высоким показателем БПК полного (5,6 мг/л, превышение в 1,86 раза).

Для обеспечения экологической безопасности и объективной оценки эффективности работы очистного оборудования необходим чувствительный, селективный и воспроизводимый метод анализа, способный определять низкие концентрации металла после очистки (на уровне ПДК и ниже). Этим требованиям в полной мере отвечает метод атомно-абсорбционной

спектрометрии (ААС), который является «золотым стандартом» для определения тяжелых металлов в природных и сточных водах.

Объектом исследования служили сточные воды завода синтетического каучука, отобранные в двух точках: на входе в адсорбционную установку и на выходе из нее. Отбор проб осуществляли в соответствии с требованиями ПНД Ф 12.15.1-08, пробы консервировали азотной кислотой до $\text{pH} < 2$ и хранили в полиэтиленовой таре при температуре 4°C [2].

Производственный экологический контроль на предприятии включает следующие мероприятия: организация регулярного экологического мониторинга в контрольных точках; выявление источников загрязнения и установление лимитов сбросов; контроль соблюдения нормативов допустимых сбросов (НДС); документирование результатов анализа для отчетности в надзорные органы. Периодичность контроля ионов железа установлена ежемесячно, что позволяет оперативно реагировать на возможные нарушения технологического режима очистки.

Количественное определение массовой концентрации ионов железа (II, III) выполняли на атомно-абсорбционном спектрофотометре «АА-7000» с пламенным атолизатором. Прибор оборудован трехмерной двухлучевой оптической системой, охватывающей диапазон длин волн от 185 до 900 нм, автоматической сменой и юстировкой атолизаторов, а также двойной системой коррекции фона [3].

Условия анализа: длина волны 248,3 нм (резонансная линия железа), ширина щели 0,2 нм, источник излучения – лампа с полым катодом на железо. Пламя формировали смесью ацетилена (расход 1,5 л/мин) и воздуха (расход 8,0 л/мин), температура в зоне атолизации составляла $2000\text{--}2300^{\circ}\text{C}$. Каждый образец распыляли трехкратно, регистрировали среднее значение абсорбции. Фоновую коррекцию проводили по дейтериевой лампе для учета неселективного поглощения.

Приготовление градуировочных растворов осуществляли из государственного стандартного образца железа с концентрацией 1 мг/см^3 . Рабочий раствор с массовой концентрацией 100 мг/дм^3 готовили следующим образом: $5,0\text{ см}^3$ стандартного раствора переносили в мерную колбу вместимостью 50 см^3 , после чего объем довели до метки раствором азотной кислоты (1:1). Далее в мерных колбах вместимостью 100 см^3 готовили серию градуировочных образцов с концентрациями железа: 0,07736; 0,11602; 0,12153; 0,12773; 0,16204; 0,17374; 0,20061; 0,26132; 0,28365 и 0,83181 мг/л. Все растворы доводили до метки раствором азотной кислоты. Приготовленные градуировочные образцы хранили не более 1 месяца в темном прохладном месте.

Для каждого градуировочного раствора проводили измерения абсорбции при установленных параметрах. Полученные экспериментальные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальные данные для градуировочных растворов

Номер образца	Концентрация Fe, мг/л	Абсорбция, отн. ед.
1	0,07736	0,0881
2	0,11602	0,1307
3	0,12153	0,0475
4	0,12773	0,1436
5	0,16204	0,1814
6	0,17374	0,1943
7	0,20061	0,2239
8	0,26132	0,2908
9	0,28365	0,3154
10	0,83181	0,9194

Как видно из таблицы, наблюдается четкая зависимость между концентрацией железа и величиной абсорбции: с ростом концентрации от 0,077 до 0,832 мг/л абсорбция увеличивается с 0,0881 до 0,9194 отн. ед.

Анализ полученных данных показал, что образец №3 является статистическим выбросом – его абсорбция примерно в три раза ниже ожидаемой. Вероятной причиной могла быть ошибка при приготовлении данного градуировочного раствора либо загрязнение кюветы. Данный образец был исключен из дальнейшей обработки. Для оставшихся девяти образцов был построен градуировочный график в координатах «концентрация – абсорбция». На рисунке 1 представлен градуировочный график зависимости абсорбции от концентрации железа.

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9991$, что свидетельствует о высокой степени линейной зависимости и пригодности градуировочного графика для количественных определений. Чувствительность метода, рассчитанная как утроенное стандартное отклонение холостого опыта, деленное на угловой коэффициент градуировочного графика, составила 0,02 мг/л. Это значение позволяет надежно контролировать содержание железа в очищенной воде на уровне ПДК (0,3 мг/л) и ниже.

Разработанная методика была апробирована при анализе реальных проб сточных вод завода синтетического каучука. Пробы отбирали до поступления воды на адсорбционную установку и после нее. В качестве сорбента использовали природный цеолит фракцией 1-3 мм, который обладает высокой ионообменной способностью по отношению к катионам железа [4].

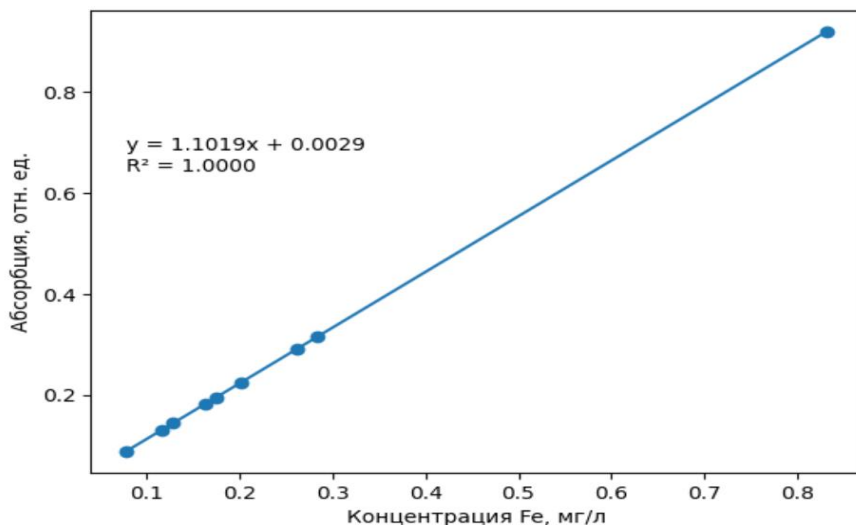


Рисунок 1 – Градуировочный график зависимости абсорбции от концентрации железа

Обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов позволила получить уравнение линейной регрессии:

$$A = 1,102 \cdot C + 0,0037 \quad (1)$$

где A – абсорбция (отн. ед.); C – массовая концентрация железа (мг/л).

Результаты контроля эффективности адсорбционной очистки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – результаты контроля эффективности очистки

Точка отбора	Концентрация Fe, мг/л	Абсорбция, от. ед.	Степень удаления, %
Вход в адсорбер (исходная вода)	$11,9 \pm 0,6$	13,12	-
Выход из адсорбера (очищенная вода)	$0,28 \pm 0,03$	0,312	97,6

Анализ данных таблицы 2 показывает, что исходная сточная вода содержит ионы железа в концентрации $11,9 \pm 0,6$ мг/л, что подтверждает 40-кратное превышение ПДК. После прохождения через адсорбер с цеолитовой загрузкой концентрация железа снижается до $0,28 \pm 0,03$ мг/л, что ниже установленного норматива. Степень удаления загрязнителя, рассчитанная по формуле 2:

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\% \quad (2)$$

Относительная погрешность измерений, оцененная по результатам трех параллельных определений для каждой пробы, не превышает 7%, что допустимо для задач производственного контроля. Воспроизводимость метода для концентрации 0,3 мг/л составила 5,2%, что соответствует требованиям ПНД Ф 14.1:2:4.139-98.

Предложенная методика атомно-абсорбционного определения железа позволяет не только контролировать соблюдение нормативов ПДК, но и объективно оценивать эффективность работы адсорбционного оборудования. Полученные данные подтверждают, что адсорбция на природном цеолите является высокоэффективным методом очистки сточных вод от ионов железа.

Литература:

1. Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» // Собрание законодательства РФ. – 2021. - № 2. – Ст. 428.
2. ПНД Ф 14.1:2:4.139-98. Методика измерений массовых концентраций кобальта, никеля, меди, цинка, хрома, марганца, железа, серебра, кадмия и свинца в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-абсорбционной спектроскопии. – М., 1998. – 25 с.
3. Ганеев, А.А. Атомно-абсорбционный анализ : учеб. пособие / А.А. Ганеев, С.Е. Шолупов, А.А. Пупышев, А.А. Большаков. – СПб. : Лань, 2022. – 80 с.
4. Тунакова, Ю.А. Использование природного цеолита для очистки вод / Ю.А. Тунакова, В.С. Валиев, Г.Н. Габдрахманова // Ползуновский вестник. – 2024. – № 1. – С. 179–185.

ОЦЕНКА НЕКАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ВОДОЕМОВ ИОНАМИ ЖЕЛЕЗА ОТ ПРОИЗВОДСТВ СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА

Поплавская О.Е.,¹ магистрант

Габдрахманова Г.Н.,² к.х.н., старший преподаватель КНИТУ-КАИ

^{1, 2} ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», Казань

В статье выполнена оценка неканцерогенного риска при поступлении ионов железа с питьевой водой. Индекс опасности до очистки составляет 9,85, после адсорбции на цеолите снижается до 0,13. Обоснована необходимость применения адсорбционных технологий как меры минимизации экологического ущерба.

Ключевые слова: неканцерогенный риск, ионы железа, адсорбционная очистка, коэффициент опасности.

Предприятия по производству синтетического каучука эмульсионной полимеризации относятся к числу наиболее значимых источников антропогенного воздействия на водные объекты. Сточные воды таких производств содержат широкий спектр загрязнителей, включая момеры (стирол, бутадиен), поверхностно-активные вещества, сульфаты, нитриты, а также ионы тяжелых металлов. Согласно данным производственного мониторинга, концентрация общего железа в неочищенных стоках достигает 12 мг/л, что в 40 раз превышает установленную предельно допустимую концентрацию.

Железо, поступающее в поверхностные водоемы со сточными водами, при использовании воды для хозяйственно-питьевых целей создает дополнительную нагрузку на организм человека. Хроническое поступление повышенных концентраций железа ассоциировано с поражением желудочно-кишечного тракта, нарушением всасывания микроэлементов и окислительным стрессом [1].

Оценка неблагоприятных производственных факторов оценены на 80 рабочих местах, используя материалы специальной оценки условий труда и сведения производственного мониторинга. Здоровье 674 сотрудников обследовано в ходе регулярных медосмотров. Наиболее многочисленные группы обследованных составили аппаратчики (33,2%), слесари по ремонту технологического оборудования (12,8%), операторы насосных и компрессорных установок (10,7%), специалисты по контрольно-измерительным приборам и автоматике (КИПиА) (9,1%). Оценка здоровья осуществлялась в привлечении комплекса клинических, лабораторных и

инструментально-функциональных методов диагностики. Установлено, что рабочие зоны выпуска синтетического каучука характеризуются сочетанием негативных влияний химических реагентов, производственного шума, тяжести труда и локальным воздействием микроклиматических условий [30].

Количественное и (или) качественное исследование угрозы здоровью человека предполагает выявление вероятности возникновения негативных последствий для конкретной группы населения, обусловленных существующим или возможным влиянием факторов внешней среды в определенных условиях экспозиции.

В настоящее время термин «риск» имеет множество определений. Согласно федеральному закону №184-ФЗ «О техническом регулировании», под риском понимается вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

При анализе риска формирования неканцерогенных эффектов принимается допущение о наличии порогового уровня, ниже которого негативные воздействия отсутствуют. Безопасные уровни воздействия – такие дозы или концентрации химических веществ, воздействие которых на популяцию, включая ее чувствительные подгруппы, не вызовет каких бы то ни было уловимых вредных эффектов. В ситуациях сложного поступления вещества несколькими путями (через пищеварительную систему, кожу, вещества несколькими путям (через пищеварительную систему, кожу, дыхательные пути) и комбинированного влияния множества химических соединений предполагается суммирование (аддитивность) отдельных рисков.

Оценка неканцерогенного риска выполнялась в соответствии с методологическими подходами, изложенными в руководстве Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» и методических рекомендациях МР 2.1.4.0032-11 [2].

Моделировалась ситуация хронического перорального поступления загрязняющих веществ с питьевой водой. В качестве реципиента выбрана детская возрастная группа (масса тела 15 кг, суточное водопотребление 2 л, частота воздействия 350 дней/год, продолжительность экспозиции 6 лет, период осреднения 6 лет). Такой выбор обусловлен повышенной чувствительностью детского организма к токсическим воздействиям и более высокой удельной дозой на единицу массы тела по сравнению со взрослыми.

Суточная доза поступления D /мг/кг ·день) рассчитывалась по формуле (1):

$$D = \frac{C_w \cdot V \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365} \quad (1)$$

где C_w – концентрация вещества в воде, мг/л; V – объем водопотребления, л/сут; EF – частота воздействия, дней/год (350); ED – длительность воздействия, лет; BW – масса тела, кг; AT – период осреднения.

Коэффициент опасности (HQ) для отдельного вещества определялся как отношение суточной дозы к референтной дозе (RfD) рассчитывался по формуле (2):

$$HQ = \frac{D}{RfD} \quad (2)$$

При $HQ < 1$ риск считается приемлемым; при $HQ \geq 1$ – неприемлемым, требующим принятия управленческих решений.

При расчете индексов опасности рекомендуется учитывать критические органы/системы, подверженные воздействию изучаемых веществ, поскольку при воздействии компонентов смеси на одни и те же органы или системы организма наиболее вероятным типом их комбинаторного действия является суммация. Такой подход, применяемый при оценке риска неканцерогенных воздействий, несмотря на свой консерватизм и возможное завышение реальной угрозы здоровью, является более обоснованным по сравнению с независимым оцениванием каждого компонента отдельно либо предположением об абсолютной аддитивности элементов смеси.

При одновременном воздействии нескольких веществ, влияющих на одни и те же органы – мишени, рассчитывался индекс опасности (HI) как сумма коэффициентов опасности по формуле (3):

$$HI = \sum HQ_i \quad (3)$$

Перечень анализируемых веществ включал: железо общее, нитрит-ионы, сульфат-ионы, взвешенные вещества и биохимическое потребление кислорода (БПК полный). Референтные дозы (RfD) приняты согласно международным и отечественным справочным данным.

Исходные данные концентрации загрязняющих веществ в сточной воде до очистки: железо – 12 мг/л, нитриты – 0,142 мг/л, сульфаты – 199 мг/л, взвешенные вещества – 50 мг/л, БПК полный – 5,6 мг/л. Объем водопотребления принят 2 л/сут, что соответствует физиологической норме для ребенка, массой 15 кг.

Коэффициенты опасности рассчитывались с использованием референтных доз: для железа $RfD = 0,3 \text{ мг/кг} \cdot \text{день}$; нитритов – 3,0; сульфатов – 500; взвешенных веществ – 1,5; БПК полный – $3,0 \text{ мг/кг} \cdot \text{день}$.

Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты опасности и индекс опасности до очистки сточных вод

Загрязняющее вещество	Суточная доза D, мг/кг · день	RfD, мг/кг · день	Коэффициент опасности HQ	Критический орган/система
Железо общее	1,60	0,3	5,33	Печень, ЖКТ
Нитрит-ионы	0,0182	3,0	0,006	Кровь (метгемоглобин), ЖКТ
Сульфат-ионы	25,45	500	0,051	ЖКТ, почки
Взвешенные вещества	6,39	1,5	4,26	Дыхательная система
БПК полный	0,716	3,0	0,239	ЖКТ
Индекс опасности HI	-	-	9,85	

Анализ таблицы показывает, что коэффициент опасности для железа многократно превышает пороговое значение, что характеризует риск как неприемлемо высокий. Вклад железа в суммарный индекс опасности составляет 54,1%. Взвешенные вещества также дают значительный $HQ = 4,26$, что связано с возможным содержанием на их поверхности сорбированных органических и неорганических токсикантов. Нитриты, сульфаты и БПК вносят незначительный вклад (суммарно менее 3%). Общий индекс опасности $HI = 9,85$ почти в 10 раз превышает допустимый уровень, что свидетельствует о высокой вероятности развития неблагоприятных эффектов у населения, особенно у детей.

На основании патентно-реферативного обзора и экспериментальных данных для очистки сточных вод от ионов железа предложен адсорбционный метод с использованием природного цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения. Выбор сорбента обусловлен его высокой ионообменной ёмкостью по отношению к катионам Fe^{2+} и Fe^{3+} , механической прочностью, химической стойкостью и доступностью. Оптимальная фракция сорбента — 1–3 мм.

Эффективность удаления железа в лабораторных и расчётных условиях достигла 97,5 %, остаточная концентрация — 0,3 мг/л (соответствует ПДК). После внедрения очистки суточная доза железа снижается до:

$$D_{\text{после}} = \frac{0,3 \cdot 2 \cdot 350 \cdot 6}{15 \cdot 6 \cdot 365} = 0,04 \text{ мг/кг} \cdot \text{день}$$

Коэффициент опасности после очистки:

$$HQ_{\text{после}} = \frac{0,04}{0,3} = 0,13$$

Значение $HQ = 0,13 < 1$ характеризует риск как приемлемый (минимальный). Снижение коэффициента опасности по сравнению с исходным уровнем составляет более 40 раз. Индекс опасности по железу после очистки не превышает 0,13, что соответствует санитарно-гигиеническим нормативам [3].

Сравнительный анализ показывает, что основным фактором, формирующим неприемлемый уровень неканцерогенного риска, является повышенное содержание железа в сточных водах. Даже при соблюдении нормативов по другим показателям (нитриты, сульфаты, БПК) высокие концентрации железа создают реальную угрозу здоровью населения. Особую тревогу вызывает тот факт, что в зоне влияния предприятия находятся населённые пункты, использующие воду из реки Волга для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Литература:

1. Тунакова Ю.А., Валиев В.С., Габдрахманова Г.Н. Использование природного цеолита для очистки вод // Ползуновский вестник. 2024. № 1. С. 179–185.
2. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.
3. МР 2.1.4.0032-11. Оценка риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих питьевую воду. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 28 с.

РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ КАК ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Пригодский Г.В., студент

Научные руководители Скуратович И.В., Зеленуха Е.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассмотрены источники радиационного загрязнения окружающей среды – природные и техногенные радионуклиды, их воздействие на здоровье человека, экосистемы и социально-экономическую сферу. Представлена структура радиационного мониторинга в Республике Беларусь. Приведены данные о текущей радиационной обстановке. Описаны способы снижения содержания радионуклидов в продуктах питания. Сделан вывод о стабильности радиационной обстановки в республике при сохранении необходимости постоянного мониторинга и соблюдения радиационно-гигиенических норм.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, радионуклиды, цезий-137, стронций-90, мощность дозы гамма-излучения, экологическая безопасность, Чернобыльская АЭС.

Радиационное загрязнение представляет собой повышение естественного фона ионизирующего излучения вследствие присутствия природных или техногенных радионуклидов. Для Республики Беларусь, значительная часть территории которой подверглась радиоактивному загрязнению после аварии на Чернобыльской АЭС, проблема радиационного мониторинга и обеспечения экологической безопасности остаётся приоритетной. Цель данной работы – проанализировать источники, последствия радиационного загрязнения, систему мониторинга в Республике Беларусь и меры защиты населения.

Радионуклиды подразделяются на природные и техногенные. Природные радионуклиды находятся в земной коре (уран-238, торий-232, калий-40), а также образуются под действием космических лучей. Основным источником дозовой нагрузки для человека – радон (Rn) и его дочерние продукты распада, накапливающиеся в воздухе помещений. Техногенные радионуклиды поступают в окружающую среду в результате деятельности человека: ядерные испытания, аварии на АЭС (Чернобыль, Фукусима), работа предприятий ядерного топливного цикла. Наиболее значимые техногенные радионуклиды – цезий-137, стронций-90, йод-131, плутоний-238, плутоний-239, плутоний-240, америций-241.

Ионизирующее излучение вызывает острые лучевые болезни, локальные лучевые ожоги, хронические заболевания, рак, лейкозы и врождённые пороки развития. Характеристика основных техногенных радионуклидов по их биологическому действию представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика радионуклидов

Цезий	Основной дозообразующий радионуклид в позднюю фазу аварии на ЧАЭС. Высоко токсичен. Его главные депо в организме – мышцы, сердце и печень. Вызывает развитие опухолей.
Стронций	Изотопы стронция накапливаются в костях скелета, в позвонках, в зонах активного роста и перестройки костей, в скелете плода и нарушают обмен веществ. Изменяют состояние генетического аппарата костных клеток и способствуют развитию костных опухолей.
Плутоний	Изотопы плутония накапливаются в костях, печени, лёгких и вызывают развитие хронической анемии, остеопороза, рака костей, лёгких и др.
Америций	Чрезвычайно токсичен, является одним из основных долгоживущих загрязнителей после аварии на ЧАЭС.

Загрязнение почвы, водоёмов и атмосферы приводит к накоплению радионуклидов в трофических цепях, что вызывает деградацию флоры и фауны. Радиационное загрязнение вызывает и социально-экономические последствия: отчуждение территорий, непригодность продуктов питания, необходимость переселения населения, экономические убытки.

Радиационный мониторинг осуществляется Республиканским центром по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды и проводится по следующим направлениям (рисунок 1).

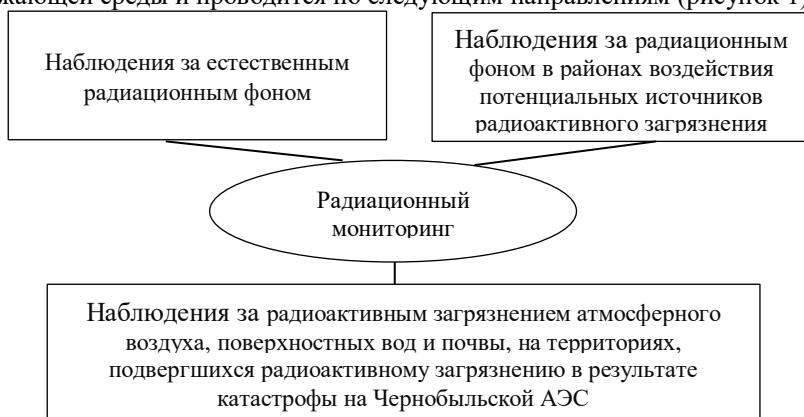


Рисунок 1 – Направления радиационного мониторинга

В настоящее время функционирует 120 пунктов наблюдений четырёх типов (таблица 2).

Таблица 2 – Структура радиационного мониторинга в Республике Беларусь

Тип мониторинга	Количество пунктов наблюдений	Параметры наблюдений
Радиационный мониторинг атмосферного воздуха	43 (3 – в районе воздействия Белорусской АЭС, 2 – на территории ПГРЭЗ*)	Измерение мощности дозы гамма-излучения, суммарная бета-активность, активность гамма-излучающих радионуклидов (цезия-137, берилия-7, свинца-210), активность стронция-90
Радиационный мониторинг поверхностных вод	19 (3 – в районе воздействия Белорусской АЭС, 3 – на территории ПГРЭЗ*)	Суммарная альфа-, бета-активность, объемная активность цезия-137 и стронция-90, активность цезия-137 и стронция-90 в донных отложениях
Радиационный мониторинг подземных вод	6	Суммарная альфа-, бета-активность, содержание радионуклидов цезия-137 и стронция-90
Радиационный мониторинг почвы	52 (4 – в районе воздействия Белорусской АЭС, 3 – на территории ПГРЭЗ*)	Уровень мощности дозы, активность цезия-137, стронция-90

*ПГРЭЗ – Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

По данным наблюдений, радиационная обстановка в республике остаётся стабильной. Уровни мощности дозы гамма-излучения составляют: в г. Бресте, г. Витебске, г. Гомеле, г. Гродно, г. Минске – 0,10 мкЗв/час; в г. Могилёве – 0,12 мкЗв/час. Эти значения соответствуют естественному радиационному фону. На пунктах наблюдения, расположенных в г. Брагине и г. Славгороде, уровни мощности дозы составляют 0,43 мкЗв/час и 0,17 мкЗв/час соответственно, что обусловлено последствиями аварии на Чернобыльской АЭС и соответствует установившимся многолетним значениям.

В условиях проживания на загрязнённых территориях ключевое значение имеет соблюдение республиканских допустимых уровней (РДУ) содержания радионуклидов в пищевой продукции: питьевая вода – до 10 Бк/л; молоко – до 100 Бк/л; овощи – до 100 Бк/л; лесные грибы – от 300 до 700 Бк/л в зависимости от вида и условий произрастания.

Существенное значение имеют способы кулинарной и технологической обработки продуктов. Поскольку многие радионуклиды обладают водорастворимыми свойствами, их содержание может быть снижено за счёт вымачивания, промывания и термической обработки. Эффективными также являются процессы соления и квашения, способствующие частичному выведению радионуклидов. Особый интерес представляет переработка молочной продукции. В ходе технологических процессов происходит перераспределение радионуклидов: например, в сливочном масле сохраняется около 10–15% от их исходного содержания в молоке, тогда как при производстве творога и сыров значительная часть радионуклидов переходит в сыворотку. В ряде продуктов, таких как топленое масло, их концентрация становится минимальной.

Дополнительным инструментом обеспечения безопасности является радиометрический контроль пищевых продуктов. Современные методы позволяют в короткие сроки (в течение нескольких минут) определить уровень радиоактивного загрязнения, что особенно актуально для продуктов лесного происхождения, таких как грибы и ягоды.

Таким образом, соблюдение установленных нормативов, использование эффективных методов обработки и регулярный контроль продукции являются ключевыми факторами снижения радиационных рисков и обеспечения безопасности питания населения.

Радиационный мониторинг, информирование граждан о правилах поведения при радиационных авариях и мерах индивидуальной защиты остаётся необходимым элементом государственной системы экологической безопасности.

Литература:

1. Информационно-аналитическая система радиационного мониторинга [Электронный ресурс] / Респ. центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окруж. среды Минприроды Респ. Беларусь. - URL: <https://rad.org.by>. (дата обращения 13.04.2026).

2. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Безопасность жизнедеятельности человека» для специальности 6-05-0311-02 «Экономика и управление» / сост.: А. А. Хрипович [и др.]. – Мн.: БНТУ, 2025. – URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/155571> (дата обращения: 13.04.2026).

3. Ролевич И.В., Морзак Г. И., Зеленуха Е.В. Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность. – Минск, 2020. – 109 с.

ИСЧЕЗАЮЩИЕ ВИДЫ ФЛОРЫ И ФАУНЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: КРАСНАЯ КНИГА КАК ЗЕРКАЛО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рутковская Д.И., Шепель Д.М. студенты

Научный руководитель Басов С.В.

Брестский государственный технический университет, Беларусь

В данной статье рассматриваются виды флоры и фауны Республики Беларусь, которые занесены в Красную книгу, находятся под охраной, а также «Печальный список: что мы потеряли», чье произрастание не подтверждалось последние 40-100 лет.

Ключевые слова: Красная книга, флора, фауна, динамика, исчезновение, охрана, виды, климат, природа, наука.

Беларусь часто называют «легкими Европы». Однако уникальность нашей природы заключается не только в обширных лесах и болотах, но и в её обитателях, многие из которых балансируют на грани исчезновения. Пятое издание Красной книги Республики Беларусь, презентованное в конце 2025 года, — это не просто список редких видов, а диагноз здоровья нации и документ стратегической важности. На сегодняшний день под угрозой исчезновения находятся 213 видов диких животных и 310 видов дикорастущих растений.

История охраны редких видов в Беларуси началась 28 июня 1979 года, когда Совет Министров БССР учредил Красную книгу. Первое издание вышло в 1981 году и включало 80 видов животных и 85 видов растений.

Динамика изменений показывает не столько ухудшение ситуации, сколько развитие научных знаний. Так, если в третьем издании (2006) насчитывалось 189 видов животных и 274 вида растений, то к четвертому (2015) эти цифры выросли до 203 и 303 соответственно. Пятое издание (2025) зафиксировало новые цифры: +14 видов животных и +7 видов растений к охраняемому списку. Это результат более точного учета и мониторинга, а не только следствие негативных изменений. [1]

Чтобы понимать степень угрозы, ученые разделяют виды по категориям природоохранной значимости:

- I категория (CR) — вид, находящийся на грани исчезновения (например, обыкновенная летяга, европейская норка).
- II категория (EN) — исчезающий вид.
- III категория (VU) — уязвимый вид.
- IV категория (NT) — потенциально уязвимый вид, близкий к

переходу в группу угрожаемых.

Самый громкий успех природоохранной политики — зубр европейский. Еще недавно находившийся под угрозой, сегодня он исключен из списка исчезающих видов и переведен в IV категорию (потенциально уязвимые). Его популяция в Беларуси превышает 3 тысячи особей, что является одним из лучших показателей в мире. Это реальное доказательство того, что государственные программы работают.

Однако не все виды столь благополучны. В I категории по-прежнему числится европейская норка. Этот хищник практически исчез с лица страны из-за уничтожения пойменных угодий и конкуренции с интродуцированной американской норкой. Также в I категории находится обыкновенная летяга — скрытный ночной зверек, чья численность сокращается из-за вырубki старых дуплистых лесов. Из положительных трендов стоит отметить рысь и барсука. Благодаря охранным мерам их статус понижен со II до IV категории, что означает стабилизацию популяции. [2]

Орнитофауна Беларуси имеет мировое значение. Наша страна является ключевым местом обитания для вертячки камышевки и большого подорлика — видов, находящихся под глобальной угрозой исчезновения в масштабах всей Европы. В новое издание Красной книги добавили обыкновенную горлицу. Некогда обычный охотничий вид, сейчас она стала редкостью из-за изменений в сельском хозяйстве и неконтролируемой охоты на путях миграции. В то же время, такой вид, как авдотка, напротив, исключен из списков, так как перестал встречаться на территории страны, вероятно, исчезнув полностью. [3]

Растительный мир Беларуси хранит настоящие жемчужины. В экспозиции Центрального ботанического сада можно увидеть виды, которые в дикой природе уже не найти. Пример 1: «Папараць-кветка» или чистоуст величавый. Этот реликтовый папоротник — один из главных кандидатов на звание легендарного цветка папоротника из славянских мифов. В Восточной Европе известно всего несколько мест его произрастания. В Беларуси уникальная популяция сохранилась в окрестностях озера Селяхи в Брестском районе. Растение может достигать высоты более 1,5 метра, а его спороносные колоски действительно напоминают нераспустившийся бутон. Вид крайне чувствителен к нарушению гидрологического режима и сбору. Пример 2: Венерин башмачок настоящий. Это «северная орхидея», настоящий символ красоты белорусской природы. Растение настолько прихотливо, что прорастает только в симбиозе с определенными грибами в почве. Еще полвека назад в Беларуси было известно всего несколько мест, где он рос. Однако благодаря тому, что ученым удалось выявить новые популяции (иногда до 1000 экземпляров на одном острове среди болот), его охранный статус удалось понизить с I до III категории. Пример 3: Зверобой четырехкрылый —

возвращение из мертвых. История этого растения уникальна. Долгие годы оно считалось полностью исчезнувшим из флоры Беларуси. Однако в 2006 году ботаник Максим Джус обнаружил его в Кобринском районе. Позже вид нашли также в Пинском и Ивацевичском районах. В честь этого события Национальный банк выпустил памятную монету из серии «Адроджаныя расліны» (Возрожденные растения). [2]

Несмотря на все усилия, существуют виды, которые, вероятно, исчезли с лица Беларуси навсегда. В «черном списке» сегодня 26 видов растений, чье произрастание не подтверждалось последние 40–100 лет.

- Лен желтый — найден лишь однажды в 1893 году под Туровом. Исчез из-за распашки дерново-карбонатных почв после войны.

- Апозерис вонючий — встречался только на Мозырской гряде в XIX веке. Сегодня увидеть его можно только в коллекции ботанического сада, куда он был привезен из Карпат. [3]

Основными факторами, ведущими к сокращению биоразнообразия, остаются:

1. Трансформация местообитаний: осушение болот, вырубка старых лесов, распашка пойм.

2. Изменение климата: смещение ареалов холодолюбивых видов на север.

3. Инвазивные виды: конкуренция со стороны чужеродных растений и животных.

Для противодействия этим угрозам в Беларуси действуют 16 планов действий по сохранению животных и 30 — по сохранению растений. За время действия госпрограммы выявлено и передано под охрану 1237 мест обитания диких животных и растений. Красная книга Беларуси — это не просто перечень, а стратегический план действий. Тот факт, что зубр переведен в более безопасную категорию, а ранее исчезнувшие виды растений возвращаются в природу (как астранция большая в Беловежскую пушу), доказывает: сохранение природы возможно при консолидации усилий науки, государства и общества. Задача нынешнего поколения — сделать так, чтобы шестое издание Красной книги стало тоньше пятого.

Литература:

1. Планета Беларусь. 28 июня. «Красная книга Беларуси»: историческая справка / Авт. Н. Суслова. – 27.06.2022. – Режим доступа: planetabelarus.by.

2. Красная книга Республики Беларусь: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / под общ. ред. С. М. Масляка. – 5-е изд. – Минск: Беларусь, 2025. . – 576 с.

3. Чырвоная кніга: Рэдкія і тыя, што знаходзяцца пад пагрозай знікнення віды жывёл і раслін / Гал. рэдкал.: В. А. Казлоў (старшыня) [і інш.]. – Мінск: Беларуская Савецкая Энцыклапедыя, 1981. – 200 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МУКОМОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рышкевич Я.В., студент

Научный руководитель Зеленухо Е.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье проанализировано воздействие мукомольного производства на окружающую среду. Рассмотрены основные технологические этапы переработки зерна, определены источники образования загрязняющих веществ, сточных вод и производственных отходов. Особое внимание уделено вопросам снижения негативного влияния деятельности мукомольных предприятий на атмосферный воздух.

Ключевые слова: мукомольное производство, экологические аспекты, зерновая пыль, выбросы загрязняющих веществ, сточные воды, отходы производства.

Мукомольная промышленность является одной из ключевых отраслей пищевой перерабатывающей индустрии Республики Беларусь. К основным предприятиям отрасли относятся крупные комбинаты хлебопродуктов, такие как ОАО «Лидахлебопродукт», ОАО «Минский комбинат хлебопродуктов», ОАО «Борисовский комбинат хлебопродуктов» и другие. Мощности мельзаводов позволяют произвести более 820 тыс. тонн муки в год, в т. ч. 480 и 340 тыс. т муки пшеничной и ржаной соответственно. Мукомольно-крупяные предприятия республики работают в основном на местном сырье.

Технологический процесс производства муки представляет собой комплекс последовательных операций, ряд из которых может являться источником воздействия на окружающую среду.

Мукомольное производство состоит из зерноочистительного и размольного отделений, отделения готовой продукции, участка фасовки и бестарного хранения муки.

Подготовительное отделение мукомольных предприятий выполняет функции очистки зерна от примесей и подготовки его к размолу. Основными операциями являются:

- очистка зерна – удаление пыли, минеральных примесей, органических примесей (семян сорных растений). На этом этапе применяются сита предварительной очистки, вибрационные сита, камнеотборники, магнитные сепараторы;

- обработка поверхности зерна – удаление загрязнений с поверхности зерновок с помощью шелушильных машин;

– гидротермическая обработка (кондиционирование) – регулирование влажности зерна для оптимизации процесса размола. Применяется холодное или скоростное кондиционирование, а также вибрационное увлажнение. Цель данного этапа – обеспечить оптимальные структурно-механические свойства эндосперма и оболочек зерна.

Размольное отделение является основным технологическим звеном, где осуществляется непосредственное измельчение зерна. Процесс включает по данным [1]:

- драной процесс – последовательное измельчение зерна на вальцовых станках с целью получения крупок различной крупности;
- шлифовочный процесс – дополнительная обработка крупок для отделения частиц оболочек;
- ситовечный процесс – сортировка продуктов измельчения по крупности с использованием рассевов и ситовечных машин;
- размольный процесс – измельчение крупок в муку;
- вымольный процесс – окончательное отделение муки из отрубистых продуктов.

На заключительном этапе осуществляется формирование сортов муки в соответствии с установленными требованиями, контроль качества готовой продукции и её упаковка. В зависимости от типа помола формируется соответствующий ассортимент муки – от высшего до второго сорта. Просеивание и упаковка осуществляются с использованием автоматизированных систем, обеспечивающих точность дозирования.

Деятельность мукомольных предприятий сопровождается воздействием на все компоненты окружающей среды: атмосферный воздух, водные объекты и почву.

Основными видами воздействия являются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, преимущественно в виде пылевых частиц. К их источникам относятся технологическое оборудование – вальцовые станки, рассевы, ситовечные машины, ковшовые элеваторы, а также системы транспортировки, используемые для перемещения продуктов измельчения. Основной загрязнитель – зерновая пыль, образующаяся при механической обработке зерна. Запыленность отходящих газов при переработке зерновых культур может достигать от 2 до 3 г/м³.

Помимо загрязнения атмосферы, проблемой является загрязнение водоемов хозяйственно-бытовыми и производственными сточными водами. На мукомольных заводах воду расходуют на обработку зерна в машинах мокрого шелушения, аппаратах и машинах для увлажнения зерна, охлаждения вальцов вальцовых станков, обработку воздуха в кондиционерах. Сточные

воды фильтруют через сита в специальных сепараторах, мокрые отходы отжимают, просушивают и используют для кормовых целей [2].

Мукомольное производство также сопровождается образованием отходов, основными из которых являются: кормовые зернопродукты – отходы очистки зерна, включающие битые зерна, семена сорных растений, минеральные примеси; мучная пыль – уловленная системами аспирации пыль, которая может быть использована как компонент комбикормов; отруби – оболочки зерна, образующиеся при сортовых помолах и являющиеся ценным кормовым продуктом; упаковочные материалы – отходы полимерной, бумажной и текстильной упаковки.

Анализ воздействия мукомольного производства на окружающую среду показал, что главным фактором негативного влияния являются выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

В связи с этим в качестве мероприятий по снижению нагрузки мукомольного производства на атмосферный воздух можно выделить следующие: оснащение всех источников пылеобразования высокоэффективными аспирационными системами с рукавными фильтрами или циклонами; герметизация транспортирующего оборудования для предотвращения неорганизованных выбросов; установка пылеуловителей на вытяжных системах участков фасовки и бестарного хранения муки.

Литература:

1. Берестнев Е. В., Петриченко В. Е., Петриченко В. В. Рекомендации по организации и ведению технологического процесса на мукомольных предприятиях. Издание второе, дополненное. – М.: ТД ДеЛи, 2020. – 368 с.
2. Бирюк, В.И. Основные направления по снижению воздействий технологического процесса мукомольного производства на окружающую среду / В.И. Бирюк; науч. рук. Г.И. Морзак // Сборник материалов 75-й студенческой научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 24-32.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА АВТОТРАНСПОРТОМ В ПРИДОРОЖНОЙ ЗОНЕ Г. НИЖНЕКАМСКА (НА ПРИМЕРЕ ПРОСПЕКТА ХИМИКОВ)

Рябова Т. А. бакалавр

Научный руководитель Шагидуллин А.Р.

**ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия**

Аннотация: представлены результаты расчета приземных концентраций выбросов автотранспорта на проспекте Химиков г. Нижнекамска. Обоснована необходимость мониторинга и оценено соответствие ПДК.

Ключевые слова: автотранспорт, выбросы, диоксид азота, выхлопные газы, максимальная разовая концентрация.

Автомобильный транспорт является одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха в крупных городах. Рассеивание выбросов от автотранспорта характеризуется рядом особенностей:

- узкая линейная локализация выбросов, привязанная к основным автомагистралям;
- неоднородность нагруженности и марочного состава транспортного потока во времени;
- значительная пространственная изменчивость характеристик потока, определяющаяся степенью удаленности от крупных населенных пунктов, направлением и характером покрытия дорог.

- малая высота выброса, затрудняющая процессы рассеивания [1-4].

Целью данного исследования являлась оценка уровня загрязнения атмосферы выбросами автотранспорта на примере участка проспекта Химиков в г. Нижнекамск (в границах от улицы Баки Урманче до проспекта Вахитова).

Для количественной оценки объёмов выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с отработавшими газами транспортных средств, применялась «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха»[5], разработанная для выполнения инвентаризации выбросов при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха.

Расчет транспортных выбросов выполняется на базе 20-минутных замеров интенсивности автопотока с дифференциацией по пяти категориям: легковые автомобили, лёгкие коммерческие транспортные средства массой до 3,5 т, грузовые автомобили массой 3,5–12 т, тяжелые грузовики свыше 12 т, автобусы массой более 3,5 т.

Методика позволяет рассчитывать выбросы для следующих вредных веществ (групп веществ): углерода оксид (CO), азота оксид (NO), азота диоксид (NO₂), взвешенные мелкодисперсные частицы PM_{2,5}, бензин, керосин, серы диоксид (SO₂), формальдегид (CH₂O), бензапирен (C₂₀H₁₂), установлены только среднегодовые ПДК), метан (CH₄).

Анализ максимальных разовых концентраций привязан к часам пиковой нагрузки. Завершает исследование расчётно-графическое моделирование диффузии загрязняющих веществ, необходимое для количественной оценки экологической нагрузки на придорожные территории.

Расчеты рассеивания проводились с использованием программного обеспечения УПРЗА «Эколог» (4.70), которое реализует методику расчета рассеивания загрязняющих веществ[6].

Моделирование проводилось с полным перебором метеопараметров для выявления максимальных разовых концентраций. Результаты детализированы для веществ, имеющих установленные нормативы максимальных разовых ПДК[7].

Изучив расположение исследуемого участка дороги и находящейся под его влиянием городской застройки, определены параметры расчетной сетки для проведения расчетов распределения концентраций (полей концентраций). Расчеты проводились для прямоугольника 800*560 м. Шаг расчетной сетки выбран равным 20 м. Дополнительно выделены контрольные точки в местах расположения ближайших к проезжей части зданий. Детализация максимальных концентраций выполнена для точек, приведённых в табл. 1.

Таблица 1 - Расчетные точки для детализации максимальных разовых концентраций

Код	Координаты (м)		Высота (м)	Тип точки	Комментарий
	X	Y			
1	2286597,50	459279,50	2,00	точка пользователя	Парк семья
2	2286950,00	459632,00	2,00	точка пользователя	Парк семья
3	2286705,00	459172,00	2,00	точка пользователя	Химиков 64
4	2286948,00	459328,50	2,00	точка пользователя	Химиков 70а
5	2287198,00	459571,50	2,00	точка пользователя	Химиков 76а

Полученное в результате расчетов распределение концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках указано в табл. 2. Для оценки степени негативного воздействия полученных абсолютных концентраций вредных веществ использовались установленные максимальные разовые предельно допустимые концентрации.

Таблица 2 - Распределение концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках

Код веществ а	Наименование вещества	Распределение концентраций, доли ПДК	Распределение концентраций, мг/м ³
0010	Взвешенные частицы PM _{2,5}	0,01-0,02	0,002-0,003
0301	Азота диоксид (Двуокись азота; пероксид азота)	0,55-0,91	0,110-0,181
0304	Азот (II) оксид (Азот монооксид)	0,04-0,07	0,018-0,030
0330	Сера диоксид	Менее 0,01	Менее 0,001
0337	Углерода оксид (Углерод окись; углерод моноокись; угарный газ)	0,02-0,03	0,096-0,174
0410	Метан	Менее 0,01	0,003-0,006
1325	Формальдегид (Муравьиный альдегид, оксометан, метиленоксид)	Менее 0,01	Менее 0,001
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый) (в пересчете на углерод)	Менее 0,01	0,021-0,039
2732	Керосин (Керосин прямой перегонки; керосин дезодорированный)	Менее 0,01	0,004-0,007
6204	Азота диоксид, серы диоксид	0,34-0,57	-

Как можно видеть из табл. 2, ожидаемые максимальные разовые концентрации большинства веществ (углерода оксид, азота оксид, PM_{2,5}, летучие органические соединения, формальдегид) не превышают 0,1 ПДК, т.е. 10% от предельно безопасных значений.

Исключение составляют азота диоксид и группа суммации 6204 (азота диоксид, серы диоксид): для последней расчётные значения достигают 0,57

ПДК, а для диоксид азота — до 0,91 ПДК в зонах максимальной транспортной нагрузки. Карты рассеивания для данных индикаторных загрязнителей приведены на рис. 1 (азота диоксид) и рис. 2 (группа 6204).

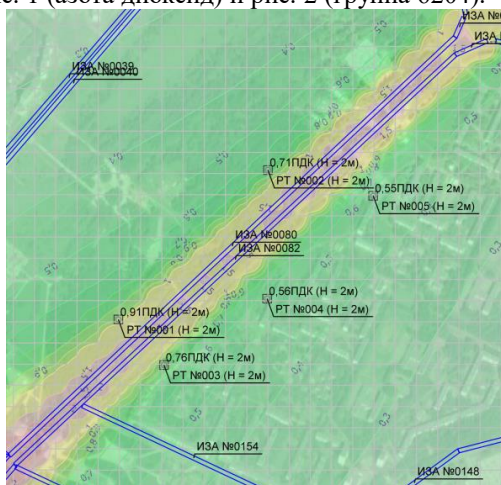


Рисунок 1 - Поля максимальных концентраций диоксида азота



Рисунок 2 - Поля максимальных концентраций суммы 6204

Таким образом, в зависимости от интенсивности движения транспорта на участках улично-дорожной сети и сложившейся застройки на прилегающих

к автодорогам территориях, при неблагоприятных условиях автотранспорт может формировать концентрации вредных веществ на уровне ПДК.

Полученные результаты обосновывают необходимость развитие транспортной инфраструктуры (строительство объездных дорог и разгрузка основных магистралей города путем строительства дублеров транспортных направлений) и организации постоянного экологического мониторинга на наиболее напряженных участках городской транспортной инфраструктуры.

Литература:

1. Тунакова Ю.А., Григорьева И.Г., Шагидуллина Р.А. Области применения моделей для расчета распределения примесей в приземном слое атмосферного воздуха // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 20. С. 163-166.

2. Латыш, Д. С. Автотранспорт как фактор влияния на экологическую ситуацию в техносфере / Д. С. Латыш, В. Н. Ефремова // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2023. – № 1(22). – С. 142-146.

3. Чупахин, Д. А. Интенционное моделирование и управление автотранспортом на нерегулируемых перекрестках / Д. А. Чупахин, А. А. Пахомов, Л. В. Гасв // Междисциплинарность научных исследований как фактор инновационного развития: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Саратов, 10 мая 2024 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2024. – С. 97-98.

4. Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Валиев В.С., Григорьева И.Г., Кузнецова О.Н. Разработка моделей прогноза концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха на основании значимых метеорологических параметров // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 179-181.

5. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха (утверждена приказом Минприроды России от 27 ноября 2019 года № 804)

6. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273)

7. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРОМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЯ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА И АКТИВИРОВАННОГО КОКОСОВОГО УГЛЯ

Рябова Т.А., бакалавр

Научный руководитель: Габдрахманова Г.Н.

**ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия**

Аннотация: исследована эффективность комбинированного фильтроматериала при очистки модельных растворов от ионов Cu(II) и Ni(II) . Эксперименты показали увеличение эффективности очистки с увеличением времени контакта фильтроматериала.

Ключевые слова: очистка, ионы металлов, эффективность, активированный уголь, гидролизный лигнин, медь, никель.

Сорбентами называются химические вещества, способные избирательно поглощать из жидких и газовых сред отдельные ингредиенты [1]. Они хорошо зарекомендовали себя для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов [2]. К таким сорбентам относятся активированный кокосовый уголь и гидролизный лигнин. Последний содержит ароматическую структуру с фенольными и карбоксильными группами, способными к комплексообразованию с ионами металлов [3]. Активированный кокосовый уголь обладает развитой микропористой структурой, что обеспечивает высокую ёмкость по отношению к ионам металлов.

Эффективность очистки — это показатель, определяющий способность фильтра, установки или метода снижать концентрацию загрязнений в очищаемой среде (воде, воздухе, промышленных стоках) до нормативных или требуемых значений. Она отражает качество работы оборудования, измеряя разницу между загрязнением до и после обработки. Эффективность очистки воды критически важна для здоровья людей и сохранения окружающей среды. Качественная очистка удаляет из воды опасные бактерии, химикаты и тяжёлые металлы, делая её безопасной для питья и бытового использования.

Целью данного исследования стало комбинирование двух сорбентов и оценка их эффективности при очистке вод ионов металлов с течением времени.

В стаканы ёмкостью 250 мл поместили фильтроматериал, для создания которого использовали активированный кокосовый уголь высшего сорта и гидролизный лигнин в соотношении 1:1. Общая масса навески в стакане составила 0,5 г. Фильтроматериал смешали с модельными растворами каждого металла объемом 100 мл. Модельные растворы для ионов Cu(II) и Ni(II)

готовились с концентрациями 5 мг/л. Измеряли концентрации ионов металлов в течение 10, 30, 60 минут.

Фотометрическим методом определили концентрацию металлов до и после очистки (табл. 1).

Таблица 1 - Концентрация ионов металлов после очистки фильтроматериалом.

Время, мин	Концентрация ионов Cu(II), мг/л	Концентрация ионов Ni(II), мг/л
10	3,6	2,4
30	3,6	1,7
60	1,8	0,94

Концентрация ионов Cu(II) после очистки уменьшилась спустя 10 минут до 3,6 мг/л и спустя 60 минут до 1,8 мг/л.

Концентрация ионов Ni(II) постепенно уменьшалась с увеличением времени выдержки фильтроматериала в исследуемой воде.

Для определения эффективности очистки использовалась формула 1:

$$E_s = \frac{c_0 - c_e}{c_0} \times 100 \quad (1)$$

где C_0 – начальная концентрация металла в растворе (мг/л), C_e – конечная концентрация металла в растворе после адсорбции на сорбенте (мг/л).

Построена зависимость эффективности очистки комбинированным фильтроматериалом от времени его контакта с исследуемой водой (рис. 1).

Таким образом, по графику установлено, что эффективность очистки фильтроматериалом по отношению к ионам никеля выше, чем по отношению к ионам меди.

Комбинированный фильтроматериал эффективно удаляет ионы тяжелых металлов из воды, установлено снижение концентрации за 60 минут для ионов Cu(II) с 5 до 1,8 мг/л с эффективностью очистки 64%, для ионов Ni(II) — до 0,94 мг/л с эффективностью очистки 81,2%.

Высокая эффективность очистки фильтроматериалом подтверждает перспективность его применения для очистки вод от ионов металлов.

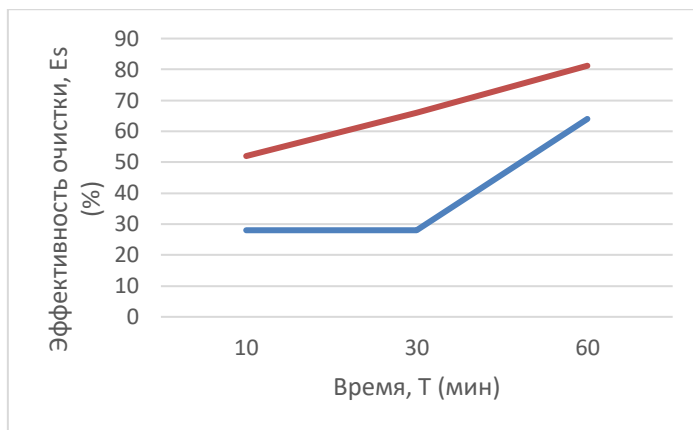


Рисунок 1 - График зависимости эффективности очистки от времени контакта (красная линия – Ni(II); синяя линия – Cu(II)).

Литература:

1. Романенко, К. А. Адсорбенты термохимической активации гидролизного лигнина в совместном присутствии NaOH и KOH / К. А. Романенко // Интеллектуальный потенциал XXI века : Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. Научное (непериодическое) электронное издание, Прага, Чехия, 15 февраля 2016 года / Под общей редакцией А.И. Вострецова. – Прага, Чехия: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2016. – С. 8-11. – EDN XSMBPP.

2. Кобликов, Е. С. Очистка водных потоков от ионов никеля (II) с помощью диметилглиоксима и адсорбентов на основе отходов гидролизного лигнина / Е. С. Кобликов, С. В. Хитрин, А. А. Юдинцева // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 30 ноября 2022 года. – Киров: Вятский государственный университет, 2022. – С. 104-109. – EDN PPJWSY.

3. Патрушева, О. В. Сорбционные свойства гидролизного лигнина из подсолнечной шелухи по отношению к ионам Cr(VI) / О. В. Патрушева, В. Н. Волкова, А. В. Перфильев, С. Б. Ярусова, В. А. Шаланин, Л. А. Земнухова // Химия в интересах устойчивого развития. — 2020. — Т. 28, № 2. — С. 202–209. — DOI: 10.15372/KhUR2020220.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИЗ ОБЩЕСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. ГРОДНО

Савицкая А. Л., Трибух А. Я., студенты

Научный руководитель Колесник И. М.

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Беларусь

В статье проанализированы обобщённые физико-химические показатели качества воды из 3-х источников, расположенных на территории г. Гродно. Установлено, что исследуемые воды слабощелочные, пресные, не содержат токсичных элементов. Наибольшее содержание растворённых веществ характерно для родниковой воды, что обеспечило при фитотестировании высокую массу и длину корней проростков.

Ключевые слова: питьевая вода, физико-химические показатели, фитотестирование.

Обеспечение населения качественной питьевой водой является фундаментальным фактором сохранения здоровья и качества жизни, что делает проблему водоснабжения одной из приоритетных в современных социально-гигиенических исследованиях. Кроме того, в последнее время значительно усовершенствовалась методические подходы к анализу риска, обусловленного качеством питьевой воды [2].

Возрастающая антропогенная нагрузка на природные подземные воды требует тщательной их оценки на предмет соответствия гигиеническим нормативам. Сохраняет особую актуальность комплексное изучение родников как стратегического резерва питьевого водоснабжения.

Цель данной работы – скрининговая оценка показателей качества воды из источников различного происхождения, расположенных на территории г. Гродно.

Отбор проб проводился в осенний период 2025 г. из 3-х источников: родник, водонапорная колонка, водопровод. Родник (53.651916, 23.868088) является левым притоком ручья Солянка, расположен на территории памятника природы «Румлёво» [1]. Постоянно посещается жителями г. Гродно. Источник с нисходящим током, дебит на момент исследования составил 720 л/ч. Колонка находится у входа в Коложскую церковь (53.678708, 23.818543), имеет декоративный вид. Расположение рядом с важным туристическим объектом содействует постоянному её использованию [6]. Пробу водопроводной воды отбирали в общественном здании (53.69555, 23.82655).

Физико-химические показатели определяли непосредственно на месте отбора проб с помощью портативных приборов HI 9146-04 и HachLange. Биотестирование воды осуществляли с использованием кресс-салата

посевного (*Lepidum sativum* (L.)) (n=16). Семена проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге при температуре 25 °С, ежедневно увлажняя равным объемом воды. На 7-е сутки опыта измеряли длину проростков (корня и надземной части) и их вес. В качестве контроля выступала дистиллированная вода (не содержит примесей).

В результате проведенной оценки обобщённых физико-химических показателей установлено, что по значению рН образцы питьевой воды характеризуются слабощелочной реакцией среды (таблица 1) и соответствуют гигиеническим нормативам [3].

Родниковая вода по температурному режиму является умеренно холодной (10,8 °С). При оценке минерализации установили, проба № 1 содержит в 1,7 раза больше растворённых веществ, чем водопроводная вода, тогда как проба № 2 отличается от контроля незначительно. Исследуемые питьевые воды являются пресными.

Вода из родника также выделяется повышенной электропроводностью по сравнению с двумя другими образцами. Такая картина может быть следствием как естественного выщелачивания горных пород, так и начальных признаков антропогенного загрязнения. Наблюдаемые невысокие положительные значения редокс-потенциала (таблица 1) в целом характерны для природных вод [8].

Таблица 1 – Некоторые обобщенные физико-химические показатели качества питьевой воды

Параметры	Источники воды			
	№ 1 Родник	№ 2 Колонка	№ 3 Водопровод	Контроль (дистиллят)
рН	8,32	8,53	8,11	6,6
Электропроводность, мкСм/см	825	600	489	0,09
Общее количество растворенных веществ, мг/л	411	265	246	0,04
Окислительно- восстановительный потенциал, мВ	223	213	226	299

При проведении фитотестирования всхожесть проростков кресс-салата на воде из колонки составила 93,75 %, а на остальных образцах – 100 %. Можно полагать, что токсичные вещества в пробах отсутствуют, все анализируемые

воды безопасны. Незначительное снижение всхожести может быть вызвано случайным фактором.

На рост проростков, выращенных на воде, решающее влияние оказывает наличие растворенных минеральных солей и их ионный состав: в первую очередь это азот для деления клеток и роста вегетативной массы, фосфор для обеспечения энергетического обмена (АТФ) и развития корневой системы, а также калий, регулирующий тургорное давление и водный баланс молодых тканей.

Помимо химического состава, критическую роль играют физико-химические свойства водной среды – уровень кислотности (рН), концентрация растворенного кислорода, необходимого для дыхания корней, и отсутствие токсичных примесей, так как проростки на ранних этапах крайне чувствительны к осмотическому давлению раствора и балансу макро- и микроэлементов [4].

Наибольшая длина корня наблюдалась в нашем эксперименте у проростков на дистиллированной воде (рисунок 1), так как на начальных стадиях прорастания семян, при набухании, им нужна свободная вода.

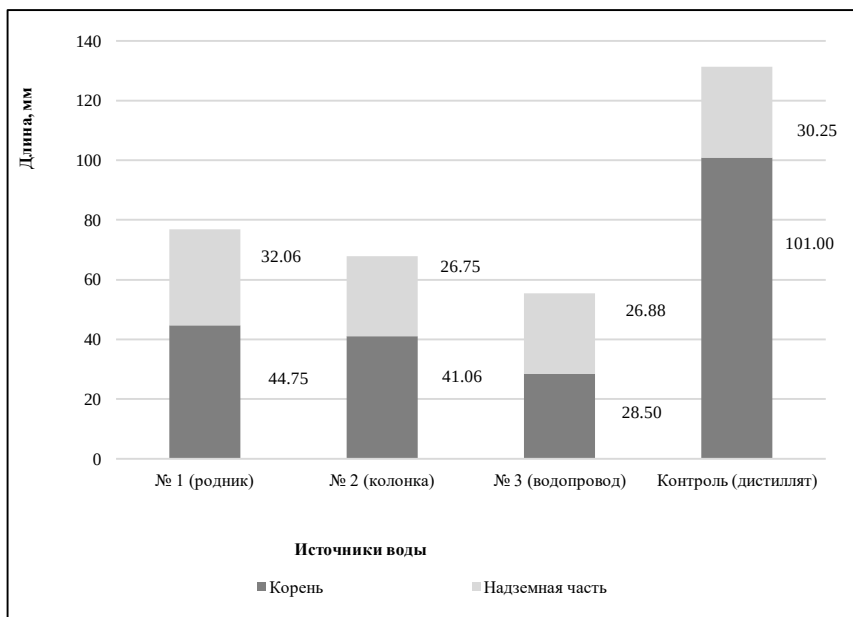


Рисунок 1 — Усредненные показатели линейного роста проростков на воде из различных источников

Кроме того, данный эффект может быть связан с компенсаторной реакцией на дефицит питания и существенным растяжением клеток под действием экспансинов. На водопроводной воде наблюдались минимальные значения, в среднем длина корня проростков была на 71 % меньше, чем на дистиллированной воде.

Средняя масса корней проростков существенно отличается между собой: на дистиллированной воде – самое низкое значение (таблица 2), на родниковой – наибольшее (3,6 раз выше, чем в контроле), что может быть связано с лучшей обеспеченностью микроэлементами.

Таблица 2 – Усреднённая масса проростков при выращивании на воде из различных источников

Параметры	Источники воды			
	№ 1 (родник)	№ 2 (колодка)	№ 3 (водопровод)	Контроль (дистиллят)
Масса корня, мг	2,04	1,01	0,81	0,56
Масса надземной части, мг	17,49	17,87	15,99	15,34

На массу корня в водной среде также повлияло, прежде всего, наличие минеральных элементов и электропроводность, которые необходимы для деления клеток и синтеза структурных белков и сахаров.

В дистиллированной воде корни становятся длиннее, но имеют меньшую массу из-за стратегии «поискового роста»: в отсутствии питательных веществ растение перераспределяет последние ресурсы на интенсивное удлинение осевого корня для поиска зон с питанием, при этом дефицит строительных компонентов препятствует развитию боковых корней и накоплению плотной биомассы [5].

Более высокая масса надземной части проростков на пробах № 1 и № 2 также может свидетельствовать о более высоком содержании соединений азота, которые являются одним из факторов риска для питьевой воды.

Полученные результаты позволили сделать вывод: питьевая вода из исследованных источников не содержит токсичных элементов, благополучна по физико-химическим показателям. Природная минерализация родниковой воды делает её биологически более благоприятной средой для роста живых систем по сравнению с очищенной контрольной водой.

Литература:

1. Белова, Е. А. Оценка качества родниковых вод в городе Гродно по физико-химическим и микробиологическим показателям / Е. А. Белова, И. М. Колесник, К. Пучко // Весн. Гродз. дзярж. ун-та імя Янкі Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 104–117.
2. Богданова, В. Д. Некоторые методические подходы к оценке риска здоровью, обусловленные качеством питьевой воды централизованных систем водоснабжения / В. Д. Богданова, М. В. Аленицкая, О. Б. Сахарова // Здоровье населения и среда обитания. – 2023. – Т. 31, № 1. – С. 45–52.
3. Гигиенические требования к источникам нецентрализованного питьевого водоснабжения населения: санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 02.08.10 № 105 // Коммунальная гигиена. Вып. 3 (13). – Мн., 2011. – С. 23–33.
4. Медведев, С. С. Физиология растений : учебник / С. С. Медведев. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2013. – 336 с.
5. Полевой В. В. Физиология растений. – М. : Высшая школа, 1989. – 464 с.
6. Колонка Коложа // Родники Беларуси. – URL: https://rodnikbel.by/ГР/ГРО/97-Гродно_Коложа/ГР-ГРО-97-Коложа_1.html. – (дата обращения: 22.02.2026).
7. Стратегия управления водными ресурсами до 2040 года / Водные ресурсы Республики Беларусь. – URL: <https://rivers.by/dopolnitelnaya-informatsiya/zakonodatelstvo> (дата обращения: 11.03.2026).
8. Шигаева, Т. Д. Окислительно-восстановительный потенциал как показатель состояния объектов окружающей среды // Биосфера. – 2020. – Т. 12, № 3. – С. 111–124.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РАВНОВЕСНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Сакович Р.М., Смольский А.В., студенты

Научный руководитель Стрелкова Е.В., Зык Н.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассматриваются актуальные аспекты взаимодействия социума и природной среды в контексте перехода к модели равновесного природопользования. Особое внимание уделено специфике антропогенной нагрузки на агроландшафты, путям миграции ксенобиотиков и методам обеспечения биологической полноценности растениеводческой продукции. Проанализированы основные экологические риски, связанные с химизацией сельского хозяйства, и предложены стратегические направления минимизации их воздействия на биосферу.

Ключевые слова: равновесное природопользование, агроэкология, антропогенная нагрузка, ксенобиотики, экологическая безопасность, Республика Беларусь.

Современный этап взаимодействия общества и окружающей среды характеризуется нарастанием деструктивных последствий антропогенеза, что обуславливает объективную необходимость перехода к равновесному природопользованию. Достижение эквивалентного баланса в системе «человек – природа» выступает фундаментальным условием сохранения естественного базиса развития производительных сил. Масштабы и направленность техногенной трансформации биосферы детерминированы уровнем развития технологических систем и характером социально-экономических отношений. В современных условиях наблюдается переход природных систем в аномальное состояние, сопровождающееся локальными и глобальными кризисными явлениями [1, 2].

В условиях экологизации экономики возрастают требования к уровню профессиональной подготовки специалистов. Компетентностный профиль современного эксперта, вне зависимости от сферы деятельности, должен включать способность к каузальному анализу экологических рисков, квалифицированную оценку последствий хозяйственной деятельности и владение методологией принятия научно обоснованных природоохранных решений. В Республике Беларусь данные задачи интегрированы в общую стратегию устойчивого социально-экономического развития, подкрепленную механизмами государственного мониторинга и экологического контроля [3, 4].

Наблюдаются некоторые факторы и пути загрязнения агроландшафтов, такие как атмосферный перенос и почвенная

аккумуляция. Атмосферный перенос является наиболее труднорегулируемым фактором, требующим радикальной модернизации источников эмиссии. Вдоль транспортных артерий фиксируется аккумуляция свинца, кадмия и ртути. Особое значение для региона имеют последствия катастрофы на Чернобыльской АЭС, обусловившие радиационное загрязнение (Cs-137 , Sr-90) около 20% территорий республики [4, 5]. Почвенная аккумуляция ведет к загрязнению тяжелыми металлами. Это происходит вследствие бесконтрольного внесения осадков сточных вод, бытовых компостов и минеральных удобрений. Исследования показывают, что даже органические удобрения (навоз) могут выступать источником радионуклидов при несоблюдении регламентов выпаса скота.

Особая роль принадлежит техногенным рискам при химизации сельского хозяйства. Особую угрозу для продовольственной безопасности представляет загрязнение продукции пестицидами и микотоксинами. Эффективность использования пестицидов в агроценозах остается низкой, она достигает до 30% действующих веществ и аккумулируется в почве и гидросфере, не достигая целевых объектов.

Систематическое применение химических средств защиты растений инициирует ряд негативных процессов, таких как формирование резистентности у патогенов и появление вторичных вредителей, уничтожение биоразнообразия (флоры и фауны), превышение максимально допустимых уровней (МДУ) остаточных количеств пестицидов в продуктах питания [6, 7]. Параллельно наблюдается прогрессирующее поражение посевов токсигенными грибами родов *Fusarium*, *Aspergillus* и *Penicillium*, что приводит к контаминации урожая опасными микотоксинами.

Нами разрабатывалась стратегия минимизации антропогенной нагрузки. Современные агротехнологии достигли предела «насыщения», выраженного в подавлении механизмов саморегуляции среды и экспоненциальном росте энергозатрат. Для преодоления указанных вызовов необходима реализация в следующих направлениях. Прежде всего необходимо провести оптимизацию ассортимента химических средств защиты. Необходим переход к использованию высокоэффективных, низкотоксичных препаратов с коротким периодом полураспада. Обязательно нужно совершенствование законодательства в разрезе ужесточения санитарно-токсикологических требований к регистрации пестицидов. Проведение агротехнологической трансформации, т.е. внедрение контурно-экологических севооборотов и подбор сортов, обладающих минимальным коэффициентом накопления ксенобиотиков. Применение точного земледелия даст возможность соизмерять дозы внесения макро- и микроудобрений с физиологической потребностью культур и деструкционной способностью среды [7].

Рациональное применение пестицидов, микроудобрений и макроудобрений, технологий, направленных на получение экологически чистой продукции, заключается в соизмерении внесения удобрений со способностью культуры усвоить содержащиеся в них питательные элементы без загрязнения продовольственной и фуражной продукции вредными веществами, а нагрузки пестицидов на сельскохозяйственный ландшафт – с интенсивностью физико-химических и биологических процессов их деструкции в окружающей среде и продуктах урожая [5,4,7].

Обеспечение биологического качества растениеводческой продукции — ее безопасности и нутрициологической ценности — требует комплексного подхода. Снижение концентрации ксенобиотиков и повышение биологического потенциала культур возможны лишь при условии интеграции экологических регламентов в технологические процессы возделывания, что является приоритетной задачей для аграрной науки Республики Беларусь.

Литература:

1. СанПнН «Требования к применению, условиям перевозки и хранения пестицидов (средств защиты растений), агрохимикатов и минеральных удобрений». Постановление № 143 Минздрава РБ 27.09.2012

2. Щука, М. А. Инновационные технологии в сельском хозяйстве: применение БПЛА для точного земледелия и увеличения урожайности / М. А. Щука // Перспективы развития информационных систем и технологий в современном обществе: Матер. Всеросс. научно-практ. конф., Орёл, 31 мая 2024 г. – Орёл: Орловский гос. ун-т, 2024. – С. 282–288.

3. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений [Электронный ресурс]:. – Режим доступа: <https://ggiskzr.by/reestr-szr/> – Дата доступа: 17.03.2026.

4. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035г. [Электронный ресурс]:. — <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/NSUR-2035-1.pdf> – Дата доступа: 17.03.2026.

5. Гревцов, О. В. Переход к новому государственному регулированию на основе НДТ / О. В. Гревцов, К. А. Щелчков, В. М. Костылева, А. С. Малявин // Экология производства. – 2019. – С. 82-88.

6. Кручинина, Н. В. Проблемы оценки экономической эффективности затрат при идентификации технологии в качестве наилучшей доступной / Н. В. Кручинина // Инновационная деятельность. – 2018. – № 2. – С. 28-32.

7. Якунина, И.В., Попов, Н.С. — Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг — 2009.— С. 62-188.).

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Светлова Я.С., студент

Научный руководитель Скуратович И.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье дана краткая характеристика водопотребления и водоотведения предприятий хлебопекарной промышленности на примере хлебозавода «Автомат». Рассматриваются процессы, в ходе которых используется вода, и образуются сточные воды. Предлагается внедрение автоматизированной СИП-мойки, что подтверждается результатами бенчмаркинга с европейскими показателями.

Ключевые слова: хлебопекарная промышленность, ресурсосбережение, охрана окружающей среды, водопотребление, сточные воды, СИП-мойка (CIP).

Хлебопекарная промышленность играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны. В Республике Беларусь данная отрасль представлена более чем 200 предприятиями, среди которых ведущее место занимает КУП «Минскхлебпром». Оно состоит из шести территориально обособленных хлебозаводов города Минска, включая хлебозавод «Автомат» [1].

При производстве хлебобулочных изделий предприятие для своих нужд использует большой объем воды, который, пройдя через производство, превращается в сточные воды. Для этого требуется запас чистой питьевой воды. Например, для изготовления теста на 100 кг муки необходимо взять от 30 до 70 л воды.

Для обеспечения технологического процесса производства продукции на хлебозаводе имеются системы водоснабжения и водоотведения. Источником водоснабжения является сеть коммунального водопровода УП «Минскводоканал». Как резервный источник водоснабжения, хлебозавод имеет на своей территории собственную артезианскую скважину.

В таблице 1 приведена информация о водопотреблении и водоотведении хлебозавода «Автомат» за 2022-2025 гг [2].

На хлебозаводе «Автомат» образуются следующие виды сточных вод: от цехов полуфабрикатов и готовой продукции, загрязненные мучными примесями; от охлаждения теплообменных аппаратов; хозяйственно-бытовые [3]. Их сброс осуществляется в городские канализационные сети УП «Минскводоканал».

Таблица 1 – Информация о фактическом водопользовании хлебозавода «Автомат»

Наименование показателей	Объемы водопользования, тыс. куб. м/год			
	Фактическое значение			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Получение воды	108,143	125,098	127,449	114,412
Использование воды на собственные нужды (по целям водопользования) – всего, в том числе:	108,143	125,098	119,671	106,787
на хозяйственно-питьевые нужды	20,2	20,2	20,292	20,292
на нужды промышленности	87,851	104,898	99,379	86,495
Потери и неучтенные расходы воды – всего, в том числе при транспортировке	-	-	7,778	7,624
Безвозвратное водопотребление	-	-	35,777	31,1384
Сброс сточных вод	76,516	87,334	83,894	75,649

Основными загрязнителями сточных вод хлебопекарной промышленности являются взвешенные вещества, состоящие из легких фракций (эмульгированные жиры, пригоревшие при выпечке взвеси) и тяжелых (мука и мучные примеси, крахмал, частицы теста и хлеба).

Для хлебозавода «Автомат» с 2022 по 2025 годы удельные показатели расхода воды на единицу выпускаемой продукции отображены на рисунке 1. Процессы, для которых используется вода, представлены в таблице 2.

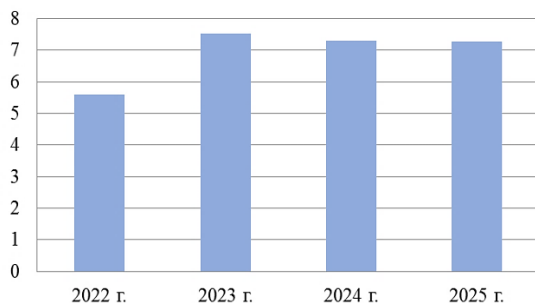


Рисунок 1 – Удельный показатель расхода воды на единицу выпускаемой продукции (м³/тонн)

Таблица 2 – Структура водопотребления и водоотведения хлебопекарных предприятий

Статья водопотребления	Примечание
<i>Технологические процессы, в том числе:</i>	
- приготовление теста для хлеба и хлебобулочных изделий из ржано-пшеничной муки - приготовление кондитерских изделий из пшеничной муки - опрыскивание изделий форсунками при подаче в печь - приготовление мучной заварки в заварочных машинах	Безвозвратное потребление воды
- увлажнение расстоечных шкафов - увлажнение пекарных камер при производстве хлеба из ржано-пшеничного теста	Безвозвратное потребление воды в виде пара
- охлаждение емкостей для брожения и рубашек заварочных машин - мойка тестомесильных машин - раковины в производстве - мытье хлебных лотков в ваннах - мытье яиц в ванной - мытье изюма в ванной - мытье полов и панелей, м² - лаборатория	Водоотведение в канализацию
<i>Расход воды, не зависящий от производства продукции, обусловленный технологическими нуждами</i>	
<i>Котельная, в том числе:</i>	
- наполнение системы отопления - продувка котлов - регенерация фильтров	Водоотведение в канализацию
<i>Градирия, в том числе:</i>	
- расход воды на восполнение потерь от испарения и уноса ветром	Безвозвратное потребление воды
<i>Хозяйственно-бытовые нужды</i>	
- Хозяйственно-питьевые нужды (питье, умывальники и душевые сетки) - Прачечная	Водоотведение в канализацию

Примечание – источник информации – отчетность предприятия

На рисунке 2 представлены операции и количество отводимой воды в канализацию после потребления ее на необходимые технологические нужды. Заметим, что довольно большие объёмы воды идут на мойку оборудования и инвентаря, которая осуществляется с использованием кальцинированной соды, Пемолукса. В качестве дезинфицирующих средств применяются Хлорцид, хлорная известь, Оксон.

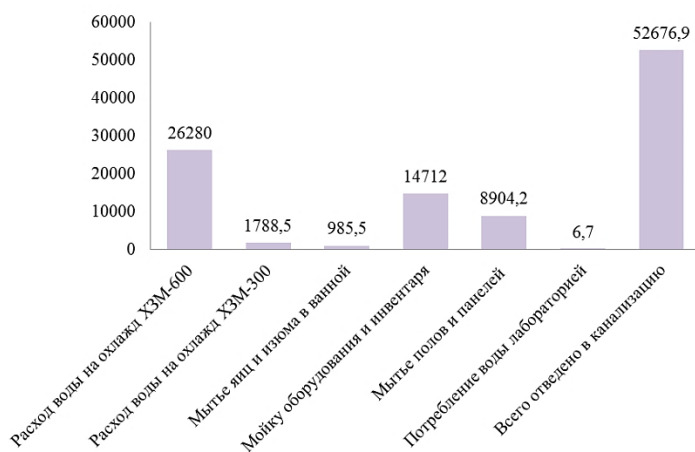


Рисунок 2 – Сводные показатели потребности воды на основные технологические нужды, м³/ год

Потребление воды, а также отведение сточных вод являются важными экологическими аспектами, требующими разработки и внедрения мероприятий для снижения отрицательного воздействия на окружающую среду. Предлагается автоматизировать этот процесс и заменить моющие средства на биоразлагаемые.

Предлагаем внедрить полностью автоматизированные, рециркуляционные СІР-станций. Такие системы точнейшим образом дозируют воду, кислоту, щелочь, используют один и тот же моющий раствор для нескольких циклов (после проверки концентрации), а также обеспечивают возврат и повторное использование последней порции ополаскивающей воды в качестве первой порции моющего раствора для следующего цикла.

Схема станции безразборной мойки представлена на рисунке 3 [4].

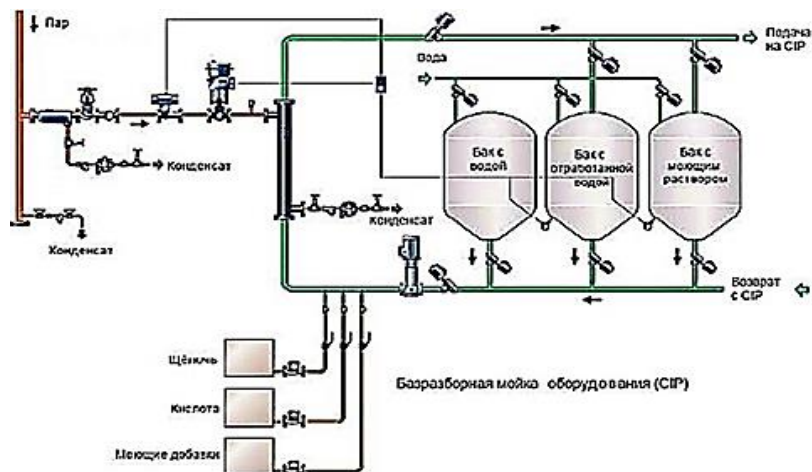


Рисунок 3 – Схема СИП-мойки

Актуальность внедрения автоматизированной СИП-мойки на хлебозаводе «Автомат» подтверждается результатами бенчмаркинга с европейскими показателями. Референсный уровень для лучших доступных технологий (НДТ) в ЕС на хлебозаводах составляет 0,8 – 2,1 л свежей воды на кг готовой продукции (хлеб, свежие кондитерские изделия) (эквивалентно 0,8 – 2,1 м³/т). Данное значение взято из EU BAT (IPPC BREF 2019).

Переход с ручной мойки на СИП-мойку является мировым трендом в снижении водопотребления и соответствует философии «чистоты на месте», принятой на современных предприятиях. Это позволяет приблизить белорусское предприятие к европейским стандартам ресурсоэффективности, где, например, во Франции ведется активная работа по снижению сопутствующих потерь.

Литература:

- 1.<https://www.minskhleb.by/>

2.Светлова Я. С. Воздействие предприятий хлебопекарной промышленности на окружающую среду / Материалы VIII Международного молодежного экологического Форума, 13-14 ноября 2024 г., Кемерово [Электронный ресурс] / Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева; Под ред. член-корр. РЭА Т. В. Галаниной, М. И. Баумгартэна – Кемерово, 2025.

3. Состав сточных вод хлебопекарных заводов. – <https://www.voda.ru/articles/hlebopekarni/sostav-stokov> (Дата обращения 26.03.2026).

4. Что значит СІР или СИП-мойка? – https://ximiks.ru/cip_answer (Дата обращения 25.03.2026).

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ

Свинцова Е.А., магистрант

Научный руководитель Галимова А.Р.

**Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия**

Статья представляет метод термодинамического анализа для оценки экологического ущерба при производстве аммиачной селитры. Рассмотрены механизмы загрязнения, предложены критерии эффективности очистных сооружений и рекомендации по снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: экологический ущерб, аммиачная селитра, термодинамический анализ, свободная энергия Гиббса, загрязнение окружающей среды, оценка воздействия.

Объекты, принадлежащие к химической промышленности, относятся к пунктам высокой опасности загрязнения среды токсическими веществами. В процессе производства аммиачной селитры в окружающую среду могут поступать опасные вещества, способные нанести существенный вред природе. Негативное воздействие на окружающую среду при производстве минеральных удобрений могут оказывать следующие факторы: выбросы в атмосферу, сточные воды, крупнотоннажные побочные продукты.

Использование удобрений оказывает позитивное влияние на плодородность почвы: повышается урожайность, усиливается яркость и интенсивность цветения, активизируется рост сельскохозяйственных культур. Удобрения используются во всех сельскохозяйственных центрах, так как от них напрямую зависит качество и количество полученного урожая. Поэтому в настоящее время происходит развитие предприятий по производству удобрений. Такие предприятия специализируются на производстве следующих материалов – аммиак, аммиачная селитра, карбамид, азотная кислота, сульфат аммония, капролактамы, карбидно-аммиачная смесь. Данные производства могут оказывать значительное негативное влияние на окружающую среду. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 (ред. от 07.10.2021) "Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий" предприятие по производству минеральных удобрений относится к объекту I категории.

Экологически эффективная инновационная технология для производства аммиачной селитры особенно актуальна в современных условиях растущего спроса на продукцию сельскохозяйственного назначения и возрастающего внимания к защите окружающей среды. Традиционные методы производства зачастую ассоциируются с негативным влиянием на природу, вызывая загрязнение воздуха и водоемов. Поэтому создание инновационных решений, направленных на улучшение экологической безопасности и ресурсосбережение, играет ключевую роль в обеспечении устойчивости отрасли и сохранении благоприятных условий проживания.

Для оценки антропогенного воздействия на окружающую среду и эффективности ее защиты целесообразно использовать некий универсальный критерий, который позволял бы трактовать загрязнение окружающей среды с энергетических позиций. Это упростило бы сравнение используемых методов и способов ее защиты, основанных иногда на совершенно различных принципах. Таким требованием соответствует термодинамический критерий. Обычно в качестве термодинамической характеристики организмов, экосистем и биосферы в целом выбирают энтропию.

В открытых неравновесных системах любой процесс, приводящий к загрязнению окружающей среды, вызывает увеличение энтропии, т. е. > 0 . Целесообразно оценить работу, затрачиваемую на снижение концентрации загрязняющего вещества в окружающей среде до нормативного уровня (до ПДК). Если при сбросе в окружающую среду загрязнителей ее температура и давление остаются постоянными (или изменение этих параметров пренебрежимо мало), то для процессов со стационарным потоком полная и полезная работа может быть оценена величиной изменения свободной энергии ΔG . Отрицательный знак при ΔG означает, что система сама производит работу над внешней средой, а положительный указывает на то, что над системой работа производится извне.

При схеме загрязнения окружающей среды при непосредственном поступлении в нее загрязняющих веществ (без использования очистных устройств и с наличием данных устройств) применимо уравнение:

$$\Delta G = RT \frac{C_k}{C_n} = 2,3RT \log_{10} \frac{C_k}{C_n} \quad (1)$$

где C_n – начальная концентрация загрязняющего вещества, C_k – конечная концентрация загрязняющего вещества.

Произведем расчет и физическую интерпретацию для случая сброса аммония ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$) без очистки. Начальная концентрация аммония в сбросе (C_n) 300 мг/л или 0,02143 моль/л. Конечная концентрация в водной среде (C_k) – это концентрация после полного смешивания сброса с водой водоема. Допустим, для оценки, что фоновая концентрация в реке (ПДК для рыбохозяйственных водоемов) составляет 0,5 мг/л (ПДК) или 0.0000357 моль/л.

Расчет изменения свободной энергии Гиббса (ΔG) производится по формуле (2):

$$\Delta G = 2,3RT \log 10^{\frac{0,0000357}{0,02143}} = -15,83 \text{ кДж/моль} \quad (2)$$

Этот расчет показывает потенциал негативного воздействия. Самопроизвольность процесса обусловлена резким увеличением энтропии (беспорядка) при переходе ионов аммония из локальной области сверхвысокой концентрации в огромный объем водоема с низкой концентрацией. Чтобы обратить этот процесс, т.е., сконцентрировать рассеянный аммоний обратно, потребовалось бы затратить как минимум +15,83 кДж на каждый моль (например, в процессах мембранного концентрирования или регенерации сорбентов). Эта отрицательная величина ΔG косвенно отражает масштаб нарушения природного равновесия. Чем больше абсолютное значение ΔG (чем больше разница между C_n и C_k), тем сильнее термодинамический "толчок", с которым загрязнение внедряется в среду, и тем больше энергии потребуется природным системам (или очистным сооружениям) для его нейтрализации.

Таким образом, $\Delta G = -15,83$ кДж/моль — это термодинамический потенциал воздействия, количественно показывающий, насколько силен движущий фактор для рассеивания данного загрязнения в окружающей среде. Этот показатель подчеркивает необходимость очистки: без нее природа будет вынуждена "заплатить" энтропийную цену за ассимиляцию этого чужеродного высококонцентрированного потока, что часто приводит к эвтрофикации, токсикозу и деградации водной экосистемы.

Рассчитан термодинамический критерий оценки техногенного воздействия производства аммиачной селитры на окружающую среду $\Delta G = -15,83$ кДж/моль. Для предприятия необходимо определить наиболее критичные точки загрязнения и разработать меры по улучшению экологической обстановки. Такой подход способствует повышению общего уровня защиты природной среды и обеспечению соответствия действующих предприятий современным стандартам охраны природы.

Литература:

1. Кондратьева Л.М. Экологический риск загрязнения водных экосистем / под ред. К.П. Караванова. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 299 с.
2. Analysis of the content of nitrogen-containing compounds in waste and surface waters in the urbanized territories of the Kaluga region / K. Gorbunov, A.Yu. Loginova, N.A. Silaeva, S.A. Kusacheva, M.E. Safronova // AIP Conference Proceedings. –2022. –Vol. 2647. –No 1. DOI: 10.1063/5.0106100.
3. Ahmed J., Thakur A., Goyal A. Biological treatment of industrial wastewater // The Royal Society of Chemistry. –2022. –P.1–14.

ПОЛУЧЕНИЕ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ

Свислѐнок В.Г., Серегова Ю.Ю., учащиеся УО «Национальный детский технопарк»

Научные руководители Зеленуха Е.В., Скуратович И.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

Рассмотрена возможность получения вибропоглощающих материалов на основе резиновой крошки, полученной при переработке изношенных шин. Представлены результаты экспериментального получения опытных образцов с различным соотношением компонентов (резиновая крошка / связующее). Дана сравнительная характеристика структуры и свойств полученных образцов. Показана перспективность разработки для применения в лифтовом оборудовании ОАО «Могилевлифтмаш».

Ключевые слова: отходы производства, резиновая крошка, вибропоглощающие материалы, лифтовое оборудование.

В Республике Беларусь вибропоглощающие материалы в основном представлены дорогим импортом, что увеличивает себестоимость продукции. При этом в стране накоплено много промышленных отходов, которые требуют утилизации. Создание вибропоглощающих материалов с использованием резиновой крошки позволит получить отечественный материал и снизить экологическую нагрузку. В частности, применение вибропоглощающих материалов актуально при производстве лифтового оборудования на ОАО «Могилевлифтмаш».

В Республике Беларусь ежегодно образуется порядка 100000 тонн резиносодержащих отходов (в том числе, 62000 тонн покрышек). И использованные шины относятся к третьему классу опасности и являются ценным вторичным сырьем, захоронение которого запрещено. Одним из основных путей переработки является дробление. Получение резиновой крошки находит применение для изготовления различных покрытий, используется в дорожном строительстве.

В данной работе предлагается альтернативное решение – создание вибропоглощающего прототипа из вторичного сырья.

Для получения опытных образцов исходный материал (шина) был подвергнут механическому измельчению. Следует заметить, что более эффективно было бы раздробить материал на дробилке, для получения более мелкой и однородной фракции. В качестве связующего был использован полиуретановый клей.

Навески резиновой крошки и полиуретанового клея брали в определенных процентных соотношениях. Компоненты тщательно перемешивались до получения однородной массы. Полученная смесь укладывалась в заранее подготовленные формы и уплотнялась (рис. 1). Образцы выдерживались в течение 72 часов.



а) образец 1

б) образец 2

в) образец 3

Рисунок 1 – Экспериментальные образцы

Сравнительная характеристика полученных опытных образцов приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика опытных образцов

Образец	Характеристика	Оценка
Образец №1 (60% резиновая крошка и 40% связующее)	Смесь получилась достаточно суховатой. Клей с трудом распределялся по поверхности частиц, наблюдалась неоднородность смачивания. Масса плохо уплотнялась, крошилась по краям. Образец получился пористым, рыхлым и эластичным. При нажатии легко деформировался, частицы крошки осыпались с поверхности. Материал имеет шероховатую структуру с большим количеством открытых пор.	Вибропоглощающие свойства будут низкими из-за недостаточной связанности частиц
Образец №2 (40% резиновая)	Консистенция при смешивании была умеренно вязкая, однородная масса. Клей хорошо смачивал все	Материал сочетает в себе достаточно развитую

Образец	Характеристика	Оценка
крошка и 60% связующее)	частицы крошки. Масса хорошо укладывалась в форму и хорошо ее сохраняла. Образец получился плотным, упругим и эластичным. Поверхность более гладкая, чем у образца №1, но сохраняет легкую шероховатость. При деформации образец восстанавливает форму.	полимерную матрицу для вибропоглощения
Образец №3 (30% резиновая крошка и 70% связующее)	Жидковатая текучая масса. Клей в избытке обволакивал частицы резиновой крошки. Образец легко заливался в форму. После полного застывания он получился наиболее твердым, жестким и монолитным.	Благодаря монолитной и жесткой структуре материал будет наиболее эффективен для вибропоглощения

Таким образом, в ходе эксперимента была подтверждена прямая зависимость структуры композита от содержания связующего. При недостатке связующего формируется рыхлая пористая структура образца. При избытке – формируется плотная, монолитная структура, где резиновая крошка полностью заключена в слой связующего. На следующих этапах работы будут исследованы разные типы наполнителей и связующих для получения вибропоглощающих материалов с лучшими эколого-экономическими характеристиками и сравнение их свойств с используемыми в настоящее время.

Литература:

1. О Стратегии по обращению с отходами производства и потребления в Республике Беларусь : постановление Совета Министров РБ от 18 августа 2025 г. № 444. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500444> (дата обращения: 09.04.2026).

2. ЭУМК по учебной дисциплине «Стратегия более чистого производства» для специальности II ступени высшего образования 1-33 80 01 «Экология» [Электронный ресурс] / сост.: А.А. Хрипович, И.В. Скуратович. – Минск: БНТУ, 2021.

3. ЭУМК по учебной дисциплине «Безопасность жизнедеятельности человека» для специальности 6-05-0311-02 «Экономика и управление» / сост.: А.А. Хрипович [и др.]. – Мн.: БНТУ, 2025. – URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/155571> (дата обращения: 09.04.2026).

БЕЗОПАСНОСТЬ И ЖИЗНЕСТОЙКОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ГОРОДОВ

Серова Д.Н., Мекин П.В., студенты

Научный руководитель Сидорская Н.В.

**Белорусский государственный университет иностранных языков,
Беларусь**

В статье рассматриваются ключевые аспекты безопасности и жизнеспособности современных урбанизированных пространств, как в мировом контексте, так и в Республике Беларусь. Проводится анализ концепции устойчивого городского развития, включая экологические, социальные и экономические факторы, влияющие на качество жизни горожан, подчеркивается важность интеграции многосекторных подходов для обеспечения безопасности и наращивания жизнеспособности городских систем, а также необходимость активного участия местных сообществ в этом процессе.

Ключевые слова: урбанизация, загрязнение окружающей среды, индекс безопасности города, циркулярная экономика.

Исторический процесс урбанизации и его проблемы остаются достаточно актуальными для всего мира. Около 4 миллиардов человек проживают в городах и мегаполисах.

Резкое увеличение численности населения городов произошло в середине 20 века и продолжается в нынешнее время. На рост городов в прошлом повлияли следующий факторы:

1. Экономические причины, к которым относятся:

- индустриализация, где концентрация производства требует большего количества рабочих;
- развитие торговли и услуг;
- механизация сельского хозяйства, которая подразумевала замену людей в деревнях на технику, что вынуждало людей сменить место жительства, для улучшения качества жизни.

2. Социальные причины: улучшение санитарных условий, возможность трудоустройства, развитие торговли.

3. Демографические причины: естественный прирост населения и миграция.

По данным ООН уже в 2007 году численность городского населения сравнялась с численностью сельского, превысив отметку в 50%. И в последующие года количество городского населения продолжало и продолжает стремительно увеличиваться.

Данная тенденция, несмотря на свои положительные стороны для человечества, также негативно влияет на окружающую среду, ставя ее под угрозу.

Процесс урбанизации негативно влияет на качества воздушного, водного и почвенного пространства. Промышленность и транспорт оказывают значительное воздействие на атмосферный воздух. Особенно сильное влияние имеет современный автотранспорт, так как именно он дает 60-70% газового загрязнения.

В городах, в отличие от сельской местности, происходит более интенсивное потребление воды в различных сферах, что сильно истощает запасы пресной воды. Благодаря активной промышленности в городах происходит загрязнение водоемов сточными водами.

Из-за высокого уровня плотности населения в городах растет и объем потребления различной продукции, из-за чего появляется вопрос о ее утилизации. В нынешнее время особенно острой экологической проблемой является долгий срок разложения бытовых отходов. К примеру, такие базовые вещи для нас, как консервная банка и пластиковая чашка, разлагаются около 50 лет. Есть материалы, которые разлагаются несколько сотен лет.

Урбанизация также негативно влияет на человека, например, перенаселение городов ведет к ухудшению его здоровья и психики, а также усиливает опасность проживания. При резком скачке урбанизации вырос уровень преступности в городах. В современном мире данные показатели в развитых странах стабилизировались, но до сих пор прогрессируют в развивающихся странах или мегаполисах.

Еще одним следствием урбанизации для человека является голод. Он снижается во всем мире, но одновременно с этим растет в Африке и Западной Азии. Согласно докладу ООН уровень голода в мире значительно снизился, а высокая инфляция способствует весьма медленному восстановлению продовольственной безопасности. К сожалению, эта положительная тенденция резко контрастирует с ростом голода в Африке и Западной Азии, а также в странах, столкнувшихся с продовольственным кризисом [1].

Прогнозируется, что к 2030 году 512 миллионов человек могут хронически недоедать, почти 60% из них будут в Африке. Это подчеркивает огромную сложность достижения цели устойчивого развития 2 – ликвидация голода.

Вопрос безопасности и жизнестойкости городов с каждым годом становится все более актуальным, так как статистика урбанизации, роста климатических угроз, перенаселения и высокого уровня загрязнения продолжает расти. Чтобы избежать данные проблемы, во всем мире устанавливаются цели по созданию устойчивой и безопасной городской среды, обеспечив двойное качество жизни.

С 2015 года по всему миру составляется ежегодный отчет индекса безопасности городов, который рассчитывается по 76 показателям. Индекс безопасных городов – индекс, дающий комплексную оценку уровня безопасности крупных городов по всему миру. Этот индекс призван служить ориентиром для правительств при осуществлении мер по повышению безопасности в своих городах. Оценка охватывает широкий круг областей, включая безопасность в городах, личную безопасность, безопасность инфраструктуры, безопасность здоровья и цифровую безопасность. В британском издании Индекса безопасных городов 2021 года экологическая безопасность была включена в качестве нового показателя.

Индекс безопасных городов оценивает качество жизни, а также помогает властям в выявлении слабых мест в инфраструктуре, анализирует уровень преступности и восприятие безопасности жителями. Данные, получаемые благодаря индексу, помогают государству выявить области, требующие улучшения, а также сформировать эффективную политику безопасности.

Политика обеспечения безопасности в современных городах включает в себя следующие подходы:

1. Технологический подход: использование систем видеонаблюдения, мониторинга транспорта и анализа данных.
2. Социальная безопасность: профилактика правонарушений, предотвращение конфликтов в людных местах.

К примеру, в ходе проекта Safe-Cities были созданы некоторые программы, предназначенные для помощи городам в оценке рисков, планировании безопасных общественных пространств и подготовке к неожиданным угрозам. В основе проекта лежит Фреймворк оценки безопасности и уязвимостей (SVA), реализуемый в основном профессионалами исследовательского центра Demokritos. Фреймворк позволяет пользователям анализировать потенциальные угрозы, выбирать из заранее определённых сценариев рисков и следовать пошаговым рекомендациям по усилению безопасности [2].

Фреймворк служит основой для инструмента SERVE (Security Vulnerability Assessment), разработанного компанией IANUS Technologies. Это мощная интерактивная платформа, помогающая специалистам по безопасности картировать реальные общественные пространства, анализировать их уязвимости и адаптировать планы безопасности под реальные локации, такие как транспортные узлы, городские площади или стадионы.

Ещё один инструмент, разработанный в рамках проекта SAFE-CITIES, – SBS – Симулятор сценариев и серьёзных игровых симуляторов. Он предназначен для защиты крупных общественных мероприятий, таких как

концерты, спортивные мероприятия, публичные демонстрации или религиозные собрания, ещё до их настоящего начала. Он позволяет командам по безопасности создавать подробные 3D-модели площадок проведения мероприятий, обеспечивая чёткую визуализацию планировок безопасности и потенциальных уязвимостей [2].

3. Информационная защита: обеспечение устойчивости городской цифровой инфраструктуры и защиты персональных данных.

Данный подход подразумевает внедрение технологии умного города, что помогает автоматизации управления процессами, повышения безопасности и качества жизни, включающее создание телекоммуникационных сетей. Одним из примеров данного подхода является сеть IoT. IoT (Internet of Things) – это сеть физических устройств, транспортных средств, бытовой техники и других физических объектов, оснащенных датчиками, программным обеспечением и средствами подключения к сети, что позволяет им собирать и обмениваться данными. Ярким примером использования сети является использование бытовой техники с системой «умный дом».

4. Комплексное регулирование: нормативно-правовые акты, определяющие принципы обеспечения безопасности личности и государства.

Республика Беларусь также активно обеспечивает свои города безопасностью. Каждый год власти разрабатывают индивидуальный план устойчивого развития, направленный на улучшение отстающих отраслей, с чем успешно справляется. Например, Республика Беларусь находится на достаточно высоком месте в рейтинге достижения Целей устойчивого развития (30-е место среди 167 стран).

В список целей устойчивого развития Республики Беларусь до 2024 года входили следующие пункты:

1. Цифровая трансформация и построение интеллектуальной экономики.

В Минске уже внедряется интеллектуальная транспортная система. Она уже управляет движением и помогает экономить время в пути. Также появляются так называемые «умные остановки» и системы безналичной оплаты. Распространение данной концепции на регионы помогает улучшить уровень городской мобильности.

2. Инфраструктура высокой комфортности жизни.

Одной из главнейших задач нашей страны является создание комфортности жизни в каждом уголке страны.

3. Выход на траекторию устойчивости экологического развития В сфере экологической безопасности акцент сделан на переход от действий, направленных на локализацию негативных последствий, обусловленных

нарушением экологического равновесия, к их прогнозированию и предотвращению [3].

Среди достижений современной Беларуси в сфере обеспечения безопасности городов также можно отметить, что город Минск признан одним из самых безопасных городов мира. А в январе 2026 года Минск был признан одним из самых доступных городов мира по стоимости жизни, что укрепило его позиции в рейтинге качества жизни городской среды [4].

Республика Беларусь продолжает совершенствоваться в различных сферах, улучшая качество жизни не только в городах, но и в деревнях, обеспечивая их всем необходимым для улучшения качества проживания.

Таким образом, Республика Беларусь успешно достигает поставленных Целей устойчивого развития, доказательством чего является достаточно высокое место города Минска в мировом рейтинге безопасности и качества жизни. Технологические инновации направлены не только на облегчение качества жизни, но и прогнозировать возможные угрозы, а посредством этого и избегать их.

Литература:

1. Urbanization. The world population is moving to cities. Why is urbanization happening and what are the consequences? [Электронный ресурс]. – Our World in Data. – Режим доступа: [<https://ourworldindata.org/urbanization>]. (дата обращения: 20.03.2026)

2. How to Protect Our Cities? SAFE-CITIES Delivers the Tools [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://safe-cities.eu/tools-for-cities-protection> (дата обращения): 11.03.2026.

3. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/NSUR-2035-1.pdf> (дата обращения: 19.03.2026)

4. Numbeo. Cost of Living Index by City 2026. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.numbeo.com/cost-of-living/rankings.jsp> (дата обращения: 19.03.2026)

ПРОБЛЕМА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОЗАМИ И ЕЕ РЕШЕНИЕ

Скобельский Г.Ф., студент

Научные руководители: Костюк Н.Н., Меженцев А.А.

Белорусский национальный технический университет

В работе представлен вариант решения проблемы заболеваемости сельскохозяйственных животных микроэлементозами. Предлагается организовать малотоннажное производство комплексонов биогенных металлов высокой степени чистоты, которые могут быть использованы в качестве кормовых добавок и ветеринарных препаратов.

Ключевые слова: микроэлементоз, хелат, комплексонат биогенного металла, синтез хелатов.

В настоящее время в сельскохозяйственном секторе республики необходимо решить две противоречащие друг другу задачи. С одной стороны, поддерживать продовольственную безопасность государства и наращивать экспортный потенциал сельскохозяйственной продукции, а с другой – сохранить экологию землепользования. Ключ решения проблемы – коренная модернизация всех используемых в сельском хозяйстве технологий, повышение эффективности растениеводства и животноводства путем тесного взаимодействия аграриев с наукой [1,2].

Основой, определяющей высокий уровень эффективности растениеводства, который бы наиболее существенно нивелировал действия неблагоприятных погодных условий, является плодородие почв [3]. Химизация сельского хозяйства, проводимая путем использования минеральных, органических удобрений и известкования кислых почв, является основным путем повышения эффективного и потенциального плодородия почв Беларуси [4].

В республике зональные биогеохимические провинции пространственно совпадают с зональными типами почв. К зональным биогеохимическим явлениям относится недостаточность в почвах и растениях таких важных элементов, как кобальт, фтор, бром, йод, медь, цинк и др. [5,6].

Интенсификация сельского хозяйства усиливает потребность растений в микроэлементах. Наиболее важными являются медь, бор, цинк и молибден. Рост урожайности увеличивает вынос их из почвы, а увеличение производства концентрированных минеральных удобрений, не содержащих микроэлементы, не восполняет их запасы в почве [7]. В частности существует негативная тенденция снижения запасов подвижного фосфора в пахотных

почвах 80 районов республики в силу того, что дозы внесения фосфорных удобрений не компенсируют вынос этого элемента с урожаем [3].

Потребность сельскохозяйственных культур в микроэлементах удовлетворяется за счет поставок в республику микроудобрений в основном в виде неорганических солей меди, цинка, марганца, молибдена. Наряду с простыми микроудобрениями широкое применение получили органо-минеральные и хелатные соединения микроэлементов [8]. На рынке удобрений Беларуси активно действуют фирмы-поставщики из Бельгии, Германии, Нидерландов, Норвегии, Польши, России, Украины, Франции, [9].

Недостаток микроэлементов в почве приводит к их недостатку в растениях. Поэтому, в связи с тем, что отечественное животноводство опирается на собственную кормовую базу на основе местного растительного сырья, велика вероятность недостатка микроэлементов в рационе животных. Это негативно сказывается на продуктивности отечественного животноводства в связи с их заболеваемостью микроэлементозами [10].

Для профилактики и лечения микроэлементозов высокоэффективные препараты на основе комплексонов биогенных металлов [11-14]. Для этого необходимы высокочистые соединения. В связи с этим, выходом из сложившейся ситуации для профилактики и лечения микроэлементозов животных является разработка технологии синтеза комплексонов биогенных металлов и ее масштабирование для получения кормовых добавок и ветеринарных препаратов.

В таблице представлены наиболее востребованные методы синтеза хелатов переходных металлов [15].

Как видно из представленных данных в таблице, при синтезе хелатов металлов используются шесть основных типов химических реакций. К ним относятся методы на основе обмена лигандов (№ 1 и 2, таблица), кислотно-основные превращения (№ 3-5, таблица) и электрохимический метод синтеза (№ 6, таблица).

Методы 1 и 2 основываются на обмене лигандов в растворе. Используются как водные растворы, так и органические растворители. Целевой продукт, получаемый в результате реализации методов синтеза на базе обменно-лигандных процессов, как правило, нуждается в дальнейшей очистке. Наиболее эффективна очистка методом сублимации, но она применима только для узкого круга летучих веществ. Очистка целевого продукта путем перекристаллизации требует тщательного контроля. В обоих случаях значительно снижается его выход.

Методы с 3 по 5 основываются на кислотно-основных реакциях. Их характерной особенностью, является выделение в качестве побочного продукта воды. В связи с этим, даже при использовании органических растворителей, остается опасность гидратации и гидролиза целевого продукта.

Поэтому при получении летучих хелатных соединений f-элементов методы 6-8 имеют ограниченную применимость. С химической точки зрения для d-элементов проблема не столь актуальна, так как гидратная вода может быть удалена из состава хелатов путем нагревания. Однако при получении вещества в больших количествах это приведет к повышенным энергозатратам.

Таблица методов синтеза хелатов переходных металлов.

Наименование метода синтеза	Стадии	Наиболее существенные характеристики метода синтеза
1. Обмен лигандов в водном растворе	1,2	Многократная перекристаллизация без гарантии глубокой очистки целевого продукта, опасность его гидратации и гидролиза.
2. Обмен лигандов в неводном растворе	1,2	Трудности с подбором растворителя, необходимость соблюдения мер защиты более высокого уровня.
3. Взаимодействие лиганда с оксидом металла	1	Медленное протекание реакции, повышенные энерго- и трудозатраты, опасность гидратации и гидролиза целевого продукта.
4. Взаимодействие лиганда с гидроксидом (карбонатом) металла	2	Проблемы получения чистых гидроксидов металлов, повышенный расход воды, опасность гидратации и гидролиза целевого продукта.
5. Прямое взаимодействие металла и лиганда	1	Трудности подбора растворителя, слабая активность ряда металлов и недостаточная кислотность лигандов.
6. Электрохимический синтез	1	Необходимость дополнительного оборудования и расхода электроэнергии.

Методы 3 и 5 ограничены слабой химической активностью большинства переходных металлов и их оксидов, а также слабой кислотностью большинства хелатообразующих лигандов.

Для получения гидратированных хелатов d-элементов перспективно применения кислотно-основных реакций лиганда с гидроксидами и карбонатами металлов (№ 4) в водной среде. Необходимым условием чистоты

целевого продукта является индивидуальная для каждого металла схема синтеза, предусматривающая получение в качестве исходного (или промежуточного) вещества соответствующего чистого гидроксида или карбоната металла. Побочными продуктами данных реакций являются вода и двуокись углерода. Поэтому хелаты металлов высокой степени чистоты потенциально можно получать на основе данных кислотно-основных взаимодействий.

Электрохимический метод синтеза (№ 6, таблица) является по своей сути универсальным методом получения любых типов хелатов металлов с высокой степенью чистоты. Высокая эффективность метода обусловлена как отсутствием загрязняющих побочных веществ, так и чистотой используемого окислителя и восстановителя – электрического тока. Процесс электрохимического синтеза имеет ряд специфических черт – использование электрического тока в окислительно-восстановительных процессах получения хелатов металлов при совмещении в одновременном акте, как окисления-восстановления, так и формирования координационного соединения. Для реализации электролиза необходимо специальное оборудование, однако его нельзя отнести к разряду дефицитного или дорогостоящего.

Таким образом, одним из методов решения проблемы заболеваемости сельскохозяйственных животных микроэлементами в Республике Беларусь является организация малотоннажного производства хелатов (комплексонатов) биогенных металлов. Они могут быть использованы как кормовые добавки, так и в качестве ветеринарных препаратов. Наиболее перспективными направлениями синтеза комплексонатов биогенных металлов являются методы в основе которых лежат кислотно-основные взаимодействия и электролиз. Все они позволяют получать хелаты биогенных металлов высокой степени чистоты без дополнительной очистки.

Литература:

1. Лукашенко А.Г. Стратегия будущего / А.Г. Лукашенко // Первый съезд ученых Республики Беларусь (Минск, 1-2 нояб. 2007 г.): сб. материалов. – Мн.: Белорус. наука, 2007. – С. 18-42.

2. Приказ Министерства сельского хозяйства и продовольствия республики Беларусь от 30 октября 2024 г. № 257 О стратегиях развития животноводства // https://mshp.gov.by/ru/documents_animal-ru/view/strategija-razvitiya-ultrasovremennogo-svinovodstva-na-20252034-gody-strategija-obespechenija-10204/ (Дата обращения 14.04.2026)

3. Привалов Ф.И. Научные системы земледелия: опыт, предложения, перспективы / Ф.И. Привалов // Первый съезд ученых Республики Беларусь

(Минск, 1-2 нояб. 2007 г.): сб. материалов. – Мн.: Беларус. наука, 2007. – С. 205-208.

4.Клебанович Н.В. Известкование почв Беларуси / Н.В. Клебанович, Г.В. Василюк. – Мн.: БГУ, 2003. - 322 с.

5.Микроэлементы в почвах БССР и эффективность микроудобрений. Мн., Изд. БГУ, 1970. – 196 с.

6.Лукашев К.И. Химические элементы в почвах / К.И. Лукашев, Н.Н. Петухова. - Мн.: Изд-во «Наука и техника», 1970. - 232 с.

7.Богданкевич И.М. Исследование почв колхозов и совхозов БССР на обеспеченность подвижными формами микроэлементов / И.М. Богданкевич, И.А. Кожуро. // Почвенные исследования и применение удобрений. – Мн.: «Ураджай», 1988. – Вып. 19. – С. 91-96.

8.Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]. – Мн.: Беларус. наука, 2007. - 390 с.

9.Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / Р.А. Новицкий [и др.]. - Справочное издание. – Мн.: РУП «Издательство «Белбланквыд», 2008. – 460 с.

10. Обмен микроэлементов и микроэлементозы животных / А.П. Курдеко [и др.]. – Горки.: 2009. - 144 с.

11. Дятлова, Н.М. Комплексоны и комплексоны металлов / Н.М. Дятлова, В.Я. Темкина, К.И. Попов – М.: Химия, 1988. - 544 с.

12. Синтез и результаты исследования токсичности этилендиаминтетраацетатмеди(II) натрия / Н.Н. Костюк [и др.] // Эпизоотология. Иммунология. Фармакология. Санитария. – 2006. - № 1. - С. 57-61.

13. Арсанукаев Д.Л. Стимуляция роста молодняка черно-пестрой породы микроэлементами / Д.Л. Арсанукаев // Зоотехния. – 2005. - № 4. – С. 9-10.

14. Емельянов В.В. Лечебно-профилактическая эффективность новых ветеринарных препаратов "Цинковит" и "Купровит" при микроэлементозах у свиней / В. В. Емельянов, А. А. Мацинович, А. П. Демидович // Сельское хозяйство - проблемы и перспективы : сборник научных трудов. - Гродно, 2007. - Т. 2: Зоотехния. Ветеринария. - С. . 222-228.

15. Костюк Н.Н. «Систематизация и оценка методов синтеза хелатов переходных металлов с целью их масштабирования» /Н.Н. Костюк, Т.А. Дик //Материалы международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии», Минск, 26-28 ноября 2014 г., ч. 2, с. 191-195.

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ВСКРЫШНЫХ ПОРОД: ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ЗАМЕЩЕНИЮ ТЕХНОГЕННЫХ ПЕСКОВ И ГРАВИЯ

Скобельский Г.Ф., студент

Научный руководитель Лукьянова А.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье представлены практические аспекты замещения природного песка от гравия продуктами переработки вскрышных пород. Рассмотрена техническая цепочка переработки: от предварительного грохочения до получения щебня нужной фракции в конусных дробилках замкнутого цикла и классифицированного песка на центробежно-ударных дробилках и гидроциклонах. Рассмотрены способы удаления пылевидной фракции.

Ключевые слова: вскрышная порода, селективное разделение, валковые грохоты-питатели, скруббер-бутары, конусная дробилка, замкнутый цикл, гидроклассификация, гидроциклон, петрографический состав, аргиллиты, кварциты.

Разработка месторождений полезных ископаемых всегда сопровождается образованием больших объёмов вскрышных пород. Ежегодный прирост вскрыши в СНГ исчисляется сотнями миллионов тонн. Складирование пустой породы ведет к деградации земель, загрязнению природы и нарушению гидрологического баланса территории. Используя переработанную вскрышную породу, можно заменить природный песок и гравий, тем самым сохраняя нерудные материалы.

Вскрыша состоит из смеси скальных обломков, глинистых минералов и пылеватых частиц. От геологического строения разреза в вскрыше могут преобладать: гранитоиды, песчаники, известняки, аргиллиты и алевролиты.

Основная техническая задача при переработке заключается в селективном разделении прочных скальных фракций от слабых, выветрелых пород и глинистых включений, препятствующих хорошей морозостойкости и прочности конечной продукции. Техническим решением подготовки и переработки вскрыши будет являться:

- предварительная классификация и отделение глины;
- двухэтапная схема дробления для получения кубовидного щебня.

Предварительная классификация производится за счёт определения породы по минеральному составу, затем для отделения комовой глины и мелкой фракции 5-20 мм используется следующее оборудование: валковые грохоты-питатели, скруббер-бутары. Так как технический регламент замещения природного гравия требует получения зерен правильной изометрической формы с низким содержанием лещадных зерен менее 15% по

ГОСТ 8267-93, то мы используем двухстадийную схему дробления, которая включает в себя: крупное дробление в щековой дробилке до 300 мм. и среднее и мелкое дробление в конусных дробилках, работающих в замкнутом цикле с вибрационными грохотами. Использование конусной дробилки обусловлено техническим преимуществом в разрушении породы за счёт сжатия в слое, тем самым минимизирует образование игловатых зерен и снижает лещадность щебня. Последовательность получения техногенного щебня из вскрышной породы представлена на рис. 1.



Рисунок 1 – Схема получения техногенного щебня из вскрышной породы

В технологии получения техногенного песка из отсева дробления сложным этапом является переработка отсева дробления фракции 0-5 мм в качестве аналога речного песка. Отсев характеризуется повышенной крупностью более 2.5 по модулю крупности. и высоким содержанием пылевидных частиц 20-25%.

Для соблюдения ГОСТ 8736-2014 используются следующие технические решения:

- технология получения фракции центробежно-ударными дробилками:

- сухая воздушная классификация;
- мокрая промывка и гидроклассификация.

Центробежно ударными дробилками получают песок нужной фракции. Дробление происходит за счёт разгона центробежными силами песка в ускорителе и вылете песка в камеру, где он дробится при ударе об футеровку.

В технология сухой воздушной классификации используется пневмоклассификатор каскадного типа. В потоке воздуха зерна разделяются по массе и парусности. Регулируя скорость потока, убираются частицы крупностью менее 0,16 мм в циклон-осадитель. Полученный продукт имеет стабильный зерновой состав.

Технология мокрой промывки и гидроклассификации включает в себя: спиральный классификатор или гидроциклон для удаления глинистых суспензий и обезвоживающего ковшового грохота, который обеспечивает влажность готового песка 10-12%, что позволяет без проблем транспортировать и использовать его.

Технические решения корректируются в зависимости от петрографического состава исходной породы. Оптимальные технические решения в зависимости от типа породы представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Оптимальные технические решения в зависимости от типа породы

Тип вскрышной породы	Критический параметр	Оптимальное техническое решение	Сфера замещения природного материала
1	2	3	4
Изверженные и метаморфические	Высокая прочность	Тяжелые конусные дробилки с гидравлической системой защиты от недробимых тел	Бетоны классов В25-В40, ж/б изделия
Карбонатные (известняки)	Низкая морозостойкость	Селекция прочных прослоев; применение только в качестве основания дорог или сырья для минерального порошка	Дорожные одежды, низкомарочные бетоны В7.5-В15

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4
Песчаники и кварциты	Высокое пылеобразование	Герметичные укрытия конвейеров, аспирационные системы с рукавными фильтрами	Высокопрочный песок для сухих смесей
Аргиллиты и слабые алевролиты	Размокаемость и распад на глину	Переработка в глинозем или керамзит. Для замещения песка/гравия непригодны.	Легкие заполнители бетонов, рекультивация

Внедрение описанных технических решений позволит горнодобывающему предприятию трансформировать расходы на содержание отвалов и их рекультивацию в доходы на продаже нерудных материалов.

Современные комплексы глубокой переработки с системами классификации и промывки гарантированно обеспечивают выпуск продукции с заявленными характеристиками. Вследствие переработки вскрышных пород складирование пустой породы, ведущее к деградации земель, загрязнению природы и нарушению гидрологического баланса территории будет решено.

Литература:

1. Кондратьев В.В. и др. Правовые, технологические и эколого-экономические основы вовлечения вскрышных и вмещающих пород и хвостов обогащения в хозяйственный оборот //Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2025. – №. 3. – С. 40-46.

2. Рубанов А.В. и др. О некоторых путях использования вскрышных пород угледобычи в строительных технологиях //Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2025. – Т. 27. – №. 2. – С. 206-214.

3. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Экологические аспекты рекультивации почв на отвалах вскрышных пород в районах угледобычи //Антропогенная трансформация природной среды. – 2022. – №. 1. – С. 48-57.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Слуцкая А.М., учащаяся УО «Национальный детский технопарк»
Научные руководители Скуратович И.В., Зеленуха Е.В., Благовещенская Т.С.
Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье проведены исследования возможности использования растительного сырья в качестве сорбентов нефтепродуктов. Определены физико-химические свойства, гидрофильность и гидрофобность образцов. Дана оценка возможности и перспективы использования растительных остатков в качестве сорбентов для нефтепродуктов.

Ключевые слова: сорбенты, нефтепродукты, насыпная плотность, зольность, влажность, гидрофобность, гидрофильность.

Нефтепродукты уже немало лет используются человечеством как топливо для автомобилей, поездов и самолетов, смазочные материалы, входят в состав лаков и красок. К сожалению, из-за активного использования горюче-смазочных материалов на основе углеводородов участились и случаи аварийных разливов. Утечки нефтепродуктов возможны везде, где их применяют: на перерабатывающих предприятиях, автозаправках, трубопроводах и даже просто на предприятиях, которые хранят горюче-смазочные материалы для собственных нужд [1].

При авариях бензин, дизельное топливо, мазут и другие нефтепродукты своим присутствием загрязняют окружающую среду, а также оказывают негативное воздействие на здоровье людей, которым не повезло оказаться недалеко от загрязненной территории [2]. Для сбора нефтяных и масляных продуктов с поверхности воды применяются специальные сорбенты, обладающие способностью к поглощению разлитых материалов. Сорбенты – это материалы, которые впитывают нефтепродукты [3]. В последнее время широкое распространение получило использование растительных сорбентов, полученных из древесных опилок, листового опада, соломы [4].

В качестве растительных остатков, которые можно использовать как сорбенты для нефтепродуктов, мы изучили молотый тростник, молотую солому рапса и пшеницы, жом свекловичный, костру льна.

Для изучения эффективности использования этих остатков мы определили их насыпную плотность. Анализ результатов образцов показал, что наиболее легким материалом является солома зерновых, обладающая минимальным значением насыпной плотности – $36,76 \text{ кг/м}^3$. Это свидетельствует о высокой пористости и наличии значительного свободного объема внутри структуры материала, что является благоприятным фактором

для высокой сорбционной емкости по отношению к нефтепродуктам. Данные мы представили на рисунке 1.

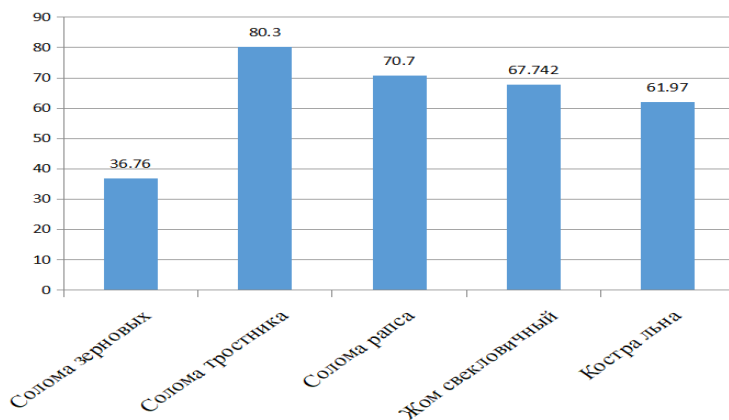


Рисунок 1 – Результаты определения насыпной плотности

Наибольшую насыпную плотность продемонстрировала солома тростника ($80,3 \text{ кг/м}^3$), что в 2,2 раза выше, чем у соломы зерновых. Солома рапса заняла промежуточное положение со значением $70,7 \text{ кг/м}^3$.

В ходе исследования были определены показатели влажности всех видов растительного сырья. Установлено, что все исследуемые образцы обладают низкой естественной влажностью (в диапазоне от 3,81% до 6,34%), что является положительным фактором для их использования в качестве сорбентов.

Результаты определения влажности анализируемых образцов (среднее значение в %) представлены на рисунке 2.

Наименьшая средняя влажность зафиксирована у соломы тростника (3,81%). Это указывает на то, что внутренняя структура капилляров данного материала наиболее свободна от влаги, что потенциально увеличивает его емкость при поглощении нефтепродуктов.

Наибольшая влажность наблюдается у жома свекловичного (6,34%), однако и это значение находится в пределах нормы для воздушно-сухого растительного сырья. Солома зерновых и солома рапса показали средние результаты.

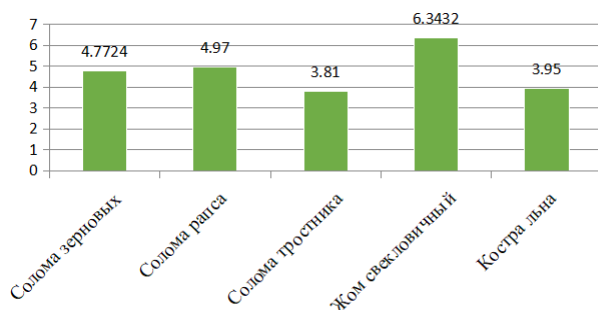


Рисунок 2. Результаты определения влажности анализируемых образцов

Анализ зольности исследуемых образцов показал, что все выбранные материалы характеризуются низким содержанием минеральных примесей, что подтверждает их высокую органическую чистоту. Минимальная зольность зафиксирована у соломы тростника (2,08%). Это свидетельствует о том, что данный материал практически полностью состоит из органических соединений (целлюлозы, лигнина), которые непосредственно участвуют в процессе сорбции нефтепродуктов.

Максимальная зольность выявлена у соломы рапса (4,75%), что может быть связано с особенностями накопления минеральных веществ данным растением в процессе роста. Солома зерновых показала средний результат – 3,92%. Таким образом, по критерию зольности все исследуемые образцы пригодны для создания эффективных и легко утилизируемых сорбентов.

Для сравнительной оценки эффективности сорбентов, полученных из растительных остатков, были проведены различные опыты с использованием отработанного машинного масла в качестве загрязнителя.

Опыт 1. Фильтрация эмульсии с нефтепродуктом с помощью сорбентов.

В колбы с водой объемом 100 мл мы добавляли 1 мл отработанного масла. Данную эмульсию мы пропускали через определенный взвешенный сорбент для того, чтобы оценить способности растительных остатков улавливать нефтепродукты при фильтрации. Попускали приготовленную эмульсию воды и отработанного масла через стеклянную лабораторную воронку, где находились предварительно взвешенные фильтры и точно взвешенные навески сорбентов, через 24 часа и 48 часов взвешивали фильтры, чтобы понять, насколько прочно сорбент удерживает поглощённое масло с течением времени.

Наибольшей удельной сорбционной емкостью обладает солома пшеницы, а наименьшей – жом.

Опыт 2. Чтобы наглядно сравнить, как разные материалы справляются с локализацией и поглощением масляного пятна на спокойной поверхности, мы использовали круглые плоские ёмкости - чашки Петри. На поверхность налитой воды вносили 20 капель отработанного масла, формируя пятно, а затем равномерно сыпали на него по 2 мерные ложки каждого сорбента. Этот опыт показал скорость и эффективность начального захвата нефтепродукта. (рис. 3). Наилучшим сорбентом, предназначенным для сбора нефтепродуктов на водной поверхности, является солома рапса, наименее эффективным сорбентом оказался жом свекловичный. Солома пшеницы, тростник и костра льна проявили эффективные сорбционные свойства.

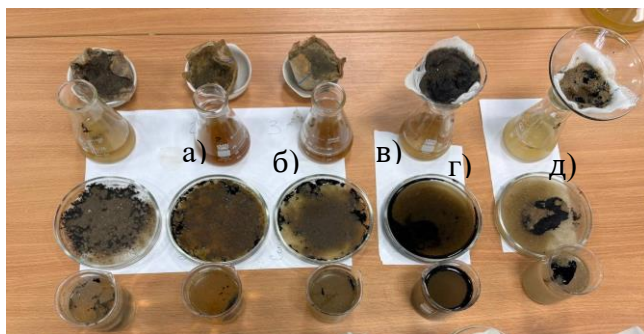


Рисунок 3 - Оценка сорбционных свойств растительных остатков при фильтрации отработанного машинного масла
а) солома тростника, б) солома зерновых, в) солома рапса, г) свекловичный жом, д) костра льна

Опыт 3. Для изучения поведения сорбентов в воде мы провели аналогичный эксперимент в химических стаканах. После добавления 20 капель масла на поверхность воды и последующего внесения порции сорбента мы наблюдали за распределением материала (плавает, тонет, распределяется в толще), образованием эмульсии и общей степенью очистки водной поверхности. По результатам данного исследования мы выявили, что тростник собирает нефтепродукты быстрее, чем другие растительные остатки, он оставался на поверхности воды, активно впитывая масляную пленку и препятствуя ее распространению, при этом вода под ними оставалась относительно чистой. Жом свекловичный не работает как нефтесорбент, поскольку он плотный и мгновенно тонет. Таким образом, наблюдаемые различия в поведении и эффективности сорбентов напрямую связаны с их плотностью, гидрофобностью или гидрофильностью, структурой поверхности.

В результате исследования изучены физико-химические свойства растительных остатков: наиболее легким материалом является солома зерновых, обладающая минимальным значением насыпной плотности, все исследуемые образцы обладают низкой естественной влажностью, анализ зольности показал, что все исследуемые образцы пригодны для создания эффективных и легко утилизируемых сорбентов.

Определив гидрофобность и гидрофильность растительных остатков, мы выявили, что растительные остатки (солома пшеницы, костра льна, тростник и солома рапса) обладают значительным потенциалом для использования в качестве эффективных и экологических сорбентов нефтепродуктов.

Наиболее перспективными являются материалы, сочетающие в себе гидрофобность с хорошей проницаемостью – солома пшеницы и костра льна. Солома пшеницы представляет собой универсальный фильтрующий материал для очистки стоков, Костра льна – идеальный сорбент для локализации разливов на твердых поверхностях. Тростник, благодаря самой высокой скорости фильтрации, открывает перспективы для создания барьерных зон и систем предварительной очистки больших объемов воды. Солома рапса может найти применение как очиститель поверхности земли. Жом непригоден для данной задачи.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования растительных остатков в качестве доступных, экологических и специализированных сорбентов для решения природоохранных задач.

Литература:

1. Какие сорбенты подходят для нефтепродуктов? // Терра экология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://terra-ecology.ru/stati/kakie-sorbenty-podxodyat-dlya-nefteproduktov/> (дата обращения: 22.01.2026).

2. Опасность нефтепродуктов для экологии и человека // Лабораторные измерения и охрана труда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://laboratoria.by/stati/vozdeystviye-nefteproduktov/> (дата обращения: 22.01.2026).

3. Сорбенты для очистки воды от нефтепродуктов // Биополимер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://biopolymer.eco/blog/sorbents-for-water-purification/> (дата обращения: 22.01.2026).

4. Громыко, Н. В. Новые растительные сорбенты для очистки водоемов от аварийных разливов нефти и продуктов на ее основе / Н. В. Громыко. // Молодой ученый. – 2015. – № 10 (90). – С. 192-195.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Смольский А. В., студент

Научный руководитель Агабалаева Е.Д., Агабалаев А.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье приводятся данные по использованию методов биоиндикации для мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь, указываются основные объекты и методы биоиндикации, а также ведущие учреждения страны, которые активно занимаются данным научным направлением.

Ключевые слова: биоиндикация, мониторинг окружающей среды, биоиндикаторы, Национальная система мониторинга окружающей среды

В настоящее время к загрязнению биосферы приводит современное развитие промышленности, энергетики, транспорта, рост населения, урбанизация и химизация всех сред деятельности человека. Это в свою очередь приводит к нарушению нормального функционирования природных экосистем, а также к увеличению риска причинения непоправимого вреда биоразнообразию планеты и здоровью человечества вследствие интенсивного индустриального развития. Согласно мировому прогнозу, только выбросы диоксида углерода в глобальном масштабе могут вырасти на 13% к 2035 г [1]. Все вышеуказанное подчеркивает необходимость постоянного экологического мониторинга отдельных компонентов биосферы.

В Республике Беларусь существует множество методов индикации загрязнения отдельных компонентов окружающей среды – атмосферы, воды, почв, снежного покрова, растений и др. Это как физические, химические, технические методы, так и биологические [2]. Важную роль в этом играют методы биоиндикации.

Биоиндикация — это метод оценки качества окружающей среды (воздуха, воды, почвы) по состоянию, наличию или отсутствию в ней определенных живых организмов-индикаторов. Она позволяет быстро выявить антропогенную нагрузку, изучая реакции растений, животных или микроорганизмов на загрязнение. Биоиндикация, дополняя физико-химические измерения, является ключевым инструментом экологического мониторинга, позволяющим оценивать качество воздуха, воды и почвы по состоянию живых организмов. Актуальность биоиндикации в современном экологическом мониторинге обусловлена необходимостью оценки не просто концентрации загрязнителей, а их реального воздействия на живые системы. В отличие от физико-химических методов, фиксирующих мгновенные

показатели, биоиндикация показывает реальное воздействие на живые организмы, а не только концентрацию веществ, а также позволяет увидеть кумулятивный накопленный эффект антропогенной нагрузки на экосистемы за длительный период.

Существует множество видов биоиндикации – в зависимости от используемых систематических групп живых организмов выделяют альгоиндикацию (индикаторы – водоросли), лишеноиндикацию (лишайники), фитоиндикацию (высшие сосудистые растения), дендроиндикацию (древесные виды), зооиндикацию (животные), а также бриоиндикацию (мохообразные) [2]. В Беларуси особенно часто в качестве биоиндикатора используют лишайники и древесные виды.

Основными объектами и методами биоиндикации в РБ являются:

- *атмосферный воздух*: оценка качества воздуха на основе лишеноиндикации – один из самых популярных методов в Беларуси. По их видовому разнообразию и состоянию определяют зоны загрязнения диоксидом серы и другими газами;

- *хвойные растения*: оценка состояния сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Анализируется некроз и дефолиация хвои, а также длина годичных побегов, что позволяет судить о техногенной нагрузке на леса;

- *поверхностные воды*: оценка качества рек и озер (например, в Нарочанском парке) по составу фитопланктона, макрозообентоса и наличию определенных видов рыб [3];

- *радиоактивное загрязнение*: использование почвенной фауны (червей, микроорганизмов) и растений для мониторинга последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС [4].

Разработкой методик биоиндикации и проведением исследований занимаются ведущие учреждения страны, такие как Национальная академия наук Беларуси (Институт экспериментальной ботаники им. Купревича и НПЦ по биоресурсам) и Белорусский государственный университет (кафедра генетики (группа генетического мониторинга и биоиндикации) и биологический факультет). Активное развитие получил проект «Зеленые школы», в рамках которой школьники по всей стране проводят биоиндикационные исследования (например, мониторинг качества воздуха по состоянию сосны обыкновенной или лишайникам) [5].

Методы биоиндикации официально включены в программы Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) РБ, что позволяет получать комплексную картину экологической ситуации в стране [6]. Методы биоиндикации интегрированы в несколько видов мониторинга системы:

– мониторинг поверхностных вод: оценка качества воды проводится на основе состояния планктонных сообществ, перифитона и бентоса. Используются индексы сапробности и биоценоотические показатели;

– мониторинг растительного мира: отслеживание изменений в состоянии дикорастущих растений и грибов под воздействием антропогенных факторов;

– мониторинг животного мира: изучение динамики популяций индикаторных видов животных (например, птиц, земноводных или беспозвоночных);

– комплексный мониторинг экосистем: проводится в основном на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), таких как национальный парк «Нарочанский» или Березинский биосферный заповедник, для оценки долгосрочных изменений в биоте.

Информационную поддержку этих исследований осуществляет Главный информационно-аналитический центр (ГИАЦ) НСМОС, который собирает данные от специализированных центров, в том числе, Центра мониторинга растительного мира при НАН Беларуси.

Литература:

1. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 г. - <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/NSUR-2035-1.pdf> (Дата обращения 04.04.2026)

2. Бусько, Е.Г. Современные методы фитоиндикации техногенного загрязнения природных экосистем тяжелыми металлами / Е. Г. Бусько, Е. В. Акшеская // Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века. – 2022. – С. 165-169.

3. Сыса, А.Г. Биоиндикация антропогенного эвтрофирования водоемов Могилевской области / А.Г. Сыса, А.В. Держанская. – Журнал белорусского гос. Ун-та экология. – 2019. – №3. – С. 18-30.

4. Институт радиобиологии НАН Беларуси - <https://www.irb.basnet.by/ru/ispolzovanie-pochvennoj-fauny-v-celyax-bioindikacii-radioaktivnogo-zagryazneniya/> (Дата обращения 04.04.2026)

5. Минский городской комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды - <https://www.minskpriroda.gov.by/upload/iblock/d5f/d5f3f63f8bf583892dead4464f437eeb.pdf/> (Дата обращения 04.04.2026)].

6. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь – <https://www.nsmos.by/monitoring.basnet.by> (Дата обращения 04.04.2026)

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ТОЛЕРАНТНОСТЬ И БРОДИЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЛАКТОЗОСБРАЖИВАЮЩИХ ДРОЖЖЕЙ

Соловей В.В., студент

Научные руководители: Водчиц Н.В., Сидоренко А.В.

Учреждение образования «Полесский государственный университет»,
Государственное научное учреждение «Институт микробиологии
Национальной академии наук Беларуси», Беларусь

В статье представлены результаты сравнительного анализа температурной толерантности и бродительной активности пяти штаммов лактозосбраживающих дрожжей родов *Kluyveromyces* и *Debaryomyces* при культивировании на среде на основе пермеата молочной сыворотки в аэрируемых и статических условиях.

Ключевые слова: лактозосбраживающие дрожжи, *Kluyveromyces marxianus*, *Kluyveromyces lactis*, пермеат молочной сыворотки, температурная толерантность, бродительная активность, этанол.

Молочная сыворотка является одним из наиболее многотоннажных побочных продуктов молочной промышленности. Ее основной углевод – лактоза – представляет значительный потенциал для биоконверсии в этанол. Перспективными продуцентами этанола из лактозосодержащего сырья являются дрожжи рода *Kluyveromyces*, обладающие β -галактозидазной активностью. Цель работы – изучить температурную толерантность и бродительную активность штаммов лактозосбраживающих дрожжей коллекции БИМ при культивировании на пермеате молочной сыворотки.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования служили пять штаммов дрожжей из Белорусской коллекции микроорганизмов (БИМ): *Kluyveromyces marxianus* БИМ Y-186, *K. marxianus* БИМ Y-193, *K. marxianus* БИМ Y-200, *K. lactis* БИМ Y-194 и *Debaryomyces* sp. БИМ Y-187.

Температурный диапазон роста определяли путем культивирования на сусло-агаре при температурах +6,5; +18; +24; +28; +30 и +37 °С в течение 48 ч. Бродительную активность оценивали при глубинном культивировании на среде, приготовленной на основе сухого сывороточного пермеата (14 % углеводов), в двух режимах: с аэрацией (180 об/мин) и без аэрации (статика). Содержание этанола и остаточных углеводов определяли по плотности культуральной жидкости, измеряемой спиртометром до и после сбраживания.

Результаты и обсуждение. Исследование температурной толерантности показало, что все пять штаммов являются мезофилами: отсутствие роста при +6,5 °С, слабый рост при +18 °С, умеренный при +24 °С, максимальная интенсивность роста в диапазоне 28–30 °С, значительное снижение при +37 °С. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Рост дрожжевых штаммов при различных температурах культивирования

Штамм	+6,5 °С	+18 °С	+24 °С	+28 °С	+30 °С	+37 °С
Y-186	–	+	++	++	+++	+
Y-193	–	+	+	++	++	+
Y-194	–	+	+	+++	+++	+
Y-200	–	+	+	+++	+++	+
Y-187	–	+	+	++	+++	+

Примечание: «–» – отсутствие роста; «+» – слабый рост; «++» – умеренный рост; «+++» – интенсивный рост.

Оценка бродильной активности в аэрируемых условиях показала, что штаммы *K. marxianus* БИМ Y-186, Y-193 и Y-200, а также *K. lactis* БИМ Y-194 обеспечивали снижение содержания углеводов с 14 до 9–11 % и накопление этанола до 7 %. Штамм *Debaryomyces* sp. БИМ Y-187 не проявлял бродильной активности. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Бродильная активность дрожжей на пермеате молочной сыворотки в аэрируемых условиях

Штамм	Углеводы, %	Этанол, %	pH	Запах
Контроль	14	0	5,52	молочный
<i>K. marxianus</i> Y-193	9	7	5,30	молочный
<i>K. marxianus</i> Y-200	10	7	4,83	спиртовой
<i>K. marxianus</i> Y-186	9	7	5,01	спиртовой
<i>K. lactis</i> Y-194	11	7	5,30	спиртовой
<i>Debaryomyces</i> Y-187	14	0	6,26	молочный

В статических условиях бродильная активность большинства штаммов снижалась. Снижение содержания углеводов (до 12 %) и накопление этанола (6 %) наблюдали только у *K. marxianus* Y-200 и *K. lactis* Y-194. У штаммов Y-193 и Y-186 фиксировалась лишь кислотообразующая активность либо отсутствие заметных изменений. Таким образом, аэрируемые условия являются предпочтительными для получения этанола из пермеата.

Заключение. Все исследуемые штаммы являются мезофилами с оптимумом роста 28–30 °С. Наибольшую бродильную активность в аэрируемых условиях на пермеате молочной сыворотки проявили *K. marxianus* БИМ Y-186, Y-193 и Y-200, а также *K. lactis* БИМ Y-194, обеспечив накопление 7 % этанола. Штамм *Debaryomyces* sp. Y-187 не сбраживал пермеат. Аэрируемое культивирование повышает выход этанола по сравнению со статическими условиями. Полученные данные обосновывают перспективность штаммов рода *Kluyveromyces* для биоконверсии молочносывороточного пермеата в этанол.

Литература:

1. Институт микробиологии НАН Беларуси [Электронный ресурс]. - <https://mbio.bas-net.by/bim/ru> (Дата обращения 17.07.2025)
2. Pozo-Valdivia, A. I. Evaluation of *Kluyveromyces* spp. for conversion of lactose in different types of whey from dairy processing waste into ethanol / A. I. Pozo-Valdivia [et al.] // *Frontiers in Microbiology*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1208284. - <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1208284> (Дата обращения 15.03.2026)
3. Amare, M. G. Evaluating crude whey for bioethanol production using non-*Saccharomyces* yeast, *Kluyveromyces marxianus* / M. G. Amare // *Discover Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 3. – Art. 25. - <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03996-1> (Дата обращения 15.03.2026)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ТЕРРИТОРИЯХ ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ

Старостенков Я.Н., студент

Научный руководитель Зеленуха Е.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье анализируются перспективы размещения гибридных ветро-солнечных энергетических установок на территориях загрязнённых радионуклидами в Республике Беларусь. Исследуются климатические условия региона с акцентом на уровень солнечной радиации и среднегодовую скорость ветра. Представлены расчёты потенциальной годовой выработки электроэнергии с использованием солнечных панелей эффективностью около 24% и вертикальных ветрогенераторов с предполагаемым КПД порядка 33%. Обоснована целесообразность внедрения данной технологии с точки зрения вовлечения в хозяйственный оборот не используемых для сельскохозяйственных целей земель, а также снижения выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: ветро-солнечная энергетическая установка, возобновляемые источники энергии, вертикальные ветрогенераторы, солнечные панели, территории загрязнённые радионуклидами.

Одним из основных направлений развития энергетического сектора Республики Беларусь является повышение энергетической самостоятельности – обеспеченности потребностей в энергии за счет собственных энергетических ресурсов. В условиях глобального перехода к устойчивым источникам энергии особое внимание уделяется проектам на базе возобновляемых ресурсов. Территории, подвергшиеся радиационному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС и утратившие возможность для сельскохозяйственного и туристического применения, рассматриваются как потенциально удобные площадки для внедрения инновационных способов выработки энергии. Такой подход мог бы минимизировать экологические риски и способствовать укреплению энергообеспечения страны.

Климатические условия региона характеризуются умеренным климатическим поясом с уровнем солнечной радиации в пределах от 3500 до 4200 МДж/м² в год [1]. Южные районы, где имеются значительные территории загрязнённые радионуклидами, демонстрируют показатели солнечной радиации, превышающие 4100 МДж/м², что создает благоприятные предпосылки для функционирования солнечных электростанций с эффективностью порядка 20 %. Среднегодовая скорость ветра на территории Беларуси варьируется от 3,5 до 5 м/с [2].

Несмотря на то, что подобные показатели считаются низкими для традиционных горизонтальных ветротурбин, вертикальные конструкции демонстрируют стабильную работу при скоростях начиная от 2,5 м/с [3]. Они обладают преимуществами, среди которых отсутствие необходимости в системах ориентации по ветру, компактные размеры, сниженный уровень шумового воздействия и возможность установки на ограниченных площадях. Внедрение гибридных установок предусматривает комбинирование солнечных панелей и вертикальных ветрогенераторов, что позволяет компенсировать суточные и сезонные колебания выработки энергии. В дневное время основную нагрузку покрывают солнечные панели, тогда как при ночном или облачном периоде – ветровые генераторы. Использование аккумуляторных систем на основе литий-железо-фосфатных элементов обеспечивает накопление и распределение электроэнергии, что способствует бесперебойности электроснабжения.

Конструктивно такие установки выполнены в виде модульных комплексов (рис. 1), размещаемых на прицепных платформах или в контейнерах, включающих многолопастные вертикальные турбины, складные солнечные панели, контроллер заряда, инвертор и систему управления.

Суммарная мощность ветро-солнечной энергетической установки рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{sum} = 2 * P_w + P_s$$

где P_w – мощность вертикального ветрогенератора, 1000 Вт;

P_s – мощность солнечной панели из монокристаллического кремния технологии TopCon с КПД, равным 24% [4], 780 Вт.

Суммарная годовая генерация гибридной установки составит около 2780 Вт. Это количество энергии способно обеспечить базовые потребности небольшого объекта – например, аграрного комплекса.

На данный момент в Республике Беларусь функционируют 102 солнечных электростанции общей мощностью около 269 МВт. В ближайшей перспективе, планируется строительство дополнительных солнечных электрических станций суммарной мощностью свыше 14 МВт. Средние мощности существующих станций превышают 2,6 МВт, что свидетельствует о нарастающем внедрении данной технологии.

Крупнейшая солнечная электростанция расположена в Гомельской области вблизи города Речица, занимает площадь 115 гектаров и обеспечивает мощность порядка 55 МВт. В этом регионе фиксируется свыше 1870 часов солнечного сияния в год, что является одним из наиболее высоких показателей по стране. Большинство солнечных электрических станций сосредоточено в

Брагинском районе Гомельской области, областях, наиболее пострадавших от последствий Чернобыльской аварии.

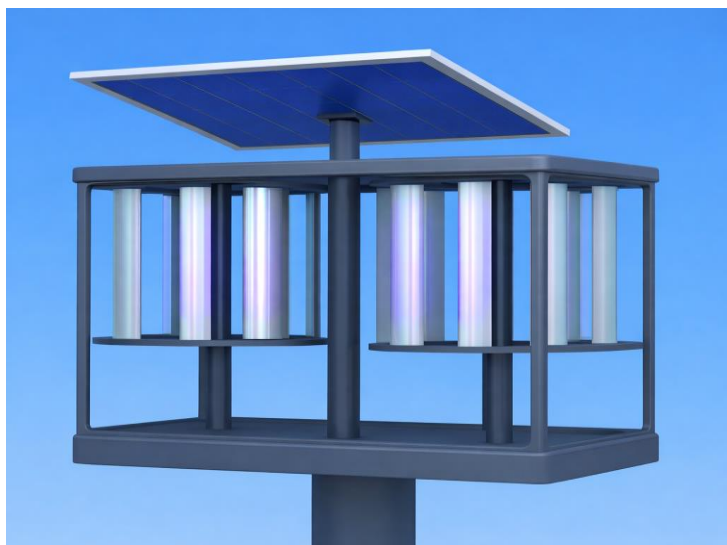


Рисунок 1 – Модель ветро-солнечной энергетической установки

Данная территория малопригодна для аграрного использования и рекреации, однако располагает значительным потенциалом для производства электроэнергии с помощью возобновляемых источников [3, 5]. Это создаёт предпосылки для рационального освоения загрязнённых земель через установку солнечных электростанций, обеспечивающих электричеством близлежащие населённые пункты.

Преимущества применения ветро-солнечных энергетических установок на территориях загрязнённых радионуклидами:

- вовлечение в хозяйственный оборот неиспользуемых для сельскохозяйственных целей земель;
- отсутствие выбросов парниковых газов соответствует принципам устойчивого развития;
- возможность для испытаний новых технологий (перовскитные панели, гибридные системы управления).

Таким образом, развитие ветро-солнечной энергетики в Беларуси с использованием территорий, пострадавших от техногенных катастроф, представляет собой перспективное направление.

Помимо повышения энергетической эффективности и безопасности, это позволяет решать задачу рационального использования земель, ограниченных в традиционном хозяйственном применении. В дополнение, такие проекты открывают возможности для тестирования и внедрения новых технологий, что способствует инновационному развитию энергетического сектора страны.

Литература:

1. Старостенков Я.Н. Влияние условий окружающей среды на работоспособность солнечной панели = Influence of environmental conditions on solar panel performance / Я.Н. Старостенков; науч. рук. Т.А. Петровская // Актуальные проблемы энергетики – 2024: материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И.Н. Прокопеня, Т.А. Петровская; редкол.: Е.Г. Пономаренко (пред.), Н.Б. Карницкий, В.А. Седнин [и др.]. – Минск: БНТУ, 2024. – С. 146–151.

2. Старостенков, Я. Н. Перспективы развития комбинированной ветро-солнечной энергетики на территории Республики Беларусь = Prospects for the development of combined wind and solar energy in the Republic of Belarus / Я. Н. Старостенков; науч. рук. Т. А. Петровская // Актуальные проблемы энергетики - 2025: материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская; редкол.: Е. Г. Пономаренко (пред.), Н. Б. Карницкий, В. А. Седнин [и др.]. – Минск: БНТУ, 2025. – С. 231-235.

3. Старостенков, Я. Н. Применение ветрогенераторов вертикального типа на территории Республики Беларусь = The use of perovskite in solar panel production technology / Я. Н. Старостенков; науч. рук. Т. А. Петровская // Актуальные проблемы энергетики - 2025: материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская; редкол.: Е. Г. Пономаренко (пред.), Н. Б. Карницкий, В. А. Седнин [и др.]. – Минск: БНТУ, 2025. – С. 244-247.

4. Петровская Т.А., Старостенков Н.Н. Повышение КПД солнечных панелей // Лучшие студенческие исследования: сборник статей XI Международного научно-исследовательского конкурса. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2024. – С. 31–35.

5. Петровская Т.А., Старостенков Я.Н. Общие тенденции развития солнечной энергетики // World Science: Problems and Innovations: сборник статей LXXX Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2024. – С. 67–69.

ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПЛАСТИКОМ

Степанчикова А. Д., студентка

Научный руководитель: Благовещенская Т.С.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье рассматриваются проблемы, связанные с загрязнением пластиком. Показаны причины загрязнения, последствия и некоторые возможные пути решения.

Ключевые слова: пластик, микропластик, загрязнение, переработка.

Пластик – группа синтетических материалов, получаемых из нефти, угля, природного газа или биологического сырья. Загрязнение пластиком – мировая проблема, влияющая на экосистемы, природные процессы и климат. Этот материал из-за своей доступности, долговечности и невысокой стоимости стал неотъемлемой частью жизни человека. Однако помимо создания удобств для людей, пластик наносит огромный ущерб окружающей среде.

Основная проблема кроется не в самом пластике, как в материале, а в том, как мы им пользуемся. Срок использования людьми пластиковых предметов достаточно непродолжительный. Каждый день мы применяем в жизни одноразовые изделия, такие как пакеты, бутылки, контейнеры для еды, ложки и вилки, после чего выбрасываем их, не задумываясь о каких-либо последствиях, хотя каждая такая вещь ещё надолго остается в окружающей среде.

Период разложения пластика зависит от вида полимера и колеблется от 20 до 500 лет. Например, время разложения пластиковой бутылки около 450 лет. Однако пластик не исчезает бесследно. При распаде крупных отходов образуются мелкие частицы размером менее 5 мм — микропластик. Он не участвует в естественном цикле обмена веществ, так как эти молекулы не могут разложиться до таких веществ, как газ и вода, из-за отсутствия в природе процессов, способных это сделать. В виду своих малых размеров и низкой плотности, частицы микропластика очень легкие, что позволяет им быстро распространяться по планете. Микропластик был обнаружен даже в Антарктиде. По исследованиям учёных Института природопользования НАН Беларуси частицы были выявлены во всех образцах грунта и пресной воды, взятых белорусскими полярниками в оазисах Вечерний и Холмы Талла земли Эндерби.

Микропластик содержит токсические вещества, такие как фталаты, бисфенол А, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и полихлорированные бифенилы (ПХБ), которые могут нарушить работу эндокринной системы и спровоцировать различные заболевания. Организм

человека не способен метаболизировать пластик, из-за чего он накапливается в органах и тканях.

Есть несколько способов утилизации пластика:

1. Механическая переработка (плавление, измельчение);
2. Термическая переработка (Пиролиз);
3. Энергетическая переработка (сжигание);
4. Захоронение.

Два последних являются наименее экологичными способами. Сжигание – самый небезопасный метод, при котором выделяются токсические вещества (диоксины, тяжелые металлы, фураны), способные провоцировать онкологические заболевания.

Переработка и вторичное использование могли бы улучшить ситуацию, но есть свои нюансы. Один из них – разнообразие видов пластика. Для того, чтобы не было изъёнов необходимо правильно и надёжно рассортировать отходы, так как примеси могут привести к браку. Однако это может вызывать трудности даже при наличии заводов для качественной сортировки, так как распространено использование композитных материалов, состоящих из смеси пластика с бумагой или металлом, а их разделение и очистка от примесей является сложным и затратным процессом. В итоге большинство пластиковых предметов, предназначенных для переработки, всё равно оказываются на свалке. Людям необходимо разделять мусор, так как это поможет в сортировке отходов, а это основной шаг в утилизации пластика.

Для решения проблем, связанных с загрязнением пластиком, в первую очередь, нужно менять привычки и отношение к окружающей среде. Например, отказаться от использования одноразовой посуды и пакетов в магазине. Конечно, целиком отказаться от пластика не получится, но главное перестать воспринимать его как одноразовый расходный материал.

Литература:

1. Белорусские ученые НАН обнаружили микропластик в почвах и воде озер Восточной Антарктиды: [сайт]. – URL: <https://minsknews.by/belorussskie-uchenye-nan-obnaruzhili-mikroplastik-v-pochvah-i-vode-ozer-vostochnoj-antarktidy/> – (дата обращения: 26.03.2026).

2. Матус, Е. В. Проблема загрязнения окружающей среды пластиковыми материалами / Е. В. Матус // Материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И. Н. Прокопья, Т. А. Петровская. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 496-497.

3. Чем опасен пластик для человека и окружающей среды: [сайт]. – URL: <https://www.snta.ru/press-center/chem-opasen-plastik-dlya-cheloveka-i-okruzhayushchey-sredy/> – (дата обращения 27.02.2026).

ОТХОДЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, КАК ЦЕННЫЕ ВТОРИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

Степанчикова А.Д., студент

Научный руководитель Горбунова В.А.

Белорусский национальный технический университет

В данной статье рассматриваются основные виды отходов и хвостов черной металлургии, а также направления и технологии их утилизации и переработки, например в производстве строительных материалов, в дорожном строительстве, сельском хозяйстве.

Ключевые слова: отходы, металлургические шлаки, пыли, окалина, шлакопортландцемент, щебень, шлакоудобрения.

Виды отходов металлургической промышленности определяются типом исходной металлосодержащей руды, производственными циклами и основными технологическими операциями, такими как очистка и обогащение руды, дробление, сепарация, спекание шихты, непосредственная выплавка и разлив чугуна, стали, изготовление стального проката и др. Основные отходы: порода обогащения, доменные, конверторные, сталеплавильные шлаки, шламы и пыли дробильного производства, шихтоподачи, пыль от очистки технологических газов, шлаки и отходы огнеупоров, прокатная окалина.

Количество отходов на 1 т выплаваемого металла колеблется и, как правило, определяется современностью и технологичностью металлургического производства. Так выход доменного шлака может варьироваться от 300-400 кг/т чугуна, доменного шлама – до 40 кг/т, конвертерного шлака-150-180 кг/т стали, пылевые выносы в среднем составляют 25-40 кг/т выплаваемого металла, прокатная окалина -45-65 кг/т металлопроката. Даже самые современные металлургические технологии не смогут предотвратить образование отходов и хвостов, однако имеются значительные резервы для снижения накопленных и образующихся отходов [1].

Металлургические шлаки имеют сложный химический и гранулометрический состав и представляют собой многокомпонентные системы, содержащие оксиды: в основном CaO , Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , FeO , а также небольшие количества MnO , V_2O_5 , TiO_2 , P_2O_5 и др. Повышенное содержание оксида железа 10-20% в конвертерном шлаке. Доменные и сталеплавильные шлаки имеют алюмосиликатный состав. В черной металлургии пыли и шламы газоочистки (агломерационные, доменные, конвертерные, сталеплавильные) – это мелкодисперсные отходы с разным содержанием железа: бедные имеют в составе менее 40% мас. железа, богатые – 50-70%.

Химический состав шламов и пыли зависит от вида исходной руды, технологии выплавки металла и других факторов. Прокатная окалина содержит 65-75% мас. железа (в основном Fe_3O_4), дисперсностью менее 0,2 мм. Часто прокатная окалина содержит до 3% смазочных масел и имеет влажность 20-25%.

Направления использования металлургических шлаков разнообразные: строительные материалы (цемент, бетон, щебень, газобетон, шлаковата, шлакопемза), в дорожном строительстве (прочные асфальтобетонные покрытия, щебень-утяжелитель для железнодорожного полотна), в сельском хозяйстве (как известково-фосфатная добавка в почвы) и др.

Доменные шлаки используются в производстве шлакопортландцемента (ШПЦ), шлакового щебня, шлакопемзы как заменителя керамзита. Добавка доменного шлака в цемент позволяет получить вяжущее, обладающее ценными свойствами. Доменный шлак играет роль активной добавки в портландцементе, он способствует образованию дополнительного количества гидросиликатов кальция, что способствует упрочнению и уплотнению цементной матрицы. Бетонные конструкции на основе ШПЦ обладают коррозионной устойчивостью в кислых средах, в частности содержащих сульфаты, имеют повышенную водостойкость и морозостойкость, а также жаростойкостью (600-800 С). Для затворения ШПЦ требуется меньше воды, его стоимость на 20% ниже стоимости портландцемента, он может применяться в строительстве как наземных, так и подземных конструкций.

Сталеплавильные шлаки содержат много железа и, прежде всего, используются для вторичной переплавки в доменных печах [2]. Наличие свободного не связанного оксида кальция в составе препятствует широкому использованию сталеплавильных шлаков в производстве стройматериалов. Избыток основных оксидов (CaO , MgO) делает их не пригодными для получения бетона из-за риска образования этрингита, что в последствии может привести к разрушению конструкции.

Щебень из сталеплавильного шлама широко используется в дорожном строительстве, может быть заменителем природного гранитного щебня. При изготовлении такого щебня для повышения прочности на сжатие добавляют к сталеплавильному шлаку до 25% доменного шлака. Также такой смешанный конвертерно-доменный щебень является эффективным заполнителем для бетонов вместо дорогостоящих природных наполнителей типа базальта и др.

Так как в сталеплавильных шламах содержится оксид фосфора (V), а содержание оксида кальция преобладает над оксидом кремния, то они используются в производстве шлако-фосфатных и шлако-известковых удобрений для сельского хозяйства. Измельченные фосфатные шлаки, образующиеся при переделе фосфористых чугунов в сталь, с эффективностью 80% могут заменить суперфосфатные удобрения.

Коэффициент использования железосодержащих пыли, мелкодисперсных шламов и окалины в металлическом переделе на данном этапе развития металлургических технологий в среднем по миру составляет около 70% (в Японии -100%). Металлические пыль и шламы содержат FeO , Fe_2O_3 , а также некоторые цветные металлы (в основном цинк). Доменные и сталеплавильные шламы, пыли используются для получения железа и цветных металлов (цинка).

В настоящее время перерабатывается не более 40-45% металлургической пыли. Основной способ утилизации таких шламов, пыли и окалины – это добавка их к агломерационной шихте. Мелкодисперсные шламы и окалина должны быть сыпучими, поэтому предварительно из них удаляют воду.

Пыль, шламы, окалину предварительно окомковывают, получают гранулы, окатыши или брикеты с повышенным содержанием железа (до 50-60%), а затем вводят их в агломерационную шихту.

Современные технологии переработки мелкодисперсных металлургических отходов направлены на получение продукции с высокой добавленной стоимостью- железосодержащие окатыши, брикеты, концентраты цветных металлов.

Устойчивый экономический рост в металлургической отрасли обеспечивается не только совершенствованием технологий и оборудования, но и системным использованием вторичного железосодержащего сырья в металлургическом переделе, а также разработкой перерабатывающих производств, ориентированных на изготовление из металлургических отходов ценных продуктов для других отраслей.

Литература

1.Леонтьев, Л.И. Техногенные отходы черной и цветной металлургии и проблемы окружающей среды /Л.И.Леонтьев, В.Г. Дюбалов // Экология и промышленность. -2011.-№4-С.32-35.

2.Данилов, Е.В. Современная технология утилизации сталеплавильных шлаков/Е.В. Данилов// Металлургия. -2003.-№6-С.38-39.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Стёпочкин Е.А., студент

Научный руководитель Морзак Г. И.

Белорусский национальный технический университет Беларусь

В статье приведены данные интеграции нейросетевых алгоритмов с применением цифровых двойников в георазведке на различных этапах освоения месторождений. Такой подход применяется при исследовании технологического процесса добычи полезных ископаемых для цифровой модернизации отрасли. Показаны методы и алгоритмы искусственного интеллекта, направленные на оптимизацию ресурсосбережения и минимизацию производственных потерь, и упрощению логистики. Применение технологий ИИ позволит обеспечить единую цепочку от георазведки к логистике и экологии, минимизируя риски и потери.

Ключевые слова: промышленная революция, горная промышленность, технологии искусственного интеллекта, технология цифровых двойников.

Промышленная революция предполагает внедрение искусственного интеллекта, роботизацию, нейротехнологий в технологические процессы. Ключевым этапом развития четвертой промышленной революции («Индустрия 4.0») выступает интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения в технологические процессы с целью роста операционной эффективности предприятий. Основные принципы четвертой промышленной революции представлены на рисунке 1. Применение интеллектуальных систем позволит перейти от реактивного (реагирование на проблемы, сбои или изменения после их возникновения, а не на их предотвращение) управления к предиктивному моделированию (использование накопленных данных для прогнозирования будущих результатов), что критически важно для минимизации потерь при добыче и снижения техногенной нагрузки на окружающую среду [1].

Наиболее используемой интеллектуальной технологией в геологоразведке является технология цифровых двойников (Digital Twins). Цифровой двойник — это динамическая программная модель физического объекта, которая в режиме реального времени обменивается данными со своим реальным прототипом [2]. В добыче ресурсов эта технология применяется в трех ключевых аспектах: цифровой двойник месторождения, двойники обогатительных фабрик и перерабатывающих комплексов, сценарное моделирование «Что, если? В отличие от статичных геологических карт, цифровой двойник постоянно обновляется на основе данных, поступающих в процессе бурения и датчиков на технике. ИИ анализирует данные с коронок

буровых установок (сопротивление породы, скорость проходки) и мгновенно корректирует границы рудного тела в виртуальной модели. Это позволяет избежать «забалансовой» добычи, когда ценная руда остается в земле из-за неверных расчетов, или, наоборот, когда в переработку попадает слишком много пустой породы. Инженеры могут прогнать симуляцию добычи на 5 лет вперед за несколько минут, выбирая наиболее рациональный порядок отработки блоков. На основе этой модели данные передаются в последующие этапы, такие как БВР (бурение скважин + взрыв) и логистика, обеспечивая непрерывную оптимизацию [2].



Рисунок 1-Основные принципы четвертой промышленной революции

Самые большие потери ресурсов происходят на этапе переработки (извлечения полезного компонента). Цифровой двойник фабрики позволяет «видеть» процессы, скрытые внутри огромных мельниц и флотационных машин. ИИ на базе двойника подбирает идеальное соотношение реагентов, воды и скорости вращения оборудования в зависимости от химического состава поступающей руды. Повышение коэффициента извлечения даже на 0,5–1% на предприятиях приносит миллиардную прибыль и экономит тысячи тонн сырья, которое раньше уходило в «хвосты» (отходы).

Главное преимущество цифрового двойника — возможность проводить рискованные эксперименты в виртуальной среде без остановки реального производства. Применение цифровых двойников напрямую влияет на рациональное природопользование. К основным экологическим и экономическим эффектам применения относятся:

- снижение энергопотребления (оптимизация работы насосов и вентиляционных систем шахт снижает потребление электричества на 15–20%);
- повышение безопасности (двойник предсказывает обрушение бортов карьера или кровли шахты за несколько часов до события).

Таким образом, георазведка с цифровыми двойниками закладывает основу для рационального использования ресурсов на всех этапах [3].

Для оптимизации буровзрывных работ (БВР) широко применяются MWD-технологии, компьютерное зрение для оценки качества дробления и цифровое моделирование взрывной волны. Традиционный подход к БВР часто опирается на усредненные показатели крепости породы. ИИ позволяет перейти к персонализированному взрыву для каждого конкретного участка блока. Процесс оптимизации начинается еще до закладки взрывчатки. Современные буровые станки оснащаются системой измерения в процессе бурения MWD (Measurement While Drilling). Датчики фиксируют скорость проходки, давление на забой, крутящий момент и вибрацию (рисунок 2). Затем Нейросеть в реальном времени анализирует эти данные, создавая уточненную карту прочности породы. Если бур встречает «мягкий» участок или пустоту, система мгновенно корректирует бурение. В итоге исключается бурение лишних скважин и обеспечивается идеальная геометрия сетки, что является фундаментом для качественного взрыва.



Рисунок 2 – Современная интеллектуальная буровая установка

На помощь оценки качества взрыва приходит компьютерное зрение. Камеры, установленные на экскаваторах и дробилках, делают тысячи снимков

взорванной горной массы. Алгоритмы сегментации ИИ определяют размер каждого куска породы (гранулометрический состав). Если система видит слишком много крупных фракций, она автоматически передает сигнал в отдел БВР. ИИ корректирует параметры для следующего взрыва. Полученные данные анализируются, и информация о размере кусков позволяет мельницам на обогатительной фабрике подстроить режим работы, экономя до 10% электроэнергии. ИИ позволяет моделировать разлет породы и сейсмическое воздействие до нажатия кнопки «Пуск». Используя данные о трещиноватости массива, ИИ предсказывает вектор движения породы. Это позволяет формировать «развал» (кучу взорванной руды) так, чтобы экскаватору было максимально удобно и быстро её грузить. Вблизи населенных пунктов или охраняемых объектов ИИ рассчитывает интервалы замедления между взрывами скважин, чтобы звуковая волна и вибрация гасили друг друга.

К основным экологическим и экономическим эффектам применения технологий ИИ при БВР относятся [4]:

- математически эффективность БВР можно выразить через минимизацию удельного расхода энергии на дробление.

- ИИ находит ту «золотую середину», когда чуть большие затраты на точный взрыв приводят к колоссальной экономии на самых энергозатратных этапах — дроблении и измельчении.

Транспортировка горной массы — самая затратная статья расходов в открытой добыче (до 40–60% от себестоимости). Использование ИИ для управления парком техники позволяет превратить хаотичное движение самосвалов в идеально настроенный «конвейер», опираясь на модели из цифрового двойника георазведки. Это создает логический переход от планирования к исполнению [5]. Для организации интеллектуальной логистики применяют беспилотные карьерные самосвалы (AHS — Autonomous Haulage Systems), роевой интеллект в диспетчеризации, удаленное управление и безопасность.

В отличие от обычного автомобиля, автономный самосвал весом в сотни тонн управляется нейросетью, которая анализирует данные с лидаров, радаров и высокоточного GPS (RTK). ИИ рассчитывает оптимальный скоростной режим так, чтобы избегать лишних торможений и ускорений. Это снижает расход топлива на 12–15%. Крупногабаритные шины — один из самых дорогих расходных материалов (стоимость одной шины может достигать нескольких миллионов рублей). ИИ исключает резкие повороты и наезды на острые камни, что продлевает жизнь колеса на 20–25%. Роботы не нуждаются в пересменках, обедах и не теряют концентрацию ночью. Это повышает общую производительность парка на 15–20%.

Ключевая проблема любого карьера — очереди у экскаваторов. Если один экскаватор сломался, традиционная система часто не успевает

оперативно перенаправить поток машин. В свою же очередь ИИ-диспетчер в реальном времени решает задачу коммивояжера для парка техники. Система видит, где образовался затор, и перераспределяет самосвалы между точками погрузки и разгрузки. Благодаря алгоритмам, ИИ минимизируют время работы двигателя «впустую», что напрямую снижает выбросы парниковых газов в атмосферу. Не вся техника может быть полностью автономной. Для сложных участков используются системы дистанционного управления. Оператор находится в офисе за сотни километров от разреза, управляя бульдозером через VR-шлем и джойстики. Это исключает риск травматизма и профессиональных заболеваний (вибрация, пыль). Даже при ручном управлении ИИ страхует человека, блокируя опасные маневры или предупреждая о сближении с другими объектами с помощью системы CAS (Collision Avoidance System). Предиктивные модели из двойника усиливают безопасность.

Интеграция ИИ в природоохранную деятельность позволяет перейти от ликвидации последствий экологических инцидентов к их предотвращению. Рациональное природопользование рассматривается как минимизация вмешательства в экосистему при сохранении темпов добычи, с использованием данных из цифрового двойника георазведки для глобального мониторинга. ИИ создает единую логическую цепочку от моделирования месторождения к оптимизации БВР, логистике и экологии. Это не только минимизирует потери и риски, но и способствует устойчивому развитию

Литература:

1. Артемов И. В., Носырев М. Б. Технология цифровых двойников и ее применение в горнодобывающей промышленности // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №5. С. 38–43.
2. Гурбанмырадов М. Цифровой двойник горного предприятия //Международный научный журнал «Символ науки», 2025. -№1–1–2.- С.49-51.
3. Бурмистров К.В., Багдасарян М. А., Трегубов А.А., Симонова Д. М. Применение цифровых двойников в горнодобывающей отрасли// Недропользование и транспортные системы. 2025. Т. 15. №1. С.38–48.
4. Шибанов Д. А., Иванов С. Л., Иванов А. А. Цифровые двойники в горном машиностроении, как инструмент повышения эффективности эксплуатации горных машин [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <https://www.litres.ru/book/a-ivanov-33213274/cifrovye-dvoyniki-v-gornom-mashinostroenii-kak-instrumen-71261554/>- Дата доступа: 20.03.2026.
5. Клебанов А.Ф., Еремкин И.В., Габусу П.А. Цифровые двойники процессов управления высокоавтоматизированными горнотранспортными комплексами. Горная промышленность, 2025, №4, с. 61–70.

СОХРАНЯЯ ПЛАНЕТУ: ПУТИ К ЭФФЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Столяр М.А., студент

Научный руководитель Сидорская Н.В.

**Белорусский государственный университет иностранных языков,
Беларусь**

В статье рассматриваются ключевые аспекты защиты окружающей среды, включая загрязнение атмосферы, деградацию земель, утрату биоразнообразия, глобальное изменение климата и проблему отходов. Подчеркивается, что успешное решение этих сложных задач требует совместных усилий науки, власти и бизнеса. Акцентируется внимание на важности ответственного отношения каждого человека к окружающей среде, отмечая, что только путем интеграции инновационных технологий и высокой личной культуры мы сможем сохранить природный потенциал нашей планеты для будущих поколений.

Ключевые слова: окружающая среда, деградация земель, биоразнообразие, отходы, устойчивое развитие, циркулярная экономика.

В XXI веке забота о планете перестала быть просто темой для дискуссий, превратившись в ключевой фактор развития цивилизации. Рост городов, истощение ресурсов и климатические сдвиги бросают вызов самому существованию биосферы. Сегодня мы рассматриваем охрану природы не как отдельную задачу, а как фундамент, без которого невозможно стабильное будущее общества.

Рассмотрим некоторые проблемы загрязнения окружающей природной среды.

Загрязнение атмосферы

Одной из самых острых экологических проблем является загрязнение атмосферы. Выбросы промышленности и транспорта не просто меняют химический состав воздуха, они напрямую подрывают здоровье людей, провоцируя опасные заболевания. Не менее тревожна ситуация с почвами. Интенсивное сельское хозяйство и вырубка лесов ведут к деградации земель. Когда исчезает биоразнообразие, природные системы теряют способность к саморегуляции. Утрата даже одного звена в этой цепи делает окружающую среду беззащитной перед внешними воздействиями.

Деградация земель и утрата биоразнообразия

Интенсивное сельское хозяйство, вырубка лесов, эрозия почв и химическое загрязнение приводят к снижению плодородия земель и разрушению природных ландшафтов.

Утрата биоразнообразия — ещё один критический аспект экологического кризиса. Исчезновение видов нарушает экосистемные связи, снижает способность природных систем к саморегуляции и делает их более уязвимыми к внешним воздействиям. Биоразнообразие является основой устойчивости биосферы, поэтому его сохранение — ключевой элемент экологической политики.

Глобальное изменение климата

Изменение климата — пожалуй, самая масштабная угроза современности. Рост температур и таяние ледников требуют от государств не просто констатации фактов, а реальных действий по внедрению низкоуглеродных технологий. Параллельно с этим мир сталкивается с «пластиковым кризисом». Горы мусора, которые не разлагаются веками, отравляют океаны и попадают в пищевые цепи. Решение здесь кроется в переходе к циркулярной экономике, где отходы становятся ресурсом для нового производства, а не бременем для природы.

Проблема отходов

Рост объёмов бытовых и промышленных отходов создаёт серьёзную нагрузку на экосистемы. Пластиковые отходы, не поддающиеся биологическому разложению, накапливаются в океанах, почвах и пищевых цепях. Нерациональная система обращения с отходами приводит к загрязнению водоёмов, почв и атмосферы. Решение этой проблемы требует внедрения принципов циркулярной экономики, ориентированной на переработку, повторное использование и минимизацию отходов.

Около 91% всего когда-либо произведенного пластика не перерабатывается, что делает его одной из самых серьёзных экологических проблем нашего времени. Учитывая, что пластик разлагается 400 лет, пройдут многие поколения, прежде чем он перестанет существовать. Невозможно предсказать, какие необратимые последствия загрязнение пластиком будет иметь для окружающей среды в долгосрочной перспективе.

В 2024 году в стране образовалось 4,3 млн. т твердых коммунальных отходов, из которых использовались 39,8%. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды совместно с другими ведомствами подготовило стратегию по обращению с отходами производства и потребления до 2040 года, цель которой — использовать не менее 90% твердых коммунальных отходов.

Решение проблем, связанных с загрязнением окружающей среды, базируется на законодательной базе (международной и национальной), инновационных технологиях и личном вкладе каждого человека.

Законодательная база

На национальном уровне защита окружающей среды обеспечивается через систему законов, нормативов и государственных программ.

Экологическое законодательство регулирует выбросы загрязняющих веществ, охрану водных и лесных ресурсов, обращение с отходами, использование земель и сохранение биоразнообразия. Эффективность природоохранной политики зависит от качества нормативной базы, механизмов контроля и уровня ответственности предприятий.

Роль государств и технологий

Природа не знает государственных границ, поэтому международное сотрудничество (через такие документы, как Парижское соглашение) жизненно необходимо. Однако политика эффективна только тогда, когда она подкреплена законами внутри каждой страны и внедрением «зелёных» инноваций.

Очистные системы нового поколения и энергоэффективное оборудование — это уже не роскошь, а обязательное условие работы современного бизнеса. Никакие законы не заменят осознанного отношения каждого человека. Формирование новой культуры начинается со школы и продолжается через всю жизнь. Важно понимать: глобальные изменения складываются из малых дел.

Личный вклад каждого может включать:

- рациональное потребление ресурсов и отказ от одноразового пластика;
- сортировку отходов для их дальнейшей переработки;
- экономию воды и электроэнергии в быту;
- поддержку ответственных компаний, которые заботятся о своём «углеродном следе».

Защита окружающей среды — это сложнейшая задача, требующая союза науки, власти и бизнеса. Но в конечном итоге её успех зависит от того, насколько ответственно мы относимся к своему дому сегодня. Только сочетая инновационные технологии с высокой личной культурой, мы сможем сохранить природный потенциал планеты для будущих поколений.

Литература:

1. Ветошкин, А. Г. Технология защиты окружающей среды : (теоретические основы) : учебное пособие / А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева ; под редакцией А. Г. Ветошкина. – Москва : ИНФРА-М, 2022. – 360, [1] с. : ил.
2. Егоренков, Л. И. Охрана окружающей среды : учебное пособие / Л. И. Егоренков. – Москва : Форум : ИНФРА-М, 2021. – 247 с. : ил., карт., табл.
3. Статистика окружающей среды // Национальный статистический комитет Республики Беларусь // www.belstat.gov.by [Электронный ресурс]. – 2026. – Режим доступа: <https://dataportal.belstat.gov.by/osids/rubric-info/10618>. – Дата доступа: 11.03.2026.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА САХАРА

Сулешко З.А., Чайковский Г.М. учащиеся УО «Национальный детский технопарк»

**Научные руководители Благовещенская Т.С., Цыганова А.А.
Белорусский национальный технический университет Беларусь**

На сегодняшний день сахар является незаменимым компонентом как в обычной жизни людей, так и в пищевой и других отраслях промышленности. В Республике Беларусь сахар производят из сахарной свеклы. В ходе переработки сахарной свеклы основным отходом является свекловичный жом, который находит применение в качестве кормов для животных, однако за счет своего богатого содержания полезных веществ может использоваться и в других направлениях.

Ключевые слова: свекловичный жом, сахарное производство, агропромышленные отходы, удобрения, эффективность, практичность.

Сахар используется повсеместно, ведь помимо того, что углеводы являются незаменимыми в нашем организме, сахар вызывает привыкание, соответственно люди применяют его в кулинарии. Сахар изготавливают из сахарного тростника и сахарной свеклы, однако сахарный тростник на территории Республики Беларусь не возделывается, поэтому сахарные производства используют в качестве сырья сахарную свеклу.

Промышленным посевом свеклы занимаются более 300 сельскохозяйственных организаций в 59 районах всех областей Республики Беларусь и это позволяет получить урожай сахарной свеклы в объемах, необходимых для производства сахара для обеспечения в полном объеме потребностей внутреннего рынка Республики Беларусь и создания экспортного потенциала [1]. При производстве сахара-песка из сахарной свеклы основную долю отходов составляет жом, представляющий собой, как отмечено в ряде работ, ценный вторичный материальный ресурс. Технологическая схема переработки сахарной свеклы приведена на рисунке 1.

Свекловичный жом - ценный корм для скота. Он содержит витамины, полезные микроэлементы, обладает хорошей способностью насыщения. Свекловичный жом содержит в себе около 40% клетчатки, что делает его ценным кормовым компонентом. Клетчатка улучшает пищеварение у животных, кроме того, свекловичный жом по совокупности питательности сравним с пшеничными отрубями. Из сухих веществ жома рогатый скот усваивает не только белки, сахар и клетчатку, но и пектиновые вещества и гемицеллюлозу. Одним из нюансов является то, что от поедания свекловичного жома в больших количествах у скота быстро закисает молоко,

появляются поносы, а также масло из такого молока получается белым и твердым, а сыры плохо вызревают. Также жом нужно транспортировать по разным хозяйствам, что также требует затрат на перевозку.

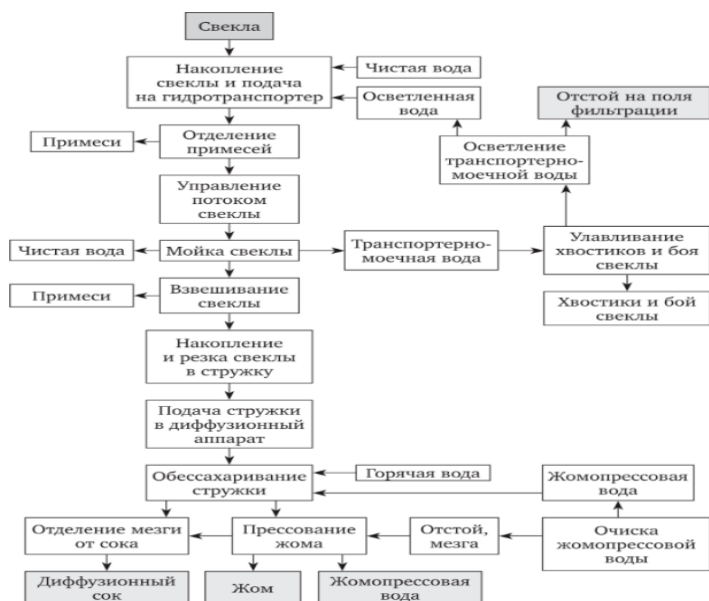


Рисунок 1 – Технологическая схема переработки сахарной свеклы.

Свекловичный жом находит свое применение и при получении биогаза путем метанового брожения. Метановое брожение происходит при разложении продуктов, содержащих углеводы. Это способ анаэробного дыхания определенных групп бактерий, которые из углеводов образуют метан -около 65%, углекислый газ - около 30%, и незначительное количество других газов: сероводород ~1%, азот, кислород, водород, закись углерода [2]. Однако следует отметить, что данный способ является способом получения возобновляемой энергии, но он сопровождается большими затратами, в том числе большими затратами на специальные установки. Помимо этого, недостатком данного метода являются недостаточная изученность этого процесса вследствие его многостадийности и затратности.

Свекловичный жом используется в производстве биоэтанола. Биоэтанол – это вид биотоплива, который может применяться как добавка к бензину для уменьшения выбросов углекислого газа. Процесс производства биоэтанола из жома является экономически целесообразным. В странах с высокоразвитыми сельским хозяйством и сахарной промышленностью

использование жома в производстве биоэтанола может не только сократить зависимость от ископаемого топлива, но и снизить количество отходов.

Особенно перспективным направлением использования жома свекловичного является его применение в сельском хозяйстве, так как жом свекловичный имеет в своем составе много минеральных веществ.

Изучалось влияние жома на продуктивность сои и ячменя. В этом опыте изучали влияние двух доз жома – 25 и 50 т/га, внесенных в разные сроки: осенью или весной. Выбор доз жома проводили экспериментальным путем в вегетационных опытах, где было установлено, что дозы до 20 т/га не оказывают никакого влияния на урожайность культур, а очень высокие дозы – 75 и 100 т/га не обеспечивали адекватной прибавки урожая.

Изучение режима влажности под соей и ячменем показало, что ее максимальное увеличение в сравнении с контролем наблюдалось при внесении жома осенью. На варианте применения дозы 25 т/га влажность повысилась в сравнении с контролем на 5,6%, а на варианте применения 50 т/га – на 11,7%. Внесение жома в тех же дозах весной повысило содержание влаги соответственно на 4,9–9,8%. Эта закономерность сохраняется в течение всего периода вегетации.

Исследования направленные на изучение влияния жома и дефеката при возделывании гречихи показали положительное влияние внесения жома как самостоятельно, так и совместно с дефекатом на баланс влаги как в пахотном, так и подпахотном горизонтах. Так, в слое 0-29 см в среднем за три года исследований весной запас продуктивной влаги на контроле составил 17,2 мм, при внесении жома и дефеката соответственно 19,8 и 18,4, при совместном внесении - 19,3 мм [3].

Таким образом можно сделать вывод о том ,что жом свекловичный – это универсальный возобновляемый ресурс, эффективное использование которого повышает рентабельность сельскохозяйственного производства и снижает нагрузку на компоненты окружающей среды.

Литература:

1. Сахарная отрасль – Режим доступа: <https://bgp.by/ru/shugar-ru/> (Дата обращения 14.03.2026)
2. Б. А. Кулишов, Л. А. Зимагулова, Ле Ань Туан, А. В. Канарский Технические материалы на основе свекловичного жома – Вестник технологического университета – 2015. - №23 – С. 72-78.
3. О. М. Кольцова, Н. В. Стекольников, Ю. И. Житин Отходы свеклосахарного производства и их использование в сельском хозяйстве – Вестник Воронежского государственного аграрного университета – 2018. - №4 – С. 52-58.

СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА ОАО «МИНСКИЙ ТРАКТОРНЫЙ ЗАВОД» НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

Супрон П.А., студент

Научный руководитель Скуратович И.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье описано литейное производство ОАО «Минский тракторный завод», оказывающее основное воздействие на атмосферный воздух среди цехов завода. Предлагается внедрение интегрированной системы термического дожигания неорганизованных газовыделений плавильного участка с последующей механической очисткой инерционно-импульсными рукавными фильтрами.

Ключевые слова: машиностроение, литейный цех, охрана окружающей среды, атмосферный воздух, дожигательная камера, рукавный фильтр.

Машиностроение – ключевая отрасль промышленности, охватывающая проектирование, производство и обслуживание машин и оборудования. ОАО «Минский тракторный завод» (ОАО «МТЗ») – одно из крупнейших предприятий этой отрасли в Беларуси, выпускающее ежегодно свыше 30 тысяч колесных тракторов под брендом BELARUS для сельского, лесного и коммунального хозяйства.

На предприятии поддерживается полный цикл производства. Процесс изготовления тракторов проходит стадии проектирования, подготовки деталей, сборки и контроля качества на современном оборудовании.

Состояние и организация каждого производства характеризуется большим разнообразием применяемого оборудования и технологических процессов, а, следовательно, видами и количеством образующихся в процессе производства загрязняющих веществ.

Далее рассмотрены особенности литейного цеха №1 – ЛЦ-1 ОАО «МТЗ» как ключевого звена, определяющего экологические аспекты и оптимизацию процессов.

Литейные цеха ОАО «Минский тракторный завод» являются основным источником загрязнения атмосферного воздуха прежде всего из-за из-за комбинации высокотемпературных, механических и химических процессов, протекающих в них.

Литейный цех №1 предназначен для выплавки отливок из чугуна и производства чугунной дроби. Структура цеха разделена на плавильный участок, стержневой участок, участок формовки и выбивки, а также участок термообработки и обрубки литья, каждый этап сопровождается образованием своих выбросов веществ, загрязняющих атмосферный воздух.

Плавильный участок принимает шихтовые материалы – смесь лома чугуна, кокса и добавок – железнодорожным транспортом на склад, где их рубят копром, сортируют в суточные бункеры, взвешивают на тележке и поднимают скиповым подъемником в вагранки.

Четыре вагранки с поливным охлаждением работают поочередно, и в процессе плавки кокс горит не полностью, выделяя дым с сажей, газами и мелкой пылью металлов. Расплавленный чугун сливают в раздаточный ковш, а остатки шлака отправляют на установку Л-1248, где льют металл на водяную струю для дробы.

В ЛЦ-1 планируется модернизация плавильного участка – установка новых индукционных печей, но процесс их закупки и внедрения очень дорогостоящий и требует полной остановки участка, поэтому на протяжении многих лет вагранки остаются главными источниками загрязнения атмосферного воздуха.

Оптимальным решением выступает внедрение интегрированной системы термического дожигания неорганизованных газовыделений плавильного участка с последующей механической очисткой инерционно-импульсными рукавными фильтрами, полностью сохраняющей существующий газоотвод и футеровку печей. Эта технология подключается модульно на выходе дымоходов каждой вагранки фланцевыми соединениями, начиная с циклонного предочистителя для улавливания крупных частиц, за которым следует дожигательная камера, рекуперативный теплообменник, рукавный фильтр и удлиненная дымовая труба.

Дожигательное устройство работает по принципу каталитически ускоренной экзотермической окислительной реакции остаточных горючих компонентов дымовых газов, поступающих из дымохода при повышенных температурах и значительных объемах, где форсунки вторичного воздуха обеспечивают контролируемый коэффициент избытка кислорода для полного преобразования оксида углерода в диоксид, а углеводородов в воду и углекислый газ. Каталитическая насадка на основе благородных металлов на кордиеритовой матрице снижает температуру активации реакции, достигая высокой эффективности преобразования вредных газов, в то время как выделяемое тепло рекупируется пластинчатым теплообменником для подогрева дутья вагранки, оптимизируя тепловой баланс и снижая расход топлива. Охлажденные газы затем направляются в рукавный фильтр, где цилиндрические рукава из термостойкой арамидной ткани или фторполимерной мембраны захватывают мельчайшие частицы методом диффузии и инерционного осаждения, с периодической импульсной регенерацией сжатым воздухом для сброса пыли в бункер рециркуляции обратно в шихту или гранулятор.

Внедрение системы приводит к снижению выбросов от плавильного участка, с преобразованием вредных газов в нейтральные соединения и улавливанием пыли (таблица 1).

Таблица 1 – Снижение выбросов основных загрязняющих веществ

Загрязняющее вещество	Механизм снижения предложенной системой (дожиг + рукавный фильтр на дымоходах вагранок)	Ожидаемое снижение выбросов
Оксид углерода (CO)	Газы поступают в камеру дожигателя, где поток O ₂ в избытке инициирует реакцию $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$ при 800–1000 °С, реакция ускоряется Pt/Pd-катализатором, активация снижается до 600 °С, 92–97% CO преобразуется в CO ₂ и H ₂ O; рекуперация тепла снижает вторичное образование CO; рукавный фильтр стабилизирует поток.	в 40–100 раз (полное окисление в дожигателе)
Диоксид азота (NO ₂)	Дожигатель нагревает газы до 800–1000 °С с избытком воздуха, переводя NO в N ₂ /N ₂ O; рекуператор тепла подогревает дутье вагранки, снижая пиковые $t_{\text{плавки}}$ и образование первичного NO; рукавный фильтр охлаждает поток <250 °С, минимизируя NO ₂ .	20–30% (оптимизация горения и t-контроль).
Твердые частицы суммарно (пыль SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , C)	Циклон на входе осаждает крупные фракции >50 мкм. После дожига газы через рукава (диаметр 150–200 мм), где диффузия/инерция/броуновское движение захватывают частицы <10 мкм с эффективностью 99,5–99,9%; импульсы сжатого воздуха регенерируют ткань, сбрасывая пыль в бункер для рецикла в шихту или Л-1248.	в 8–10 раз (первая ступень) + 95–99%
Оксид серы (SO ₂)	Дожигательная камера с Pt/Pd-катализатором окисляет $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$ при 800–1000 °С; мембрана фильтра адсорбирует SO ₃ как H ₂ SO ₄ , сбрасывая в бункер.	50–70% (окисление + адсорбция)
Углеводороды предельные C1–C10 (CH ₄ , алифатика)	Полное сгорание $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ в камере с катализатором.	92–97% (полное окисление)

Концентрация загрязнителей на выходе дымовой трубы опускается ниже предельно допустимых значений. Экономический выигрыш проявляется в рекуперации тепла для оптимизации плавки, сокращении расхода кокса и полном устранении плат за превышения нормативов.

Литература:

1. <https://www.belarus-tractor.com>
2. Супрон, П. А. Анализ воздействия ОАО «Минский тракторный завод» на атмосферный воздух/ атериалы VIII Международного молодежного экологического Форума, 13-14 ноября 2024 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; Под ред. член-корреспондентов РЭА Т. В. Галаниной, М. И. Баумгартэна – Кемерово, 2025. – 1 электрон. опт. диск.
3. Система очистки и дожигания ваграночных газов. – <https://metallolome.ru/sistema-ochistki-i-dozhiganiya-vagranoch/> (Дата обращения 10.04.2026).
4. Охрана окружающей среды от выбросов литейного производства : методические указания для студентов специальностей ЛП, ОЛП / сост. Н. М. Глиняная. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 60 с.
5. Печи литейных цехов: пособие для студентов специальности 6-05-0714-03 «Инженерно-техническое проектирование и производство материалов и изделий из них» профилизаций «Машины и технология литейного производства», «Аддитивные технологии в литейном производстве»: в 2 ч. / сост.: М. А. Садоха, С. Л. Ровин, ISBN 978-985-31-0166-9 (Ч. 2). Ф. И. Рудницкий. – Минск: БНТУ, 2025. – Ч. 2. – 2025. – 97 с.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

Сурма Т.А., студент

Научный руководитель Сидорская Н.В.

*Белорусский государственный университет иностранных языков,
Беларусь*

В работе систематизированы международные рекомендации по безопасному поведению при землетрясениях. Рассмотрены алгоритмы действий в зависимости от локализации человека, особенности поведения при угрозе цунами, а также системы раннего оповещения. Предложены практические рекомендации для сохранения жизни и здоровья.

Ключевые слова: безопасность жизнедеятельности, землетрясение, раннее оповещение, цунами, Drop Cover Hold On, первая помощь

Землетрясение – это внезапное, быстрое сотрясение земли, вызванное смещением горных пород глубоко под поверхностью земли. Большинство землетрясений слишком слабы, чтобы их почувствовал человек, но время от времени нашу планету сотрясают мощные толчки. Также землетрясения могут вызывать пожары, цунами, оползни или лавины. Поэтому эти природные чрезвычайные ситуации относятся к наиболее разрушительным природным катастрофам. По данным Швейцарской сейсмологической службы, 90% землетрясений происходят в Тихоокеанском огненном кольце, а в Европе сейсмоопасны Греция, Италия, Турция [1].

Для Беларуси тема актуальна в связи с ростом туристических поездок. Цель работы — систематизировать международные рекомендации для создания алгоритма действий при землетрясении.

1. Подготовка к землетрясению

Ключ к выживанию — заблаговременная подготовка. Швейцарская сейсмологическая служба рекомендует туристам изучить правила поведения до поездки, определить в отеле безопасные места (под столом), договориться о месте встречи с попутчиками, иметь наличные и паспорт [1]. Правительство Великобритании советует подписаться на уведомления МИД, записать местные номера экстренных служб и оформить страховку [3].

Во время землетрясения у вас может быть всего несколько секунд, чтобы защитить себя, прежде чем сильная тряска собьет вас с ног или на вас что-нибудь упадет.

2. Системы раннего оповещения

Геологическая служба США разработала систему ShakeAlert, которая обнаруживает первичные волны и дает людям до минуты на подготовку [2].

Япония использует сеть сейсмометров и систему Japan-Alert, отправляющую предупреждения на телефоны и через уличные громкоговорители [4]. Доступны приложения: MyShake (США), SafetyTips (Япония) [5]. В Японии проводятся регулярные учения с детства [4].

3. Действия во время землетрясения

Международные службы рекомендуют алгоритм Drop, Cover and Hold On (упади, укройся, держись) [3, 5].



Рисунок 1 – Алгоритм Drop, Cover and Hold On (упади, укройся, держись)

Упасть — опуститься на руки и колени. Укрыться — закрыть голову и шею, залезть под стол или прижаться к внутренней стене. Держаться — оставаться в защитной позе до конца толчков.

Нюансы: в помещении не выбегать на улицу, на улице отойти от зданий и деревьев, в постели закрыть голову подушкой, в машине остановиться в безопасном месте [3, 5]. Исключение — первый этаж непрочного здания: можно эвакуироваться [5].

4. Поведение при угрозе цунами

При сильных толчках на побережье, шуме моря или отходе воды нужно немедленно подняться на высоту 30-40 м или уйти вглубь суши на 2-3 км [3]. Не ждать официального оповещения. Оставаться на возвышенности до отбоя тревоги [3]. Япония построила дамбы и установила указатели эвакуации [4].

5. Поведение в завале

Наибольшую угрозу представляет синдром длительного сдавления (краш-синдром) — интоксикация после освобождения из завала. Под завалом важно укрепить пространство, закрыть рот тканью от пыли, подавать сигналы стуком по трубам (крик только когда слышны спасатели). Не зажигать огонь, при отсутствии воды можно использовать техническую жидкость [5].

6. Действия после землетрясения

Опасны афтершоки в первые часы. Не входить в поврежденные здания. При возможности отключить газ и электричество. Использовать текстовые

сообщения вместо звонков. При освобождении из завалов не снимать сдавливающий предмет без жгута и питья [5].

Оказавшись в безопасности, необходимо следить за местными новостными сообщениями, чтобы получать информацию о чрезвычайных ситуациях и инструкции через радиоприемники с батарейным питанием, телевидение, социальные сети или SMS-уведомления на мобильный телефон.

Чтобы сообщить людям, что с вами все в порядке, можно использовать социальные сети, причем лучше пользоваться текстовыми сообщениями для общения, так как это может быть надежнее, чем телефонные звонки.

Безопасность при землетрясении обеспечивается подготовкой, использованием систем оповещения и правильными действиями по принципу Drop, Cover and Hold On.

Знание алгоритмов выживания, защиты дыхания и подачи сигналов критически важно. Формирование культуры безопасности снижает потери, что подтверждает опыт Японии и США.

Литература:

1. Earthquakes abroad // Swiss Seismological Service (ETH Zurich) : [сайт]. – URL: <http://seismo.ethz.ch/en/earthquakes/what-to-do/earthquakes-abroad> (дата обращения: 10.03.2026)

2. Rowan L.R. The ShakeAlert Earthquake Early Warning System // Congressional Research Service. – 2025. – 25 апреля. – Report IF12956. – URL: <https://www.congress.gov/crs-product/IF12956> (дата обращения: 16.03.2026).

3. Overseas emergencies // UK Government Prepare Campaign. – 2024. – 20 марта. – URL: <https://prepare.campaign.gov.uk/be-informed-about-hazards/overseas-emergencies/> (дата обращения: 14.03.2026).

4. ways how Japan manages earthquake disasters really well // WION News. – 2025. – 30 июля. – URL: <https://www.wionews.com/photos/7-ways-japan-manages-earthquake-disasters-really-well-despite-sitting-on-a-volatile-seismic-zone-japanese-quake-manga-prediction-island-preparedness-1751887601630> (дата обращения: 19.03.2026)

5. How to protect yourself in an earthquake // eKathimerini.com / The New York Times. – 2025. – 30 апреля. – URL: <https://www.ekathimerini.com/nytimes/1268240/how-to-protect-yourself-in-an-earthquake/> (дата обращения: 14.03.2026)

ВИДЫ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОГО ТОПЛИВА И СПОСОБЫ ЕГО АКТИВАЦИИ

Сырникова К.А., аспирант

Научный руководитель Морзак Г. И.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В условиях глобальной энергетической трансформации особое значение приобретает развитие экологически безопасных и возобновляемых источников энергии. Данная статья посвящена анализу различных видов биологически активного топлива, их характеристикам и методам активации для повышения эффективности использования. Подчеркивается важность выбора соответствующей технологии для оптимизации энергетической отдачи и снижения экологического воздействия.

Ключевые слова: биологически активное топливо, биогаз, биодизель, биоэтанол, активация топлива, микробные культуры, энергетическая эффективность, биотехнологии, экологическая безопасность.

Истощение ископаемых энергетических ресурсов и ухудшение экологической обстановки обуславливают необходимость поиска альтернативных источников энергии. Биологически активное топливо представляет собой категорию возобновляемых энергетических ресурсов, полученных из биомассы либо с использованием микроорганизмов и биотехнологических методов [1].

В соответствии с целью 7 в области устойчивого развития основными задачами к 2030 году в области обеспечение доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех (ЦУР 7) являются [2]:

- обеспечить всеобщий доступ к недорогому, надежному и современному энергоснабжению;
- значительно увеличить долю энергии из возобновляемых источников в мировом энергетическом балансе;
- удвоить глобальный показатель повышения энергоэффективности.

Динамика показателя отношения объема производства первичной энергии из возобновляемых источников энергии к объему валового потребления топливно-энергетических ресурсов (ЦУР 7.2.1) показывает, что данный показатель снизился до уровня 2019 года (рисунок 1) [3, 4]. Поэтому поиск, разработка и внедрение альтернативных источников энергии таких как биологически активное топливо являются актуальными.

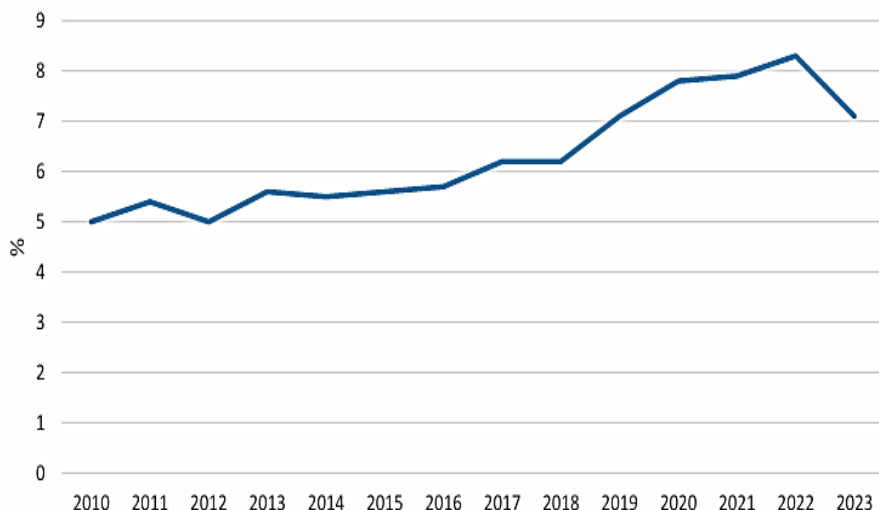


Рисунок 1- Доля возобновляемых источников энергии в валовом потреблении энергетических ресурсов

Важной задачей является повышение энергетической плотности и качества биотоплива за счет внедрения методов активации, что позволяет обеспечить более эффективное сгорание и снизить экологическую нагрузку.

Исходя из рисунка 2 рассмотрим все виды агрегатного состояния биотоплива подробнее.

Жидкое биотопливо - вещество, получаемое в ходе переработки растительного сырья (кукурузы, рапса, сахарной свеклы, сахарного тростника), средствами технологий, в основе которых лежит использование естественных биологических процессов (например, брожения), является перспективным классом биотоплива. Его получают из самых разнообразных растений - от пшеницы и сахарной свеклы, до рапса и отходов деревообработки. В основном применяется для работы двигателей [5].

Газообразное биотопливо - продукт, получаемый в результате брожения биомассы или использования иных термо- и биохимических процессов, направленных на ее переработку. Наиболее распространенные вид газообразного биотоплива - биогаз, одной из разновидностей, которого является биоводород.

Твердое биотопливо — это экологически чистый возобновляемый энергоноситель, получаемый из биомассы (древесные отходы, сельхозкультуры, торф) путем сушки и прессования. В настоящее время для

получения биомассы используются энергетические леса — это быстрорастущие породы древесины, кустарников и трав (ива, тополь, эвкалипт, акация, сахарный тростник, кукуруза и др.). Период ротации энергетического леса (от срезания до срезания) составляет 4–6 лет.

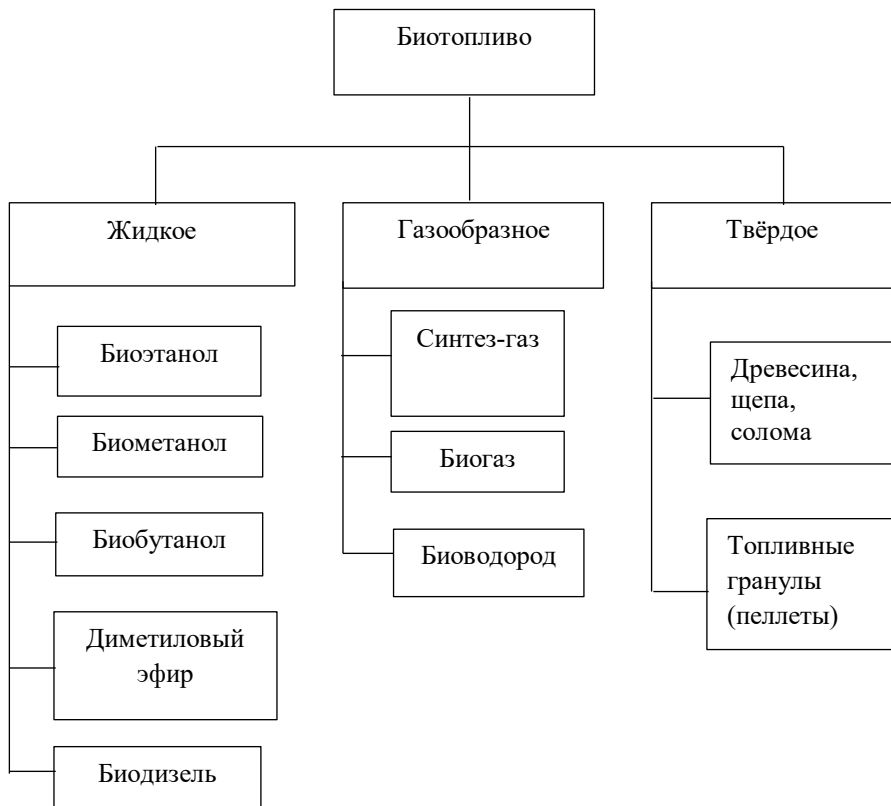


Рисунок 2 - Виды биотоплива по агрегатному состоянию

Для улучшения физических и химических характеристик биологически активного топлива нередко прибегают к использованию химических реагентов, специальных ферментов и микроорганизмов, а также физическому воздействию.

Существует несколько основных способов активации биотоплива [6]:

1. Термическая обработка

Термическая активация предусматривает нагревание биотоплива с целью увеличения его реакционной способности, разрушения структуры сырья и удаления избыточной влаги. Данный процесс способствует более полному и эффективному сгоранию, оптимизируя энергоотдачу топлива. Термическая обработка также позволяет снизить содержание нежелательных примесей, повышающих токсичность выбросов.

2. Биологическая стимуляция

Биологическая активация заключается во введении специфических ферментативных комплексов или микроорганизмов, способных инициировать или ускорять процессы биоконверсии. Использование биокатализаторов увеличивает эффективность разложения исходного органического материала, улучшает выход целевых энергетических соединений и сокращает время производства биотоплива. Современные биотехнологические подходы позволяют получать топливо с заданными характеристиками за счет направленной модификации микробных консорциумов.

3. Химическая активация

Химическая модификация биотоплива реализуется путем введения реагентов или функциональных присадок, способствующих изменению его физических и химических свойств. К числу таких добавок относятся вещества, улучшающие горение, повышающие стабильность и увеличивающие энергетическую ценность продукта. Химическая обработка обеспечивает коррекцию состава биотоплива, минимизируя образование вредных выбросов при эксплуатации.

Многообразие видов биологически активного топлива обусловлено универсальностью сырья и технологическими возможностями его получения. Наиболее развитые и применяемые в промышленности — биогаз и биодизель, однако перспективным направлением остается развитие микробных методов синтеза биоэнергетических соединений.

Эффективность использования и экологическая безопасность биоэнергетики существенно повышаются за счет внедрения методов активации, позволяющих существенно изменить физико-химические свойства топлива и повысить их соответствие требованиям современных энергетических систем [7].

Биологически активное топливо представляет собой перспективный компонент энергетического комплекса, способный снизить экологический след и обеспечить энергетическую безопасность. Эффективная активация данного топлива позволяет повысить его энергоемкость и снизить вредные выбросы, что важно в условиях растущего спроса на экологичную энергию.

Инновационные методы активации биоэнергетических ресурсов способствуют улучшению их энергоэффективных характеристик, а также

снижению количества вредных выбросов при сгорании или использовании, что особенно актуально в условиях повышенного спроса на экологически чистую энергию и устойчивого развития. Внедрение таких технологий позволяет интегрировать биотопливо в существующие энергетические системы, обеспечивая более эффективное использование ресурсов и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

Таким образом, развитие сферы биоиндустриальных технологий и методов активации биологически активных топлив открывает новые перспективы для повышения их эффективности, экологической безопасности и соответствия современным энергетическим вызовам.

Литература:

1. Хомякова М. А., Садов А. А. Экономические перспективы использования биотоплива //Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. – 2023. – №. 1. – С. 80–86.

2. Цели устойчивого развития. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/pokazateli-dostizheniya-tseley-ustoychivogo-razvitiya/natsionalnyy-perechen-pokazateley-tseley-ustoychivogo-razvitiya/tsel-7-obespechenie-dostupa-k-nedorogim-nadezhnym-ustoychivym-i-sovremennym-istochnikam-energii-dlya/?special_version=Y./. - Дата доступа: 06.04.2026

3. Энергетический баланс Республики Беларусь. Статист. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2020. – 152 с.

4. Энергетический баланс. Обзор состояния энергетического комплекса Республики Беларусь до 2023 год. Аналитический отчет// SANS, 2024.-12с.

5. Матвеев И. Е. Производство жидкого биотоплива как перспективный сегмент энергетического хозяйства //Энергетический вестник. – 2023. – №. 28. – С. 43–54.

6. Марьяндышев П. А., Чернов А. А., Любов В. К. Исследование процессов термического разложения биотоплива и разработка способов повышения эффективности его энергетического использования //Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – №. 1. – С. 29–37.

7. Мазанов С. В. и др. Биодизельное топливо. Часть I. Способы получения //Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – №. 4. – С. 16–49.

БЕЗОПАСНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ЖАРЫ: ВЫЗОВЫ И РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

Тихманович Е.Д., студент

Научный руководитель Сидорская Н.В.

**Белорусский государственный университет иностранных языков,
Беларусь**

В статье рассматриваются проблемы безопасности, возникающие в условиях экстремальной жары, которая становится все более актуальной в свете глобальных климатических изменений. Анализируются физиологические и психологические последствия высокой температуры для человеческого организма, а также их влияние на трудоспособность и качество жизни. Особое внимание уделяется вызовам, связанным с обеспечением здоровья и безопасности людей. Предлагаются практические решения и рекомендации, направленные на минимизацию рисков, связанных с жаркой погодой.

Ключевые слова: экстремальная жара, безопасность человека, здоровье человека, изменение климата, заболевания, жизнедеятельность человека.

Изменение климата представляет собой огромную проблему для человечества в XXI веке. Последние десятилетия сопровождаются беспрецедентным выбросом парниковых газов, что повлекло за собой выраженное повышение температуры воздуха. Потепление атмосферы и океана нарушило природное равновесие, привело к более частым засухам и наводнениям. Многие ледники могут уже совсем скоро могут растаять, если не принять меры по замедлению повышению температуры.

Также изменения климата считается крупнейшей глобальной проблемой здравоохранения. Они уже являются причиной 400 тысяч дополнительных смертей в год, и будут способствовать 700 тысячам ежегодных смертей с крупными финансовыми потерями примерно 2–4 миллиардов долларов в год.

Экологические проблемы экстремальной жары

Экстремальная жара, в-первую очередь, представляет угрозу для жизни на нашей планете. Самый яркий пример – это таяние ледников, что приводит к повышению уровня моря. Так в 2000-2023 годах они теряли в среднем около 273–750 млрд тонн льда ежегодно, что привело к повышению уровня моря на 18 мм. Скорость таяния за последние 10 лет выросла на 36%. Таяние ледников угрожает исчезновением до 27% видов флоры и фауны к концу века, разрушая уникальные экосистемы.

Основные риски включают потерю мест обитания (белые медведи, тюлени, горные козлы), нарушение пищевых цепей из-за изменений в океане,

распространение вредителей и высвобождение древних вирусов. Так например, таяние арктических льдов лишает белых медведей, тюленей и моржей мест для охоты и размножения. В горах исчезновение ледников уничтожает особые виды, приспособленные к холоду. Также снижение уровня воды в горных озерах (например, Шоркуль) из-за таяния ледников ведет к пересыханию водоемов, сокращению мигрирующих птиц и снижению биоразнообразия.

Также еще одной экологической угрозой экстремальной жары является опустынивание и засуха. Опустынивание – это процесс деградации земель в засушливых, полусухих и сухих районах, превращающий плодородные почвы в безжизненные пустыни. Из-за экстремальной жары плодородные и живые территории постепенно превращаются в засушливые земли. Дальше эти земли подвергаются опустыниванию и становятся бесплодными и безжизненными. На таких землях не будет ничего расти, что приведет к смерти всей окружающей среды региона. Так около 40% суши на планете уже попало под действия опустынивания. Больше всего таких территорий в Австралии, Казахстане и Монголии.

Засуха является такой же проблемой как и опустынивание. Она связана с нехваткой воды и отсутствием безопасности водоснабжения, что приводит к большому количеству заболеваний и смертности, пыльным бурям, которые переносят твердые частицы, а также лесным пожарам. Опустынивание и засухи угрожают тем, что из-за них пропадает много плодородной почвы, без которой не сможет расти ни одно растение, что приведет к смерти многих видов растений и животных, а в будущем и самого человека.

Социальные и экономические проблемы экстремальной жары

Экстремальная жара также очень активно влияет и на человека. Она касается экономических и социальных факторов. Так, например, сокращение посевных плодородных полей уменьшает количество урожая, что ведет к уменьшению количества продукции и увеличению цен на нее. Также это ведет к загрязнению продуктов питания и распространению новых болезней и инфекций.

Жара очень сильно влияет на нарушение цепочек поставок. Экстремальные погодные условия могут повлиять на транспортировку и хранение продовольствия, что также приводит к росту цен и дефициту нужных и необходимых для жизни продуктов питания. Так мировые цены на продовольствие в начале 2026 года демонстрируют умеренный рост: индекс цен ФАО в феврале достиг 125,3 пункта, что является четырехмесячным максимумом, особенно за счет подорожания зерновых и сахара. За последние 5 лет продукты в мире подорожали более чем на 35%, при этом основными драйверами остаются климатические аномалии и логистические проблемы.

Также активно затрагивается и социальный аспект. В-первую очередь это появление и распространение новых заболеваний, а также возвращение старых. Так таяние ледников может открыть миру совершенно новые заболевания, что приведет к гибели миллионов людей. Также старые болезни могут стать еще более активными и начать распространяться куда быстрее и на большее количество людей. Так продолжительный теплый сезон продлевает и расширяет распространение переносчиков различных болезней. Более высокая температура также сокращает время инкубации переносчиков инфекций.

Влажность также связана с передачей болезней, поскольку влияет на продолжительность жизни переносчиков. Из-за чего активно начинают распространяться такие болезни как: лихорадка Рифт-Валли, холера; малярия, вирус Ласса в Западной Африке. В настоящее время в мире умирает около 1 610 000 человек в год от этих болезней. Это число может все время расти. Так экстремальная жара активно влияет на сердечно-сосудистые заболевания, респираторные заболевания, метаболические нарушения, психические расстройства. Это все увеличивает смертность и понижает уровень жизни человечества. Больше всего от этого страдают дети и старики. Годовые показатели смертности среди пожилых людей, связанные с жарой, выросли примерно на 85% с 1990-х годов.

Также из-за жары уменьшает количество рабочих мест и потери доходов. Так экстремальная жара признана самым смертоносным климатическим угрожающим фактором. Согласно данным Global Center on Adaptation, к 2030 году тепловой стресс может привести к потере 80 миллионов рабочих мест. Почти 2,5 миллиарда работников – около 70 процентов мировой рабочей силы – подвергаются воздействию опасной жары. В 2023 году только экстремальная жара привела к потерям доходов в размере 835 миллиардов долларов по всему миру. Без ускоренной адаптации глобальные экономические потери могут достичь 12,5 триллиона долларов к 2050 году.

Пути решения

1. Развитие систем раннего предупреждения: создание эффективных систем оповещения населения о надвигающейся жаре с учетом местных особенностей.

2. Защита уязвимых групп населения: разработка специальных программ для пожилых людей, детей, беременных женщин и работников на открытом воздухе.

3. Адаптация городской инфраструктуры: внедрение зеленых зон, отражающих покрытий, устойчивых к жаре строительных материалов.

4. Мониторинг инфекционных заболеваний: усиление эпидемиологического надзора в связи с изменением географии трансмиссивных инфекций.

5. Управление водными ресурсами: внедрение природных методов сохранения воды и защиты от наводнений.

6. Развитие систем здравоохранения: подготовка медицинских учреждений к росту числа обращений, связанных с экстремальными температурами.

Таким образом, экстремальная жара представляет собой одну из самых серьезных угроз безопасности жизнедеятельности человека в XXI веке. Воздействие экстремальных температур, распространение инфекционных заболеваний, таяние ледников с пробуждением древних вирусов, засухи – все эти факторы требуют незамедлительных и скоординированных действий на глобальном уровне. Сейчас существуют проверенные решения, которые уже доказали свою эффективность.

Системы раннего предупреждения, природные методы управления водными ресурсами, адаптация городской инфраструктуры и усиление систем здравоохранения могут значительно снизить риски.

Ключевым условием успеха является не только сокращение выбросов парниковых газов, но и масштабное инвестирование в пути решения, особенно в наиболее уязвимых регионах. Как подчеркивают эксперты ООН, мы должны действовать сейчас, чтобы защитить людей, природу и экономику от угроз, которые будут только расти с каждым годом. Вопрос не в том, произойдут ли эти изменения, а в том, насколько мы будем готовы к ним.

Литература:

1. Бучков, И. (2021). Как ледники могут изменить жизнь на Земле. HighTech. – URL: - <https://hightech.fm/2021/08/26/glacier-home> (дата обращения: 28.03.2026).

2. Всемирная метеорологическая организация (BOM). Таяние ледников вызовет лавину каскадных последствий. – URL: - <https://wmo.int/ru/news/media-centre/tayanie-lednikov-vyzovet-lavinu-kaskadnykh-posledstviy> (дата обращения: 29.03.2026).

3. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). (n.d.). Малярия. – URL: - <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/malaria> (дата обращения: 29.03.2026).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «МИНСКИЙ ТРАКТОРНЫЙ ЗАВОД»)

Третьяк М.В., студент

Научный руководитель Цыганова А.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье проанализирована природоохранная деятельность ОАО «Минский тракторный завод». Рассмотрены система экологического менеджмента, газоочистное оборудование, производственный контроль и обращение с отходами. Выявлены проблемные зоны. Предложены мероприятия по совершенствованию, включая автоматизацию учёта отходов с расчётом экономической эффективности.

Ключевые слова: экологический менеджмент, природоохранная деятельность, выбросы загрязняющих веществ, газоочистные установки, отходы производства, экономическая эффективность, ОАО «Минский тракторный завод».

Введение. Машиностроение является одной из ведущих отраслей экономики Республики Беларусь, однако оно оказывает значительное воздействие на окружающую среду. ОАО «Минский тракторный завод» (МТЗ) – крупнейший производитель сельскохозяйственной и специальной техники, деятельность которого сопровождается выбросами загрязняющих веществ в атмосферу, сбросами сточных вод и образованием большого количества отходов.

Цель данной работы – анализ природоохранной деятельности МТЗ и разработка предложений по её совершенствованию в рамках системы экологического менеджмента.

Характеристика природоохранной деятельности ОАО «МТЗ». На предприятии функционирует 1716 стационарных источников выбросов загрязняющих веществ, из которых 275 оснащены газоочистными установками (ГОУ). Суммарный годовой выброс составляет 262,530 т/год. Эффективность работы ГОУ варьируется от 75 до 95 %. Основные загрязняющие вещества: оксид углерода, диоксид азота, диоксид серы, твёрдые частицы, летучие органические соединения.

На ОАО «Минский тракторный завод» внедрена и функционирует система менеджмента окружающей среды (СМОС), соответствующая требованиям СТБ ISO 14001-2017. Организационная структура СМОС представлена на рисунке 1.

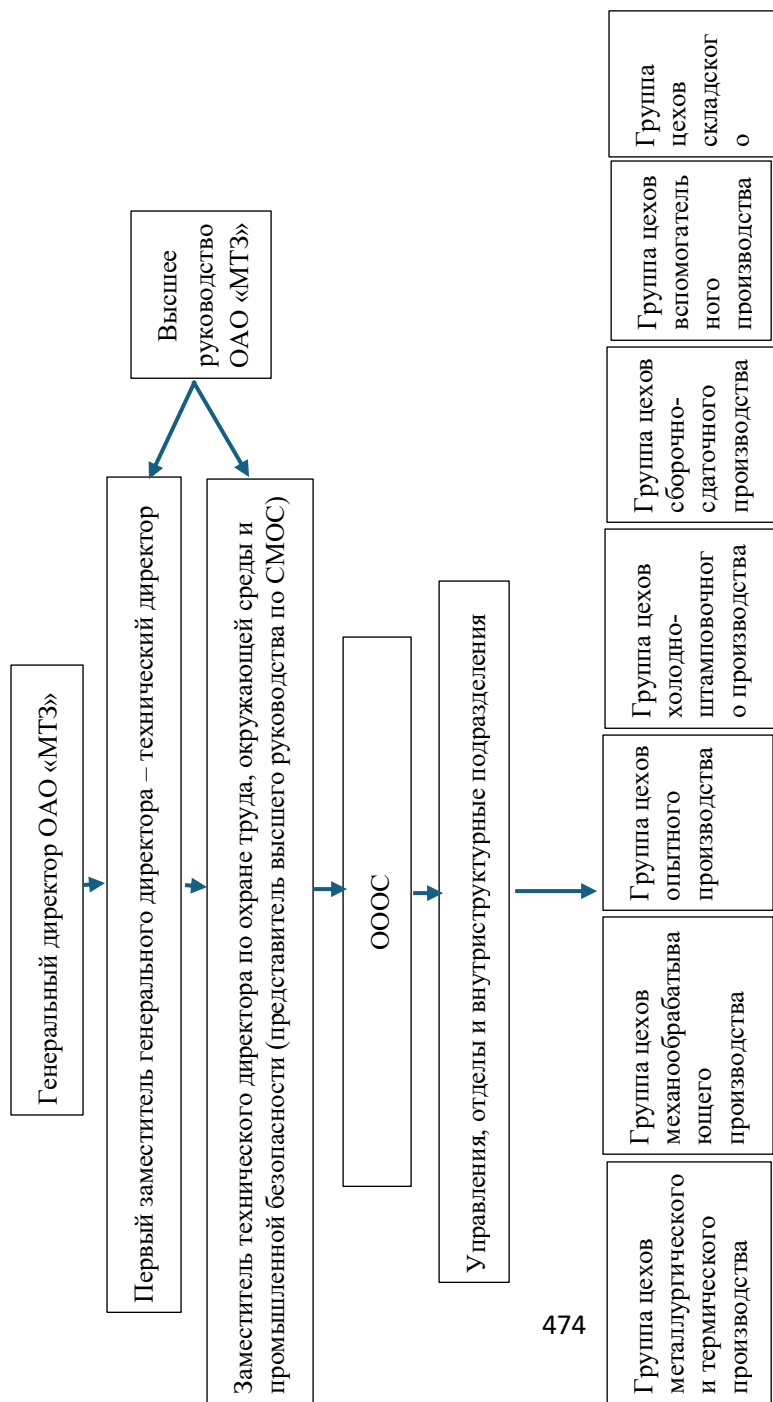


Рисунок 1 – Организационная структура СМОС ОАО «МТЗ»

На МТЗ применяются следующие типы ГОУ:

- Фильтры карманные SFN-108/2-W-DPV – для очистки воздуха от неспяяющей пыли. Регенерация осуществляется импульсами сжатого воздуха в автоматическом режиме.

- Скруббер KFVG 2000 – для очистки воздуха от аминов в стержневых машинах (метод Coldbox). Очистка происходит в противоточном режиме с кислотным раствором (рН 1,2–1,5) с последующей нейтрализацией щёлочью до рН 5,2–7,0.

- Окрасочная камера А-11 с гидрофильтром – для улавливания красочного аэрозоля с рециркуляцией воды.

На предприятии ведётся раздельный сбор отходов. Отработанное масло и древесные отходы используются в качестве топлива, некондиционный пенополистирол – для производства теплоизоляционных плит. Благодаря внедрению системы менеджмента окружающей среды (СМОС) удалось снизить объём отходов, направляемых на захоронение на полигон ТКО г. Минска, с разрешённых 104 тонн до фактических 53,6 тонны.

Производственный экологический контроль (ПЭК) включает ежемесячный мониторинг 30 приоритетных источников выбросов, контроль сточных и ливневых вод по 14 показателям (рН, взвешенные вещества, сульфаты, хлориды, азот аммонийный, фосфор общий, хром, железо, цинк, свинец, медь, нефтепродукты).

Проблемы и резервы совершенствования. В ходе анализа выявлены следующие проблемные зоны:

1. Неэффективная очистка гальванических стоков. Существующая реагентная схема не извлекает тяжелые металлы и не позволяет замкнуть водный цикл.

2. Первичный учет отходов ведется на основании ПОД-9 в местах образования, при этом в ООС используются формы ПОД-1, ПОД-2, ПОД-8 и ПОД-10. Отсутствует единая автоматизированная система, что повышает риск ошибок и затрудняет оперативное планирование.

3. Значительное количество неорганизованных источников выбросов (сварочные посты, участки механической обработки без местных отсосов).

4. Износ части газоочистного оборудования (вагранки, старые циклоны).

Предложения по совершенствованию. На основе проведённого анализа предлагаются следующие мероприятия:

1. Внедрение ферроферритизации. Степень очистки от тяжелых металлов 98-99 %, вода возвращается в оборот.

2. Автоматизация учёта отходов с экономическим расчётом. Переход на электронные журналы ПОД с интеграцией в корпоративную ERP-систему. Это

позволит в реальном времени отслеживать образование, движение и передачу отходов.

Расчёт экономической эффективности (на основе данных МТЗ):

Исходные данные: захоронено 53,6 т/год; стоимость захоронения 85 руб/т; штраф за нарушение учёта – 500 руб. Экономия за счёт предотвращения штрафов (2 нарушения/год):

$$\mathcal{E}_{\text{штр}} = 2 \times 500 = 1000 \text{ руб/год} \quad (1)$$

Экономия за счёт оптимизации вывоза (сокращение рейсов на 10 %):

$$\mathcal{E}_{\text{лог}} = 53,6 \times 0,10 \times 85 = 456 \text{ руб/год} \quad (2)$$

Дополнительный доход от увеличения доли переработки (+5 %):

$$\mathcal{D}_{\text{перер}} = 53,6 \times 0,05 \times 85 = 228 \text{ руб/год} \quad (3)$$

Общий эффект:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = 1000 + 456 + 228 = 1684 \text{ руб/год} \quad (4)$$

Срок окупаемости (при затратах 5000 руб):

$$\text{Ток} = 5000 / 1684 \approx 3 \text{ года} \quad (5)$$

3. Оснащение неорганизованных источников местными отсосами
Установка передвижных пылегазоулавливающих агрегатов на сварочных постах. Ожидаемое снижение выбросов в рабочую зону – до 60 %.

4. Замена устаревших ГОУ Замена циклонов на рукавные фильтры с импульсной регенерацией в литейных цехах. Эффективность очистки по твёрдым частицам повысится с 75–80 % до 98–99 %.

Заключение. На ОАО «МТЗ» внедрена СМОС, но выявлены резервы: очистка гальванических стоков, учет отходов, неорганизованные источники, износ ГОУ. Предложены ферроферритизация, автоматизация учета, местные отсосы и замена циклонов на рукавные фильтры. Реализация мероприятий снизит нагрузку на среду и повысит ресурсоэффективность.

Литература:

1. Закон Республики Беларусь от 26.11.1992 № 1982-ХІІ «Об охране окружающей среды».
2. ТКП 17.11-02-2009 (02120/02030). Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. – Минск, 2009.
3. СТБ ISO 14001-2017. Системы управления окружающей средой. – Минск: Госстандарт, 2017.
4. Экологический паспорт ОАО «Минский тракторный завод». – Минск, 2025.
5. Дорошко С.В., Благовещенская Т.С., Борская Е.П. Системы управления окружающей средой: методические рекомендации. – Минск: Минприроды, 2015. – 91 с.
6. ТКП 17.02-12-2014 (02120). Порядок ведения учета в области охраны окружающей среды. – Минск, 2014.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ ТОРФА В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ

Трухан Д.А., студентка

Научные руководители: Цыганова А.А., Благовещенская Т.С.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье приведен сравнительный анализ двух образцов золы от сжигания торфа, различающихся по способу отбора (валовая зола и зола из электрофильтра. Оценены их физико-химические свойства, включая содержание тяжелых металлов.

Ключевые слова: зола от сжигания торфа, удобрение, озимая рожь, рапс, тяжелые металлы.

Ежегодно при сжигании торфа в Республике Беларусь образуются десятки тысяч тонн золы, которая преимущественно захоранивается на полигонах, создавая экологическую нагрузку.

В то же время, зола содержит комплекс макро- и микроэлементов (К, Р, Са, Mg, Fe и др.), необходимых для питания растений, и может выступать в роли мелиоранта для кислых почв [1, 2].

В работе исследовали два типа золы от сжигания торфа: Образец 1 (Зола-1): валовая зола от сжигания торфобрикетов.

Образец 2 (Зола-2): зола от сжигания смеси торфа и лигнина, уловленная на электрофильтре .

В работе использовали семена озимой ржи и рапса. В качестве органических добавок применяли гранулированные удобрения: куриный помет, конский и коровий навоз.

Для оценки качества и безопасности золы мы провели несколько исследований:

- Измерили кислотность (рН) водной вытяжки;
- Определили содержание тяжелых металлов и их миграцию;
- Приготовление почвенных грунтов с применением золы от сжигания торфа и различных органических удобрений.

Для определения кислотности золы использовали рН-метр. Первоначально готовили водные вытяжки в соотношении 1:5. После чего взбалтывали в течении нескольких минут, затем фильтровали и получили фильтрат. Далее с помощью рН-метра получили кислотность.

Результаты показали, что среднее значение рН образца 1 составило 10,88, а образца 2 – 12,09 - это щелочная среда. Это важный показатель,

который говорит о том, что зола может выступать не только как удобрение, но и как природный мелиорант – вещество, снижающее кислотность почвы.

В рамках данного исследования одной из задач было определить содержания тяжелых металлов в образцах золы, образующейся при сжигании местных видов топлива. Это было необходимо для оценки потенциала использования золы в качестве удобрения. Для определения тяжелых металлов в пробах золы применялся метод атомно-адсорбционной спектроскопии.

По результатам можно сделать вывод, что оба образца показали похожий валовый состав с преобладанием Fe (1 обр.-8600мг/кг, 2 обр.-8550мг/кг) и Mn (90мг/кг). Содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Pb) в обоих образцах находится в пределах, допустимых для использования в качестве удобрения.

Для оценки миграции компонентов золы, образец был помещен в дистиллированную воду, pH которой был доведен до 4.3 соляной кислотой. Экспозиция длилась 3 суток при комнатной температуре.

В результате видно, что даже при моделировании кислой среды (как в почве) переход тяжелых металлов в раствор был минимальным (<0.5 мг/л): зафиксирована лишь незначительная миграция марганца и железа, которые как раз полезны растениям.

В качестве культур для эксперимента были выбраны озимая рожь и рапс.

Для оценки воздействия золы от сжигания торфа на всхожесть семян было проведено исследование, в рамках которого семена озимой ржи и рапса были высажены в смеси с добавлением 5, 10 и 15% золы, а также с добавлением органических удобрений в дозах, рассчитанных по действующим регламентам (куриный помет – 1,6 г, конский и коровий навоз – по 3,7 г на контейнер).

Для подготовки образцов почвы с добавлением золы отмеряли необходимое количество золы и почвы, затем их смешивали. Полученные смеси увлажняли, после чего в каждый образец высаживали по 20 семян ржи и 20 семян рапса. Образцы оставляли на подоконнике под солнечным светом на 30 дней, осуществляя полив по мере необходимости. Результаты эксперимента представлены на рисунках.

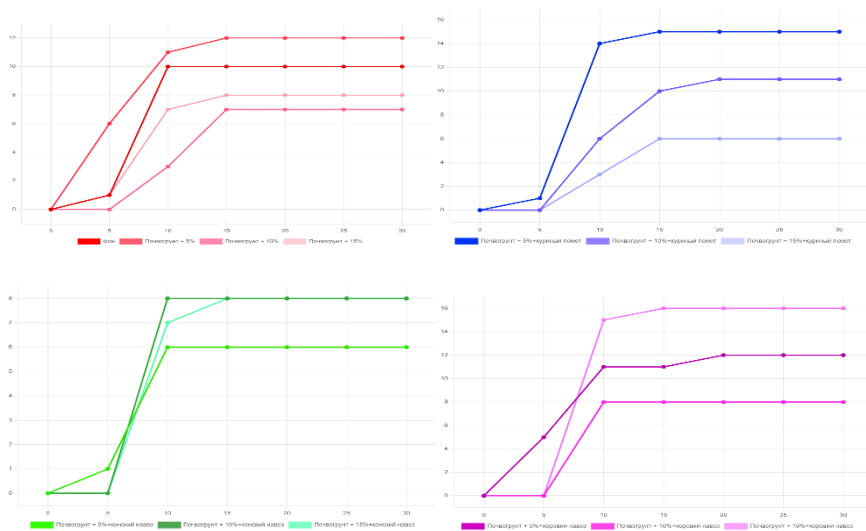


Рисунок 1 – Результаты всхожести рапса с образцом 1.

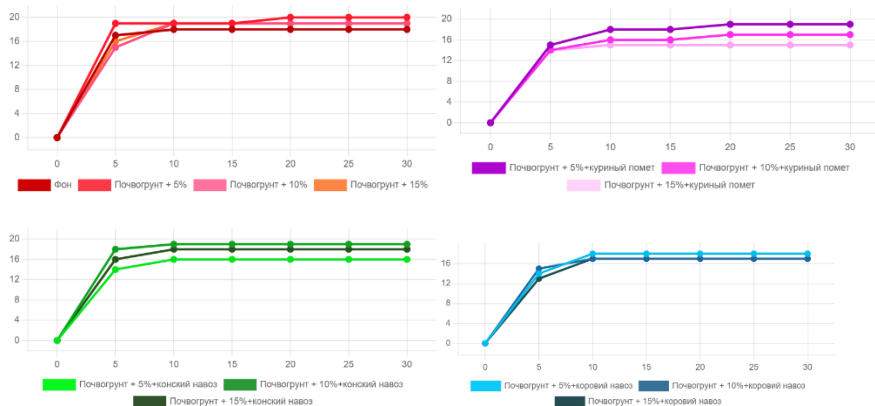


Рисунок 2 - Результаты всхожести озимой ржи с образцом 1

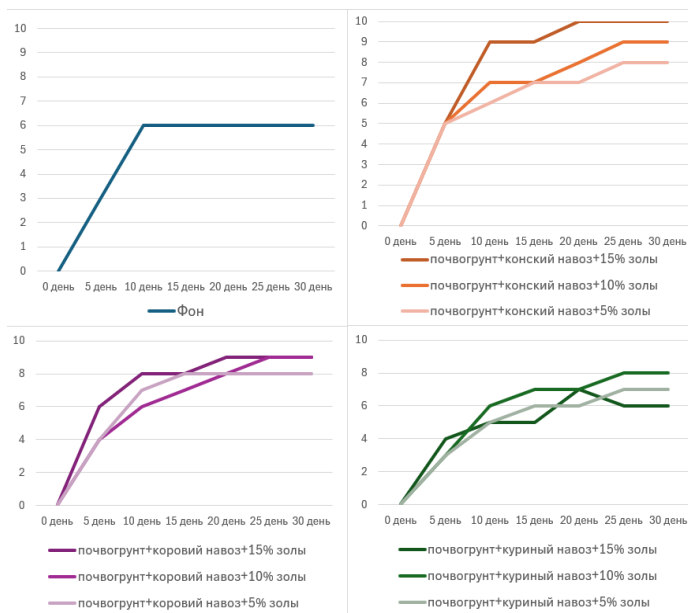


Рисунок 3 - Результаты всхожести озимой ржи с образцом 2

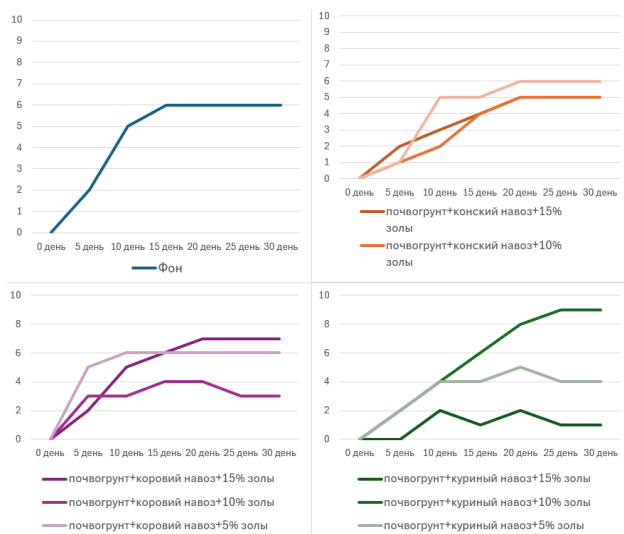


Рисунок 4 – Результаты всхожести рапса с образцом 2

Исходя из рисунков можно сделать вывод, что оба типа золы пригодны для использования в сельском хозяйстве, однако их применение должно быть дифференцированным.

Зола-1 (валовая) характеризуется более мягким и предсказуемым действием. Она является предпочтительным выбором для озимого рапса и других чувствительных культур.

Зола-2 (из электрофилтра) представляет собой более концентрированный и активный продукт. При точном соблюдении дозировок (10% для рапса) и правильном подборе органических удобрений она способна обеспечить максимальные показатели всхожести и стартового роста, превосходящие показатели Золо-1. Для озимой ржи в повышенных концентрациях (до 15%) является наиболее эффективным стимулятором.

Литература:

1. Вильдфлуш И.Р., Цыганов А.Р., Лапа В.В., Персикова Т.Ф. Рациональное применение удобрений. – Горки, 2002. – 322 с.

2. Использование золы от сжигания торфо-древесного и торфяного топлива в качестве компонента высокопрочного бетона- Г. Д. Ляхевича, И. И. Лиштван, А. Г. Ляхевич, В. А. Гречухин, В. М. Дударчик, В. М. Крайко, 12.10.2018

3. Кобель, П.Д. Оценка возможности использования золы от сжигания торфа в качестве удобрения / П.Д. Кобель, Д.А. Трухан // Исследовательский проект. – Минск, 2025. – 60 с.

4. Супраненок, Г.В. Перспективы применения золы от сжигания торфа в аграрном секторе экономики / Г.В. Супраненок, Д.А. Чмурова // Исследовательский проект. – Минск, 2025. – 40 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ТРУБОПРОВОДА

Урядникова Н.С., магистрант

Научный руководитель Гоголь Э.В.

**Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань**

В статье рассматривается возможность применения инструментов бережливого производства для повышения уровня экологической безопасности нефтепромысловых трубопроводов. Анализируются современные подходы к внедрению Lean-технологий в нефтегазовой отрасли, а также методы диагностики техногенной трансформации природной среды. Предлагается концептуальная модель управления, объединяющая принципы бережливого производства с задачами предотвращения аварийных разливов и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Приводится количественная оценка снижения экологических рисков на основе балльной методики.

Ключевые слова: бережливое производство, экологическая безопасность, нефтепромысловый трубопровод, техногенная трансформация, непроизводительное время, битумизация, галогенез.

Эксплуатация нефтепромысловых трубопроводов на территории Российской Федерации сопряжена с высокими экологическими рисками, обусловленными значительным износом основных фондов и аварийностью линейных объектов. К нефтепромысловым относятся внутрипромысловые трубопроводы, выкидные линии и нефтесборные сети, которые отличаются от магистральных трубопроводов меньшим диаметром, более разветвленной конфигурацией и, как следствие, повышенной аварийностью [4]. Цель данной статьи – обосновать применение принципов бережливого производства для повышения уровня экологической безопасности нефтепромыслового трубопровода на основе анализа современных подходов к управлению техногенными процессами.

Отечественная промышленность находится на этапе, когда «для преодоления существующих вызовов требуется комплексный системный подход» [2, с. 145]. В этом контексте концепция бережливого производства, нацеленная на устранение потерь и снижение издержек [4, с. 57], приобретает новое экологическое измерение. Ее потенциал распространяется и на издержки, связанные с аварийными разливами нефти.

При эксплуатации трубопроводов формируется техногенное воздействие трех типов: механогенез, битумизация и галогенез [1], создающие долговременную опасность.

В карстовых районах ситуация осложняется: «карстовые полости могут аккумулировать нефть на длительный период» [8, с. 132]. Эффект «отложенного» ущерба требует превентивных Lean-подходов.

Модель управления экобезопасностью на основе Lean включает четыре этапа [3]: диагностический (картирование рисков); аналитический (идентификация потерь); внедренческий (стандартизация, 5C, визуализация); контрольный (мониторинг KPI).

М.С. Вагин подчеркивает: «повышение производительности, сокращение издержек и оптимизация — главные задачи концепции» [2, с. 149]. Для трубопроводов это предотвращение утечек: каждый час задержки увеличивает масштаб загрязнения. Т.Б. Саматова определяет Lean как «адаптивную систему обеспечения безопасности» [5, с. 366]. Ключевые инструменты: картирование потока, 5C и TPM [6] для перехода к профилактике.

Н.В. Горохова и Е.В. Дресвянникова отмечают: «в основе Lean — устранение потерь во всех сферах» [3, с. 29]. Барьер — территориальная распределенность объектов. Сокращение непроизводительного времени — перспективное направление: час задержки увеличивает площадь и глубину загрязнения [7]. Для количественной оценки использована методика балльной оценки рисков (дисциплина «Системы экологического менеджмента», кейс 1–6 недель). Суть подхода: каждому фактору, влияющему на вероятность аварии и масштаб последствий, присваивается балл по 10-балльной шкале (0 — риск отсутствует, 10 — катастрофические последствия). С учетом доли фактора в группе (q_i) рассчитывается итоговый показатель. Чем ниже сумма баллов, тем выше уровень экобезопасности. Рассматривались две группы факторов: «Битумизация» и «Галогенез». Доли определены экспертно на основе данных работ [1, 4, 8].

В группу «Битумизация» включены три фактора: объем утечки (V , m^3), площадь загрязнения (S , га) и время ликвидации (T , часы). Исходные данные взяты из эксплуатационной отчетности и геоэкологических исследований [1, 8]. Приняты условные значения, характерные для трубопровода в Западной Сибири.

До внедрения Lean-инструментов («традиционный подход») показатели: объем утечки — $12,5 m^3$, площадь — $0,35$ га, время ликвидации — 48 часов. Баллы: $B(V)=7$, $B(S)=6$, $B(T)=8$. При долях $q(V)=0,4$; $q(S)=0,3$; $q(T)=0,3$ итог по группе:

$\Sigma(\text{Битум}) = 0,4 \times 7 + 0,3 \times 6 + 0,3 \times 8 = 7,0$ балла — высокий уровень риска.

После внедрения Lean (оптимизация логистики, стандартизация, аэрофотосъемка [1]): объем утечки — 5,2 м³, площадь — 0,12 га, время ликвидации — 18 часов. Баллы: B(V)=3, B(S)=2, B(T)=3. Итог:

$\Sigma(\text{Битум}) = 0,4 \times 3 + 0,3 \times 2 + 0,3 \times 3 = 2,7$ балла.

Снижение более чем в 2,5 раза — показатель нагляден.

Аналогичные расчеты проведены для группы «Галогенез». Здесь учитывались следующие факторы: объем сброса подтоварных вод (W, м³), площадь засоления почв (S, га), концентрация хлоридов в сточных водах (C, мг/л). Исходные данные, как и в предыдущем случае, получены из геоэкологических исследований и анализа отчетности [6].

До внедрения Lean: W = 150 м³, B(W) = 6 (значительный сброс); S = 0,20 га, B(S) = 5 (заметное засоление); C = 320 мг/л, B(C) = 7 (высокая токсичность). Доли факторов: q(W)=0,3; q(S)=0,3; q(C)=0,4. Итоговая сумма:

$\Sigma(\text{Гал}) = 0,3 \times 6 + 0,3 \times 5 + 0,4 \times 7 = 1,8 + 1,5 + 2,8 = 6,1$ балла.

После внедрения Lean-инструментов (включая оптимизацию режимов сброса и ужесточение контроля [4]): W = 62 м³, B(W) = 2 (минимальный сброс); S = 0,06 га, B(S) = 1 (следы засоления); C = 185 мг/л, B(C) = 3 (умеренная концентрация, в пределах допустимого). Новая сумма по группе «Галогенез»:

$\Sigma(\text{Гал}) = 0,3 \times 2 + 0,3 \times 1 + 0,4 \times 3 = 0,6 + 0,3 + 1,2 = 2,1$ балла.

Снижение — почти в три раза.

Обобщая результаты, можно констатировать: интеграция Lean-принципов позволила снизить суммарную балльную оценку экологических рисков с 13,1 (7,0 + 6,1) до 4,8 (2,7 + 2,1), то есть более чем на 60%. Это количественное подтверждение того, что бережливое производство действительно повышает экологическую безопасность нефтепромысловых трубопроводов — не умозрительно, а в цифрах. Предотвращенный объем разливов, рассчитанный как разница между утечками до и после внедрения, составил 7,3 м³ на одну аварийную ситуацию. Для наглядности результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Практика подтверждает эффективность беспилотников для аэрофотосъемки. Метод выявляет процессы битумизации и галогенеза, незаметные при наземном обходе [1]. Дроны фиксируют скрытое нефтяное и солевое загрязнение, координаты служат основой для корректировки балльных оценок.

Принципы бережливого производства — действенный способ повышения результативности. Для нефтегазового сектора в условиях волатильности рынка подход приобретает стратегическое значение [5]. Экономическая отдача Lean связана с экологическими результатами: сокращение аварий уменьшает финансовые потери и нагрузку на природу.

Таблица 1 – Результаты балльной оценки экологических рисков до и после внедрения Lean-инструментов

Группа факторов	Показатель	До внедрения	После внедрения
Битумизация	Объем утечки (V), м ³	12,5	5,2
Битумизация	Площадь загрязнения (S), га	0,35	0,12
Битумизация	Время ликвидации (T), ч	48	18
Битумизация	Итоговая сумма баллов	7,0	2,7
Галогенез	Объем сброса вод (W), м ³	150	62
Галогенез	Площадь засоления (S), га	0,20	0,06
Галогенез	Концентрация хлоридов (C), мг/л	320	185
Галогенез	Итоговая сумма баллов	6,1	2,1
Итого	Суммарная балльная оценка	13,1	4,8

Таким образом, интеграция Lean в управление экобезопасностью трубопроводов — стратегия сокращения экономических потерь и минимизации ущерба среде.

Для объективной оценки Lean-преобразований, помимо балльной оценки, предлагаются три показателя: среднее время между отказами (MTBF),

среднее время восстановления (MTTR) и объем предотвращенных разливов (7,3 м³ на аварию).

Перспективные исследования — апробация модели на реальных объектах и адаптация Lean-инструментов к разным климатическим зонам и геологическим условиям (арктический климат, карстовые районы).

Литература:

1. Бузмаков С.А. Применение беспилотной аэрофотосъемки для диагностики техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения / С.А. Бузмаков, П.Ю. Санников, Л.С. Кучин, Е.А. Игошева, И.Ф. Абдулманова // Записки Горного института. – 2023. – № 260. – С. 180-193.

2. Вагин М.С. Влияние бережливого производства на конкурентоспособность российской промышленности / М.С. Вагин // Власть и управление на Востоке России. – 2025. – № 1 (110). – С. 145-157.

3. Горохова Н.В. Современное развитие системы бережливого производства в российской промышленности / Н.В. Горохова, Е.В. Дресвянникова // Актуальные вопросы энергетики АПК: материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 100-летию плана ГОЭРЛО, 3–4 декабря 2020 г., г. Ижевск. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. – С. 27.

4. Коровина А.А. Перспективы бережливого производства в нефтегазовой промышленности / А.А. Коровина // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. – 2023. – Т. 14. – № 2. – С. 55-63.

5. Оразов А. Устойчивое производство нефти и газа / А. Оразов, К. Тячмырадов // Инновационные научные исследования 2024 : сборник материалов LIV международной очно-заочной научно-практической конференции, Москва, 30 октября 2024 г. : в 2 т. – Москва : Издательство НИЦ «Империя», 2024. – Т. 2. – С. 48.

6. Саматова Т.Б. Бережливая нефтепереработка, как область развития бережливого производства / Т.Б. Саматова // Московский экономический журнал. – 2021. – № 7. – С. 364-371.

7. Соловей Е.В. Анализ применения философии бережливого производства в нефтегазовой отрасли / Е.В. Соловей // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2022. – № 3. – С. 64.

8. Хотяновская Ю.В. Геоэкологические закономерности трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения в карстовом районе / Ю.В. Хотяновская, С.А. Бузмаков, Л.С. Кучин // Географический вестник. – 2023. – № 1 (64). – С. 127-138.

ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ФАКТОРЫ ВНЕДРЕНИЯ ВОДОРОДА В ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

Фалей П. А., Невертович В. Д., студенты

Научный руководитель Кляусова Ю. В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

Анализируются экологические и технологические ограничения хранения и транспортировки водорода в контексте его применения в транспортной отрасли. Рассматриваются основные методы хранения водорода, включая компримирование и криогенное сжижение, а также инфраструктурные решения для его транспортировки. Особое внимание уделяется энергетическим затратам, материалоемкости систем и влиянию логистической цепочки на общую экологическую эффективность водородных технологий.

Ключевые слова: водородная энергетика, хранение водорода, транспортировка водорода, экологическая эффективность, жизненный цикл, декарбонизация транспорта.

Водород рассматривается как один из ключевых инструментов декарбонизации транспортного сектора, поскольку при его использовании в топливных элементах не образуются прямые выбросы углекислого газа. В контексте глобальных климатических целей он позиционируется как энергоноситель, способный обеспечить переход к низкоуглеродной мобильности, особенно в сегментах тяжёлого транспорта, где аккумуляторные технологии сталкиваются с ограничениями по массе и времени зарядки. Однако экологическая эффективность водорода не может оцениваться исключительно по факту отсутствия выбросов при его эксплуатации. Существенное значение имеют процессы хранения и транспортировки, которые формируют значительную часть энергетических затрат и совокупного экологического следа всей системы.

Фундаментальная проблема заключается в физических свойствах водорода. При нормальных условиях он обладает крайне низкой объёмной плотностью энергии, что означает необходимость хранения больших объёмов газа для обеспечения транспортных потребностей [1]. Для сравнения с традиционными жидкими видами топлива требуется либо значительное сжатие газа, либо его перевод в жидкое состояние при криогенных температурах. Эти преобразования требуют существенных энергетических вложений, что автоматически снижает общий коэффициент полезного действия всей цепочки поставок. Если энергия для компрессии или сжижения производится из ископаемых источников, то косвенные выбросы парниковых

газов увеличиваются, и экологическое преимущество водорода частично нивелируется.

Хранение водорода под высоким давлением в настоящее время является наиболее распространённым технологическим решением в транспортной отрасли. Давление до 700 бар позволяет обеспечить приемлемую энергетическую плотность для автомобильных применений. Однако достижение таких параметров требует сложных компрессорных установок и специализированных резервуаров из композитных материалов [2]. Производство этих материалов связано с высокой энергоёмкостью технологических процессов, включая изготовление углеродных волокон и полимерных матриц. Кроме того, эксплуатация систем высокого давления требует строгого контроля герметичности, поскольку водород представляет собой молекулу малого размера, способную проникать через микropоры и дефекты материалов. Это создаёт необходимость в регулярной диагностике и увеличивает материальные и энергетические затраты на обслуживание.

Криогенное хранение жидкого водорода позволяет значительно увеличить его объёмную плотность, однако сопровождается ещё более высокими энергетическими затратами. Для перехода в жидкое состояние водород необходимо охладить до температуры порядка -253 градусов Цельсия. Процесс сжижения относится к числу наиболее энергоёмких операций в водородной логистике [1]. Значительная доля произведённой энергии расходуется уже на этапе подготовки топлива, что снижает суммарную эффективность системы. Дополнительным фактором является неизбежное испарение части жидкого водорода вследствие теплопритока из окружающей среды. Даже при использовании высокоэффективной теплоизоляции полностью исключить потери невозможно. Эти потери приводят к снижению доступного объёма топлива и увеличению эксплуатационных расходов, а также требуют систем управления давлением и регазификации.

Отдельным экологическим и инфраструктурным ограничением является транспортировка водорода на большие расстояния. Теоретически трубопроводный транспорт является наиболее эффективным способом перемещения больших объёмов газа, однако водород обладает свойством вызывать деградацию металлических конструкций, известным как водородная хрупкость. Проникновение атомов водорода в структуру металла снижает его механическую прочность и долговечность [1]. Это означает, что существующие газовые трубопроводы не всегда могут быть использованы без модернизации. Строительство новых магистралей требует значительных капитальных вложений и сопровождается выбросами, связанными с производством стали, бетона и других строительных материалов. Таким образом, развитие водородной инфраструктуры само по себе формирует дополнительный экологический след.

При отсутствии развитой трубопроводной сети водород транспортируется автомобильным или железнодорожным транспортом в специальных контейнерах. Однако из-за низкой объёмной плотности энергии даже при высоком давлении количество перевозимой энергии относительно невелико по сравнению с традиционными жидкими видами топлива. Это приводит к увеличению числа логистических операций, росту транспортных затрат и дополнительным выбросам, если используется техника на основе ископаемого топлива. В международных поставках применяется морская транспортировка, однако она требует сложных криогенных систем или химических носителей водорода, что дополнительно увеличивает энергетические потери в цепочке преобразований.

С экологической точки зрения ключевым инструментом оценки является анализ жизненного цикла. В рамках такого подхода учитываются выбросы на стадии производства водорода, энергетические затраты на его компрессию или сжижение, эмиссии при транспортировке, материалоёмкость инфраструктуры и процессы утилизации оборудования. Если значительная часть энергии, используемой в этих этапах, производится из невозобновляемых источников, то суммарное снижение выбросов может оказаться значительно меньше ожидаемого. Таким образом, реальный экологический эффект водородного транспорта напрямую зависит от источника энергии на всех стадиях цепочки поставок.

Несмотря на перечисленные ограничения, водород сохраняет потенциал для снижения прямых выбросов в транспортном секторе, особенно в тяжёлых и дальнемагистральных сегментах. Однако для достижения устойчивого результата необходима комплексная оптимизация технологий хранения и транспортировки, повышение эффективности компрессорного и криогенного оборудования, развитие устойчивых материалов и интеграция с возобновляемой энергетикой [2]. Только при системном подходе водород может стать действительно экологически эффективным элементом транспортной трансформации, а не просто альтернативным носителем энергии с перераспределёнными экологическими затратами.

Литература:

1. Фролов А. Н., Гончаров Н. П. Водородная энергетика: физико-химические основы и технико-экономические аспекты. - Москва: Наука, 2022. 58-60 с.
2. Королев И. В., Мещеряков С. А. Водородные технологии в энергетике: материалы, системы, экология. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2021. 40-45 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Фарадж Н.А., Салюк Ю.Ю., студенты

Научный руководитель Сидорская Н.В.

**Белорусский государственный университет иностранных языков,
Беларусь**

В статье рассматриваются ключевые аспекты рационального природопользования, его значение для устойчивого развития общества и сохранения природных ресурсов. Показана роль современных технологий в снижении экологической нагрузки и обеспечении устойчивого развития. Особое внимание уделяется концепции устойчивого управления природными ресурсами, которая предполагает баланс между экономическими, социальными и экологическими интересами. Подчеркивается необходимость интеграции принципов рационального природопользования в государственную политику.

Ключевые слова: природопользование, экология, ресурсы, устойчивое развитие, технологии, мониторинг, выбросы, отходы, энергия, загрязнение, эффективность.

Рациональное природопользование является важной составляющей современной экологической политики. Оно представляет собой систему мероприятий, направленных на эффективное использование природных ресурсов, их сохранение и восстановление. В условиях активного развития промышленности и роста потребления ресурсов проблема их рационального использования приобретает особую актуальность.

Под природными ресурсами понимаются все компоненты природы, которые используются человеком: вода, воздух, почвы, полезные ископаемые, растительный и животный мир. Их нерациональное использование приводит к истощению, загрязнению и нарушению экологического равновесия.

Одним из основных принципов рационального природопользования является устойчивое развитие. Оно предполагает удовлетворение потребностей современного поколения без ущерба для будущих поколений. Рациональное природопользование связано с несколькими целями устойчивого развития, но в первую очередь соответствует цели 12: "Обеспечение рациональных моделей потребления и производства". Эта цель направлена на снижение негативного воздействия на окружающую среду, сокращение отходов и эффективное использование ресурсов. Для реализации данного принципа необходимо внедрение современных технических решений и технологий.

Важную роль играет экологический мониторинг. Он представляет собой систему наблюдения за состоянием окружающей среды. С его помощью

осуществляется контроль качества воздуха, воды и почв, а также выявляются источники загрязнения. Технические средства мониторинга включают автоматизированные станции, датчики и лабораторное оборудование.

Ресурсосбережение является ещё одним важным направлением. Оно направлено на снижение потребления природных ресурсов за счёт повышения эффективности их использования. Например, внедрение замкнутых систем водоснабжения позволяет значительно сократить расход воды на предприятиях.

Энергосбережение также имеет большое значение. Использование энергоэффективного оборудования и переход на возобновляемые источники энергии позволяют снизить нагрузку на окружающую среду. Солнечная и ветровая энергия являются перспективными направлениями развития энергетики.

Особое внимание уделяется переработке отходов. В процессе жизнедеятельности человека образуется большое количество отходов, которые загрязняют окружающую среду. Современные технологии позволяют перерабатывать отходы и повторно использовать материалы, что снижает потребность в добыче новых ресурсов.

Для очистки окружающей среды применяются различные технологии. Очистка воздуха осуществляется с помощью фильтров и газоочистных установок. Очистка воды включает механические, химические и биологические методы. Эти технологии позволяют значительно снизить уровень загрязнения.

Эффективность природопользования можно оценить с помощью коэффициента использования ресурсов:

$$K = \frac{Q_{\text{исп}}}{Q_{\text{общ}}}$$

где

$Q_{\text{исп}}$ – количество использованных ресурсов,

$Q_{\text{общ}}$ – общий объём ресурсов.

Важным направлением является цифровизация экологического управления. Создание информационных систем позволяет собирать и анализировать данные об окружающей среде. Это делает управление природными ресурсами более эффективным.

Основопологающим аспектом рационального природопользования является комплексный подход к использованию природных ресурсов. Это означает, что при разработке месторождений полезных ископаемых необходимо учитывать не только экономическую выгоду, но и возможные экологические последствия. Например, добыча полезных ископаемых должна

сопровождаться мероприятиями по рекультивации земель, то есть восстановлению нарушенных территорий.

Рекультивация включает в себя восстановление почвенного слоя, посадку растений и создание условий для возвращения экосистемы к нормальному состоянию. Это позволяет минимизировать вред, наносимый природе, и возвращать земли в хозяйственное использование.

Ещё одним важным направлением является водосбережение. Вода является одним из самых ценных природных ресурсов, и её рациональное использование имеет большое значение. В промышленности внедряются технологии повторного использования воды, очистки сточных вод и снижения потерь при транспортировке. Это позволяет значительно уменьшить потребление пресной воды.

Также большое значение имеет охрана атмосферного воздуха. Основными источниками загрязнения являются промышленные предприятия, транспорт и энергетика. Для снижения выбросов применяются различные технические решения, такие как установка фильтров, переход на экологически чистое топливо и модернизация оборудования.

Современные технологии позволяют значительно снизить уровень загрязнения. Например, использование электромобилей и гибридного транспорта способствует уменьшению выбросов вредных веществ в атмосферу. Кроме того, внедрение «зелёных» технологий становится важным направлением развития экономики.

Отдельного внимания заслуживает проблема изменения климата. Она связана с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере. Рациональное природопользование способствует снижению выбросов углекислого газа за счёт энергосбережения и использования возобновляемых источников энергии.

Большую роль играет экологическое образование и воспитание. Формирование экологической культуры у населения способствует более бережному отношению к природе. Люди начинают осознанно использовать ресурсы, сортировать отходы и участвовать в природоохранных мероприятиях.

Также необходимо отметить значение международного сотрудничества в области охраны окружающей среды. Экологические проблемы носят глобальный характер, поэтому страны взаимодействуют друг с другом для их решения. Разрабатываются международные соглашения и программы, направленные на защиту окружающей среды.

В Республике Беларусь реализуются государственные программы по охране окружающей среды, активно развиваются технологии в области природопользования. Создаются новые методы очистки воды и воздуха, совершенствуются системы мониторинга, внедряются инновационные

решения в промышленности. Особое внимание уделяется снижению уровня загрязнения и сохранению природных ресурсов.

Кроме того, развивается система экологического контроля. Она включает в себя проверки предприятий, анализ выбросов/сбросов и соблюдение экологических норм. Это позволяет предотвращать нарушения и снижать негативное воздействие на окружающую среду.

Перспективным направлением является развитие «зелёной экономики». Она основана на принципах устойчивого развития и предполагает использование экологически безопасных технологий. В рамках данной концепции создаются новые рабочие места, развивается инновационная деятельность и повышается качество жизни населения.

Таким образом, рациональное природопользование является важным условием устойчивого развития общества. Оно требует внедрения современных технологий, повышения экологической культуры и активного участия государства и общества в решении экологических проблем.

Литература:

1. Environmental Information Centre of NAS of Belarus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecoinfo.bas-net.by/exhibition/2015/books-articles-environmental-management.html> – Дата доступа: 08.04.2026.
2. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by> – Дата доступа: 08.04.2026.
3. Environmental Performance Review: Belarus. – Geneva: UNECE, 2016.
4. Fifth National Communication of the Republic of Belarus. – Bonn: UNFCCC, 2017.
5. Вавилов, А.В. Топливо из нетрадиционных энергоресурсов / А.В. Вавилов. – Минск: СтройМедиаПроект, 2014. – 80 с.
6. Головатый, С.Е. Влияние содержания натрия и хлора на урожайность / С.Е. Головатый // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – №1. — С. 148–156.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ (СВИНЦОМ, ЦИНКОМ) ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Фоменкова С. Н., Шадурко В. К., студенты

Научный руководитель Клясова Ю. В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной работе представлены общие методы оценки загрязнения окружающей среды (почвенного покрова и поверхностных вод) тяжелыми металлами – свинцом и цинком; раскрываются причины загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, описываются современные методы по предотвращению загрязнения тяжелыми металлами (свинцом, цинком).

Ключевые слова: тяжелые металлы, свинец, цинк, экосистема, морские воды, биологические пробы, выбросы, мониторинг окружающей среды, методы оценки загрязнения, экологический риск.

Сегодня проблема загрязнения природы становится всё острее. По мере того, как растёт число заводов и городов, нам всё важнее контролировать, сколько опасных веществ, особенно тяжелых металлов, попадает в окружающую среду. В качестве критериев классификации тяжелых металлов используются различные показатели: плотность (более 8 г/см^3), атомная масса (свыше 50 атомных единиц), токсичность, степень вовлеченности в природные и техногенные циклы [1].

Тяжелые металлы, такие как свинец и цинк, широко распространены в природной среде, однако их концентрация часто превышает допустимые нормы. Причинами данной ситуации могут послужить:

1) промышленные выбросы (множество отраслей (к примеру: горная добыча, металлургия и др.) выбрасывают в атмосферу и поверхностные воды значительное количество тяжелых металлов в процессе разработки, переработки и утилизации);

2) сельское хозяйство (использование удобрений, содержащих тяжелые металлы, а также нецелесообразное управление отходами сельского хозяйства может привести к накоплению этих элементов в почве и воде);

3) неправильная утилизация отходов (образование и накопление мусорных отходов в непредназначенных на то местах, и недостаточная переработка электронных и бытовых отходов могут привести к накоплению тяжелых металлов в экосистеме);

4) транспорт и дорожное строительство (выбросы от автомобилей, особенно при использовании старых машин с неэффективными системами очистки выхлопных газов, а также при строительстве и ремонте

дорог способствовать загрязнению окружающей среды свинцом и другими металлическими соединениями);

5) естественные источники (влияние тяжелых металлов может быть связано с природными процессами, такими как выветривание горных пород, где в составе минералов находятся свинец и цинк).

Выбор оптимального метода анализа содержания тяжелых металлов напрямую зависит от свойств определяемых элементов. В таблице 1 представлены ключевые характеристики цинка и свинца, значимые для идентификации и количественного определения в экосистемах [2].

Таблица 1 – Характеристики цинка и свинца

	Цинк	Свинец
Свойства	Плотность - 7.134 г/см ³ Порядковый номер - 24, серебристый металл с синим оттенком, добывается из цинковой обманки (сфалерита)	Плотность - 11.3 г/см ³ Порядковый номер - 37, мягкий тусклый серебристый металл, добывается из галенита
Использование	Гальванизация, производство оружия, электрического оборудования, батарей, текстиля, каучука и тд.	Производство инсектицидов, листов экрана компьютера для защиты от радиации, боеприпасов и снарядов, покрытия кабелей спортивного оборудования, кровли зданий
Основные источники поступления	Цветная и черная металлургия, гальваническое и лакокрасочное производство, коммунально-бытовые отходы	Выбросы плавильных заводов, транспорт, сжигание топлива, строительство и бытовые отходы

Поскольку, загрязнение окружающей среды, в самом широком смысле этого понятия, один из важнейших факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество жизни населения, то следует отметить инструменты, позволяющие оценить уровень неблагоприятного воздействия.

Таковыми инструментами служат методы, которые обеспечивают низкие пределы обнаружения для химических элементов.

Следует перечислить и разъяснить некоторые методы:

1. Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС) – это метод, который часто используется в лабораториях для определения элементов, особенно если их содержание очень низкое. С помощью ААС можно изменять условия измерения для каждого элемента, чтобы достичь наилучших результатов. Выделяют два варианта ААС: с пламенной и электротермической (ЭТ) атомизацией. Обычно в ЭТААС границы обнаружения ниже, чем в пламенной версии, потому что температура в первом случае выше. Метод ЭТААС успешно применяются для определения тяжелых металлов в растениях, морских водах и образцах сельского хозяйства, а также в биологических пробах. Существует также другой способ атомизации, называемый двухстадийной зондовой атомизацией. Этот метод помогает уменьшить помехи и позволяет анализировать образцы без сложной подготовки или с минимальными затратами времени.

2. Электрохимические методы – связаны с использованием электролитических ячеек. Как и в случае ААС электрохимические методы используют в одноэлементном варианте. Природа электроактивного вещества определяет потенциал окисления или восстановления, поэтому селективность электрохимических методов может быть повышена правильным выбором потенциала электрода. Методы анализа весьма специфичны, часто отсутствует необходимость предварительного разделения компонентов, поэтому методы характеризуются высокой экспрессностью. Среди электрохимических методов можно выделить инверсионную вольтамперометрию (ИВА), которая показала высокие аналитические характеристики при определении тяжелых металлов в природных объектах, в растительном сырье, в биологических пробах.

3. Методы анализа, которые чаще всего применяются в лабораториях – атомно-эмиссионная спектроскопия (АЭС) и масс-спектрометрия (МС). Эти методы позволяют одновременно определять много элементов в образцах, хотя иногда их тоже используют для выявления отдельных примесей. Большинство научных работ, использующих эти методы, основываются на спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП). Это связано с тем, что ИСП имеет множество преимуществ: она позволяет одновременно анализировать много элементов, обладает высокой точностью и надежностью, а также есть много качественных приборов для анализа.

4. Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) – это метод, позволяющий проводить неразрушающий анализ как твердых, так и жидких образцов. Синхротронное излучение, применяющее для возбуждения рентгеновской флуоресценции, обладает рядом уникальных свойств – высокая яркость, малая расходимость пучка, линейная поляризация. Все это позволяет успешно применять метод РФА СИ для исследования сложных биологических, геологических объектов и объектов окружающей среды.

5. Методы, основанные на радиоактивности. Среди них можно выделить группу методов, основанной на радиоактивации, в том числе активации нейтронами – нейтронно-активационный анализ (НАА). Достоинствами активационного анализа являются высокая, иногда даже рекордная чувствительность. Активационный анализ активно используют при анализе объектов различной природы [3].

Современные технологии и научные достижения открывают новые горизонты для более точной и эффективной оценки загрязнения. Однако, несмотря на достижения науки, ключевым останется ответственный подход к использованию ресурсов и соблюдение экологических норм. В ходе работы были рассмотрены и проанализированы основные аспекты проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, в частности свинцом и цинком. Возможности современных методов анализа при определении тяжелых металлов зачастую зависят от свойств изучаемого элемента. Таким образом, выбор оптимальной методики для исследования основывается на требуемых пределах обнаружения, природе данного образца и присутствии иных элементов. Дальнейшее развитие систем экологического мониторинга позволит своевременно выявлять источники загрязнения и минимизировать ущерб окружающей среде и здоровью населения.

Литература:

1. Дьякова, Н. А. Фармацевтическая экология : учебник для вузов / Н. А. Дьякова, С. П. Гапонов, А. И. Сливкин. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 288 с. — ISBN 978-5-507-52658-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/456938> (дата обращения: 24.02.2026).

2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ / Б. И. Асроров, В. I. Asrorov, Б. И. Асроров [и др.] // Вестник Таджикского национального университета. Серия Естественных Наук / Паёми Донишгоњи миллии тољикистон. Бахши Илмҳои Табиӣ. — 2021. — № 2. — С. 166-186. — ISSN 2413-452X. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/341414> (дата обращения: 24.02.2026).

3.Цыганкова А.Р., Гуляев С.А., Адаменко Л.С., Шестопалов М.А. Методы анализа и мониторинга тяжелых металлов в окружающей среде // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 2. С. 131-146. DOI: 10.18470/1992-1098 2024-2-12.

АДАПТАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ К УСЛОВИЯМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Цзин Ч., магистрант

Научный руководитель Бельская Г.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье систематизированы междисциплинарные исследования о роли гидросферы, её свойствах, функциях, влиянии изменения климата на водные ресурсы мира и стратегиях адаптации, что критически важно для устойчивого развития и эффективного управления происходящими процессами.

Ключевые слова: гидросфера, пресноводные ресурсы, изменение климата, экосистемный подход, управление водными ресурсами, адаптация.

Гидросфера – это совокупность всех форм воды на Земле в жидком, твёрдом и газообразном состояниях. Это динамичная оболочка, взаимодействующая с атмосферой, литосферой и биосферой, влияющая на глобальный энергетический баланс, климат и рельеф. Общий объём воды на Земле составляет 1,386 млрд км³, при этом пресная вода составляет всего 2,5%, из них 68,7% заморожено в ледниках, 30,1% составляют подземные воды, легко доступные поверхностные пресные воды – менее 1,2% [1].

Современное глобальное потепление ускоряет круговорот воды в окружающей среде, поскольку атмосфера удерживает на 7% больше влаги на каждый °C потепления, усиливая водный режим территорий по принципу - «влажные - влажнее, сухие - суше» [2]. Растёт частота экстремальных наводнений и засух. Деградация криосферы (ледники, вечная мерзлота) изменяет сток рек, высвобождает парниковые газы (метан, оксиды азота) и другие загрязнители [3]. Повышение температуры поверхностных вод понижает концентрацию растворённого кислорода, что усиливает размножение сине-зеленых водорослей, приводя к автотрофикации водоемов. Повышение уровня морей и океанов вызывает засоление прибрежных водоносных горизонтов [1,4].

Климатическое потепление приводит к интенсивному таянию ледников в Гренландии, Антарктиде и Гималаях и повышению уровня моря, что создает угрозу водной безопасности [3]. Глобальное перепотребление подземных вод истощает крупные водоносные горизонты в мире (Северо-Китайская равнина, штат Калифорния США, Индия), вызывая проседание грунта и инвазию морской воды [2,5,6].

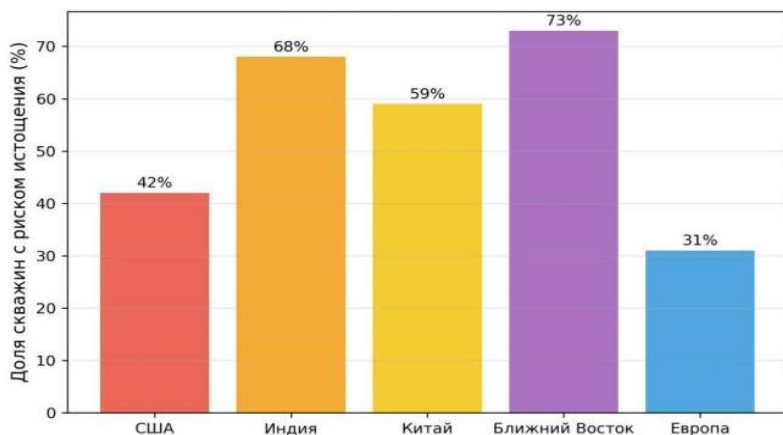


Рисунок 1 – Глобальный риск высыхания подземных водных скважин

Критическая ситуация сложилась на Ближнем Востоке, Индии и Китае, где доля скважин с высоким риском истощения пресной воды в 2021 г. составила 48% - 73%. Относительно благополучное положение сохраняется в Европе, где этот показатель составил меньше трети от количества действующих скважин. В настоящее время разработана и доминирует концепция «планетарных границ», которая включает использование пресной воды как ключевого лимитирующего фактора, с учетом экспоненциального роста численности людей (Рисунок 2).

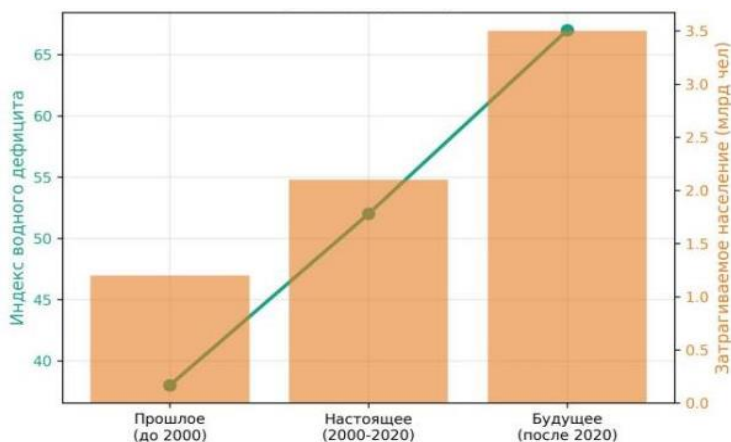


Рисунок 2–Оценка водного дефицита: прошлое, настоящее, будущее

Как видно из Рис.2, индекс водного дефицита в настоящее время составляет 0,52. При сложившейся демографической ситуации, этот показатель может возрасти до 0,75 к 2040 г. Эта концепция подчёркивает необходимость устойчивого управления ресурсами «голубой» и «зелёной» воды [1] по странам мира, с учетом теории лимитирующих факторов.

Управление водными ресурсами в Китае

1) *Водопользование и эффективность.* В 2021–2025 гг. общий объём водопользования в Китае стабилизировался на уровне 610 млрд м³. В 2024 г. он составил 592,8 млрд м³ [7]. Эффективность водопользования за этот период выросла: удельное потребление на ВВП снизилось на 17,7% (по сравнению с 2020 г.), с.-х. коэффициент достиг 0,580 [8]. Эта положительная тенденция достигнута благодаря проводимым мероприятиям по управлению водными ресурсами.

2) *Политика и система управления водопользованием* состоит в строжайшем управлении водными ресурсами с «тремя красными линиями»: контроль объёма запасов пресной воды, эффективность использования на разные цели, контроль уровня загрязнения [9]. С 2024 г. действует «Положение об экономии воды» [7]. Реализуется принцип «четыре определения по воде» - для урбанизированных территорий, сельскохозяйственных угодий, жилищно-коммунального потребления, промышленного производства. Вышеописанная модель полностью реализована и функционирует в провинции Нинся [9].

3) Борьба с пере-эксплуатацией подземных вод

Северо-Китайская равнина – это регион с критическим истощением подземных вод: за 1959–2020 гг. перепотребление здесь составило 162,5 км³ [6]. Выполнение мер по «экономии, контролю, замене, пополнению, управлению» с использованием вод из проекта «Юг-Север» остановили деградацию, восстановив уровни грунтовых вод в мегаполисах Пекине, Тяньцзине и Хэбэе [6]. Остаются существенными вызовы в виде климатической неопределённости и некоторых нерешенных инфраструктурных пробелов.

4) Национальная водная сеть

Выполнение стратегического проекта «Юг-Север» обеспечило более равномерное распределение водных ресурсов в южной и северной частях Китая. По линиям проекта перебросили более 87 км³ воды, обеспечив 195 млн человек питьевой водой необходимого качества [7]. Развивается интеллектуальная водохозяйственная система на основе цифровых двойников [10].

Таким образом, глобальное потепление климата существенно нарушает гидрологические системы, угрожая количеству и качеству пресных вод^[11] Стратегии адаптации водных объектов должны базироваться на экосистемно

ориентированные решения, включая восстановление болот и лесов [4], с использованием бассейнового подхода в регулировании речных стоков. Водоохранные мероприятия должны включать интегрированное управление, т.е. сочетание технических (инженерных) и организационных мер, трансграничное сотрудничество и системы раннего предупреждения [4, 9].

Литература

1. Liu J. et al. Оценка дефицита воды в прошлом, настоящем и будущем. *Earth's Future*. 2017. 5(6). 545–559.
2. Famiglietti J.S., Ferguson G. The hidden crisis beneath our feet. *Science*. 2021. 372(6540). 344–345.
3. Hugonnet R. et al. Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature*. 2021. 592(7856). 726–731.
4. Du J. et al. Groundwater depletion in Северо-Китайская равнина: проблемы и решения. *Water*. 2024. 16(2). 354.
5. Rockström J. et al. Safe and just Earth system boundaries. *Nature*. 2023. 619(7968). 102–111.
6. Дин Юэюань и др. Концепция комплексного управления истощением подземных вод Северного Китая. *Китайская гидротехника*. 2020. 13. 22–25.
7. Ван Гоцин и др. Пространственно-временная эволюция водных ресурсов Китая за 2015–2024 гг. *Прогресс в водных науках*. 2025. 36(6). 949–958.
8. Ма Хайлян и др. Влияние новой производительности на эффективность водопользования. *Наука о ресурсах*. 2025. 47(3). 485–500.
9. Ван Хао и др. Стратегия «четырёх определений по воде» для северных регионов. *Жёлтая река*. 2025. 47(2).
10. Ван Цзяньхуа, Лу Чуюй. Техническая система управления истощением подземных вод Северного Китая. *Китайская гидротехника*. 2020. 13. 19–21.
11. Сю Цзюцзюнь и др. Экологическая эффективность центральной линии проекта «Юг-Север». *Журнал института*. 2025. 42(9). 34–41.

УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ

**Шайхалиев И.Л. учащийся лицея №145, г. Казань
Научный руководитель Мингазетдинов И.Х.,
«Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ) Россия**

В статье раскрывается конструктивное описание устройства, способного очищать загрязненный нефтью грунт.

Ключевые слова: Нефтяное загрязнение, рекультивация почв, барботаж, поверхностно-активные вещества, фильтрация, суспензия, илам, нефтезагрязненные грунты, очистка, пеносборник.

Нефть, попадая в почву, опускается вертикально вниз под влиянием гравитационных сил и распространяется вширь под действием поверхностных и капиллярных сил. Скорость продвижения нефти зависит от ее свойств, грунта и соотношения нефти, воздуха и воды в многофазной движущейся системе.

Первостепенное значение при этом имеют тип нефти, ее количество, характер нефтяного загрязнения. Чем меньше доля нефти в такой системе, тем труднее ее фильтрация (миграция) в грунте. Выживаемость растений в загрязненных нефтью почвах зависит от глубины проникновения корней. Нефтяное загрязнение разрушает структуру почвы, изменяет ее физико-химические свойства: резко снижается водопроницаемость, увеличивается соотношение между углеродом и азотом (за счет углерода нефти), что приводит к ухудшению азотного режима, нарушению корневого питания растений. Первоначальное относительно слабое загрязнение почвы нефтью снижает количество микроорганизмов. Восстановление численности микроорганизмов наблюдается через 6 мес. В это время компоненты нефти используются микроорганизмами в качестве продуктов питания. Однако интенсивный рост микроорганизмов обедняет почву соединениями азота и фосфора и в дальнейшем может сыграть роль лимитирующего фактора, если учесть, что в почвах, загрязненных нефтью, с самого начала отмечается дефицит азота. Загрязнение почвы нефтью может оказать пагубное влияние на человека через пищевые цепи.

Так как нефть сейчас является одним из самых важных ресурсов в наше время, и, как следствие, разработка нефтяных месторождений идет в огромном количестве, загрязнение нефтью грунта является одним из самых актуальных экологических проблем.

Для решение этой проблемы предложено устройство для очистки нефти и рекультивации почвы (Рис.1).

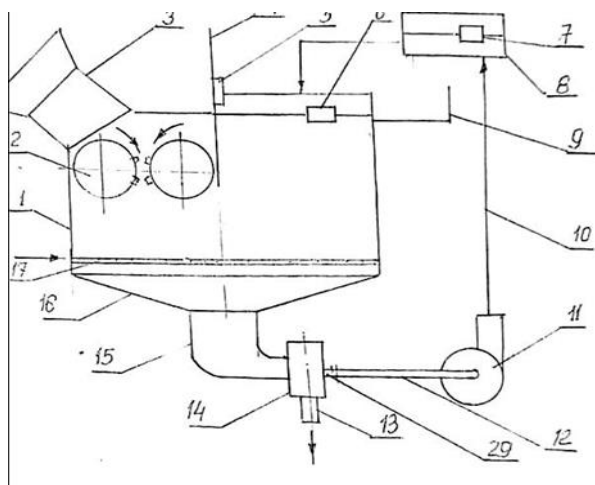


Рисунок 1 – Общий вид устройства

Устройство работает следующим образом:

Загрязненный нефтью грунт загружается в емкость. Емкость содержит зубчатые валки дробления. Благодаря ним осуществляется измельчение грунта и удаление крупных и грубых комков грунта. Далее грунт поступает к нижнему коническому днищу. Одновременно с подачей грунта, в барботражное устройство начинает поступать пар и из переливного бочка начинает поступать горячая промывная жидкость, содержащее моюще-расслаивающее средство (ПАВ).

На поверхности жидкости есть поплавков, который связан с регулятором уровня, регулирующим подачу моюще-расслаивающей жидкости в емкость в зависимости от уровня жидкости. При воздействии пара и ПАВ начинает образовываться суспензия. За счет барботаж и высокой температуры частицы нефти поднимаются вверх, образуя слой пены. Этот слой пены сдувается в пеносборник сжатым воздухом, подающегося из щелевого сопла. Щелевое сопло установлено на перегородке.

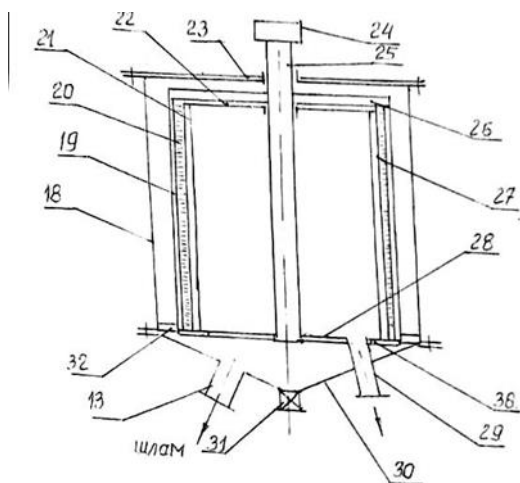


Рисунок 2 – Общий вид фильтра

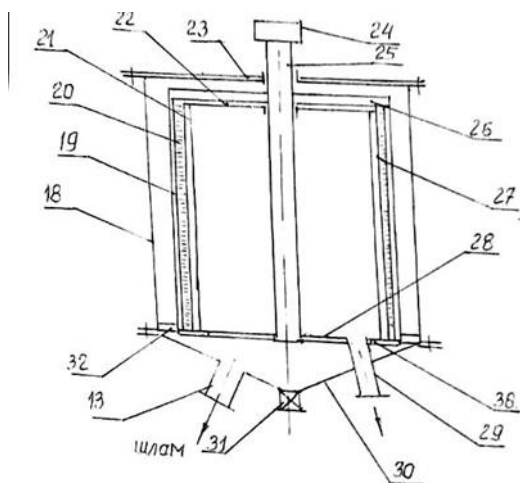


Рисунок 3 – узел вращения

Суспензия через магистраль отвода при помощи насоса попадает в фильтр. Патрубок подачи расположен тангенциально к корпусу фильтра, что создает закручивание потока в корпусе фильтра.

Под воздействием давления суспензия начинает расслаиваться на фракции. Жидкая фракция проходит через сетчатый фильтр, поступает во внутреннюю полость и отводится через патрубок, расположенный в нижнем диске фильтра. Затем эта жидкость при помощи насоса через магистрали вновь поступает в переливной бочок, чем обеспечивается циркуляция жидкости. При необходимости в переливной бочок добавляется ПАВ.

Твердая фракция не проходит через сетку, налипая на нее, мешая прохождению жидкости. Для постоянной регенерации фильтра, необходимо удалять залипшую фракцию. Для этого фильтр обеспечен вращающейся щеткой, выполненная в виде винтового скребка, закрепленного на винтовой решетке.

Вращение скребка обеспечивается за счет узла вращения, который одновременно вращает вал и через конические шестерни, сателлиты и цепную передачу обеспечивает вращение зубчатых волков в противоположных направлениях, навстречу друг другу.

Налипшая на фильтровальную сетку твердая фракция в виде шлама винтовым скребком поступает в патрубок и удаляется из установки.

Литература:

1. Технологические процессы экологической безопасности: основы энвайронменталистики: учебник для студентов технических и технологических специальностей. — 3-е изд., перераб. и доп. — Калуга : Издательство Н. Бочкаревой, 2000. — 800 с. — С. 586–592.

2. Установка для очистки нефтезагрязненных грунтов : пат. G02F 1/40 (2006.01) Рос. Федерация / Шайхалиев И.Л., Мингазетдинов И.Х. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ». — № 2024123456 ; заявл. 10.01.2024 ; опубл. 15.06.2025, Бюл. № 6. — 8 с.

ВЛИЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ВНИМАНИЯ ЛЮДЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ ОСНОВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Шакаль В.В., студент

Научный руководитель Сидорская Н.В.

**Белорусский государственный университет иностранных языков,
Беларусь**

В статье рассматривается влияние информационного загрязнения на концентрацию внимания людей с различной основной деятельностью, с фокусом на студенческую аудиторию и их родителей. Исследование базируется на сравнительном анализе привычек потребления информации студентами и их родителями, а также на результатах опросов, проведенных среди обеих групп. Уделено внимание тому, как различия в основном виде деятельности (учеба и работа) сказываются на способностях к концентрации и управлению вниманием. Статья обращает внимание на необходимость разработки стратегий для улучшения качества жизни и повышения эффективности работы с информацией.

Ключевые слова: информационное загрязнение, концентрация внимания, студенты, родители, основная деятельность, когнитивная нагрузка, информационная перегрузка.

В современном мире люди потребляют информацию из разных источников и в разных формах, например, в деловом общении и неформальном, в устной и письменной форме, в цифровом и напечатанном виде [1]. Развитие технологий и доступности информации для каждого человека привели к появлению такого явления, как информационное загрязнение, влияние которого может проявляться в психической утомляемости, стрессе, невозможности сконцентрироваться, ошибках в принятии решений и снижении работоспособности. Все это является неотъемлемой частью нашей жизни, что делает изучение влияния информационного загрязнения актуальной темой для исследований. Данная статья посвящена исследованию влияния информационного загрязнения на концентрацию людей с различной основной деятельностью. Задача исследования – выявить, наблюдают ли студенты и их родители влияние потока информации на концентрацию своего внимания во время учебы либо работы.

Информационное загрязнение – это распространение негармоничной, хаотичной, разрушительной информации, которая действует на людей главным образом через зрительные и слуховые органы. Этот вид загрязнения затрудняет поиск полезной информации и перегружает внимание человека. В статье Т. Рахфалла [1] упоминается, что многие люди называют

информационное загрязнение информационной перегруженностью, но из-за распространенности влияния данного явления в различных сферах жизни человека и общества существуют и другие названия: «Информационный поток, информационный смог, сенсорная перегрузка, информационный взрыв, когнитивная перегрузка, информационная нагрузка, информационный избыток, перегрузка знаниями, перегрузка данными, взрыв данных, когнитивная нагрузка». В работе Дж. Бьюкенена и Н. Кока [2] был использован еще один термин – «синдром информационной усталости». Исследование Э. Офира, К. Нассба и Э. Д. Вагнерца [3] было направлено на экспериментальное сравнение когнитивных способностей людей с высоким и умеренным уровнями многозадачности («heavy media multitaskers» и «light media multitaskers» соответственно), которое выявило, что «люди, активно использующие различные медиаресурсы, более восприимчивы к помехам от посторонних внешних стимулов и от неуместных представлений в памяти». М. Пренски в своей статье [4] представил два термина: «цифровые аборигены» и «цифровые иммигранты». Первые были рождены в цифровую эпоху и являются «носителями цифрового языка компьютеров, видеоигр и Интернета», а вторые – «находятся в процессе изучения нового языка», сохраняя старый акцент.

В ходе исследования основным методом сбора эмпирических данных выступило онлайн-анкетирование среди студентов первого курса факультета английского языка Белорусского государственного университета иностранных языков и их родителей. Опрос проходил онлайн и состоял из семи вопросов с предоставленными ответами. Выборка составила 10 ответов студентов и 10 ответов родителей.

С помощью количественного частотного анализа было выявлено, что 50% студентов ежедневно проводят в телефоне от 6 до 8 часов, в то время как 50% родителей тратят на это менее 2 часов. Ответы на второй вопрос анкетирования показали, что студенты либо иногда (50%), либо очень часто (50%) проверяют телефон во время учебы и выполнения домашних заданий. Ответы родителей оказались более разнообразными: 40% респондентов очень часто переключают свое внимание на телефон во время выполнения выполнения рабочих задач, а 40% – редко, 20% – иногда. На вопрос «трудно ли вам концентрироваться на учебных заданиях/работе» большинство студентов ответили «иногда» (60%), родители – «иногда» (40%), «редко» (30%), «нет» (30%). Интересно, что половина студентов, принявших участие в опросе, считают, что социальные сети и Интернет сильно отвлекают их от учебы, в то время как 30% ответили «почти нет». Среди родителей 50% в этом же вопросе проголосовали за «почти нет», а 20% – за «совсем нет». Наконец, большинство студентов (60%) пытаются ограничить использование телефона

во время учебы и им это помогает, тогда как большинство родителей (80%) никогда не пробовали сделать этого.

Участникам анкетирования был задан вопрос «Какие источники информации чаще всего вызывают у вас чувство перенасыщения или усталости?», где у них была возможность вписать свои ответы. Анализ ответов показал, что для родителей это новости и медиа, а для студентов – социальные сети, мессенджеры (чаты, уведомления), учебная нагрузка, а также бесконечные, бессмысленные разговоры. На основе полученных данных можно сделать вывод, что концентрация внимания у студентов больше подвержена влиянию информационного потока во время учебы. Возможно, это так, потому что они относятся к «цифровым аборигенам», а родители – к «цифровым иммигрантам» [3], на что также указывает их экранное время. Было отмечено отрицательное влияние социальных сетей и Интернета на концентрацию у студентов, что свойственно людям с высоким уровнем многозадачности [2], родителям же удается оставаться сфокусированным на рабочих задачах – умеренный уровень многозадачности.

В дальнейшем данное исследование может быть продолжено с целью выявления более конкретных сходств и отличий во влиянии информационного загрязнения на разные поколения, возраста, разные сферы деятельности, а также нахождение, сравнение и уточнение уже существующих способов борьбы с информационной нагрузкой.

Литература:

1. Rachfall, Th. The impact of Information Overload on individual stress feelings of management accountants / Th. Rachfall, D. Forster-Trallo, E. A. Williamson, B. Temple // Conf. Bud. – 2015. – URL: https://www.researchgate.net/publication/297174416_The_impact_of_Information_Overload_on_individual_stress_feelings_of_management_accountants (дата обращения: 14.03.2026)
2. Buchanan, J. Information Overload: A Decision Making Perspective / J. Buchanan, N. Kock // Ec. and Math. Syst. – 2001. – URL: https://www.researchgate.net/publication/278651352_Information_Overload_A_Decision_Making_Perspective (дата обращения: 15.03.2026)
3. Ophir, E. Cognitive control in media multitaskers / E. Ophir, C. Nass, A. D. Wagner // Ph. and Cong. Sc. – 2009. – URL: <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.0903620106> (дата обращения: 21.03.2026)
4. Prensky, M. Digital Natives, Digital Immigrants Part 1 / M. Prensky // Em. Ins. – 2009. – URL: https://cddoc.uc.cl/wp-content/uploads/2020/03/Digital_Natives_Digital_Immigrants.pdf (дата обращения: 21.03.2026)

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА К ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РАЗВЕДЕНИЮ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Шарафутдинова Л.Ф., магистрант

Научный руководитель Гоголь Э.В.

«Казанский национальный исследовательский

технический университет и.м. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ)

В условиях глобального экологического вызова в виде рисков изменения климата, являющихся угрозой для устойчивого развития, экологический менеджмент организаций фокусируется на методологии управления рисками.

Ключевые слова: экологический риск-менеджмент, крупный рогатый скот (КРС) в Республике Татарстан, процессный подход.

Эффективный экологический менеджмент предприятия обеспечивает баланс внутренних и внешних факторов за счет системного подхода и его постоянного улучшения, позволяет снизить экологические риски и штрафные санкции за их реализацию. В российской литературе параллельно с термином «экологический менеджмент» употребляются термины «управлением качеством окружающей среды» или «экологическое управление», при этом экологический менеджмент и экологическое управление отличны в целях и способах осуществления природоохранных мероприятий. Производственное экологическое управление представляет собой первую ступень готовности предприятия к решению проблем экологической безопасности, прежде всего в рамках выполнения требований действующего законодательства, несоответствие которым влечет за собой штрафные санкции и административную ответственность. Экологический менеджмент является следующим этапом, который нацелен на разработку и внедрение процессов уменьшения негативного воздействия на окружающую среду и предупреждающий действий, которые невозможно имитировать или фальсифицировать. Основой этого этапа является риск-менеджмент процессов с точки зрения экологической безопасности (включая стратегическое планирование). При этом экологический менеджмент проводится на добровольной основе. Таким образом, соблюдение экологического законодательства гарантирует высокую результативность, а внедрение процессов, направленных на безопасное взаимодействие с окружающей средой – эффективное экологическое обеспечение предприятия. Методология внедрения экологического менеджмента на предприятиях КРС в Татарстане

включает: идентификацию экологических рисков, визуализацию карт процессов и нормативно-правовое обоснование природоохранной деятельности. Краткая схема внедрения риск-менеджмента в системе экологического обеспечения предприятия КРС в РТ представлена на рис.1. Идентификация и матрица экологических рисков представлены в таблицах 1 и 2.

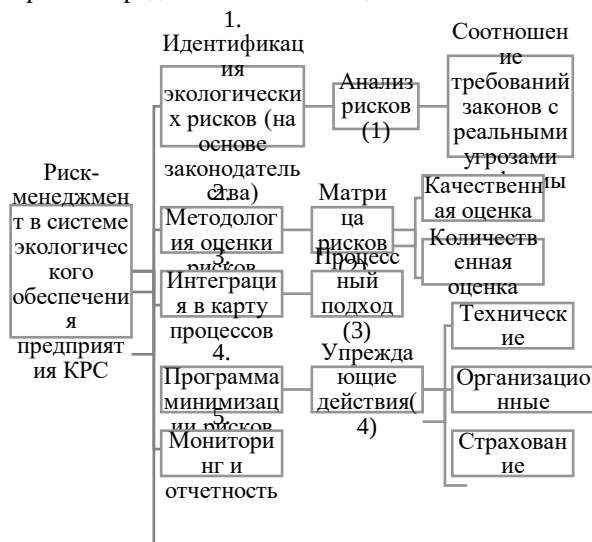


Рисунок 1 – Схема внедрения риск-менеджмента в системе экологического обеспечения предприятия КРС в РТ

Ключевые факторы воздействия предприятия на окружающую среду включают в себя вклад в парниковый эффект (нарушение технологий хранения кормов добавляет до 1% к общему углеродному следу), распространение запахов и биоаэрозолей из сенажных траншей. При этом качество снижение уровня рН за счет активности молочнокислых бактерий блокирует деятельность газообразующих микроорганизмов, что позволяет напрямую минимизировать объем вредных выбросов в атмосферу.

Карта процесса (рис.2) в системе экологического менеджмента (СЭМ) визуализирует путь от «входа» (ресурсов) до «выхода» (результата и воздействия), учитывая нормативные требования и риски с использованием методологий IDEF0 и SIPOC, позволяющих рассматривать природоохранное законодательство не как внешний барьер, а как управляющее воздействие, минимизирующее риски на этапе планирования.

Упреждающие действия включают в себя техническую модернизацию в соответствии с требованиями [12], что подразумевает строительство

специализированных площадок с твердым покрытием (бетонным или глиняным не менее 20 см) и внедрение систем разделения навоза на фракции для исключения загрязнения среды согласно [4].

Таблица 1 –Идентификация экологических рисков сенажных траншей

Этап процесса / Объект воздействия	Экологический аспект (Источник риска)	Нормативно-правовое обоснование (Закон)	Последствия для предприятия (Риски)
Атмосферный воздух (Выбросы)	Выделение аммиака, метана, сероводорода при брожении и выемке корма.	[5,6]	Штрафы по ст. 8.21 [7]; иски от населения Республики Татарстан на неприятные запахи;
Почва и земли (Фiltrация)	Просачивание агрессивного фильтрата (рН 3.5–4.5) через трещины в бетоне или на рельеф.	[8,9]	Порча земель, уничтожение микрофлоры почвы. Иски о возмещении вреда почвам.
Водные объекты (Стоки)	Попадание фильтрата в грунтовые воды или ливневую канализацию при обильных осадках.	[10]	Загрязнение водоносных горизонтов. Уголовная ответственность по ст. 250 [12] (в случае массовой гибели водных биоресурсов).
Обращение с побочными продуктами	Неправильная классификация остатков подпорченного сенажа (верхний слой).	[12,13]	Если остатки не оформлены как побочный продукт, они признаются отходами IV класса. Штраф по ст. 8.2 [7] за нарушение правил обращения с отходами.
Биологическая безопасность	Развитие патогенной микрофлоры и плесневых грибов при нарушении герметичности.	[14]	Риск отравления скота, падеж поголовья КРС. Карантинные санкции и запрет на реализацию продукции животноводства.

Для минимизации финансовых рисков применяется экологическое страхование ответственности на случай аварийных ситуаций [9], что критически важно для крупных агрохолдингов региона с целью защиты от крупных штрафов за негативное воздействие на окружающую среду.

Внедрение принципов экологического менеджмента, основанное на процессном подходе и использовании матрицы рисков, трансформирует систему природопользования предприятий КРС Республики Татарстан из статьи расходов в инструмент повышения инвестиционной привлекательности.

Таблица 2 – Матрица рисков

Риск (источник выбросов)	Вероя тность (1–5)	Тяжес ть (1–5)	Уровень риска	Последствия для атмосферы	Меры минимизации
Анаэробное брожение (метан)	5	2	10 (Средний)	Вклад в глобальное потепление; накопление газов под пленкой.	Использование биоконсервантов (L. plantarum) для ускорения закисления.
Аэробная порча (при открытии траншеи)	4	3	12 (Средний)	Выделение тепла и летучих орг. соединений, потеря питательности.	Высокая плотность трамбовки (>200 кг СВ) и быстрый забор корма.
Эмиссия аммиака	3	4	12 (Средний)	Резкий запах, раздражение слизистых персонала, закисление осадков.	Контроль содержания протеина и влажности; своевременная герметизация.
Вторичная ферментация (м асляная кислота)	2	4	8 (Средний)	Выброс метана и сероводорода при гниении влажной массы.	Не допускать влажности выше 65% при закладке сенажа.
Выхлопные газы техники	4	2	8 (Средний)	Выбросы NO ₂ и сажи при длительной работе тракторов-трамбовщиков.	Регулярное ТО техники; оптимизация логистики подвоза массы.

Детальное картирование процессов в сочетании с качественной оценкой угроз позволяет идентифицировать скрытые экологические риски на этапах хранения кормов и обращения с навозом, обеспечивая строгое соответствие требованиям нормативно-правовых актов. Использование риск-ориентированной модели в условиях высокой плотности застройки региона дает возможность превентивно управлять экологической нагрузкой, гарантируя соблюдение санитарных зон и сохранение биопотенциала почв. В конечном итоге, интеграция цифрового мониторинга и «зеленых» технологий подтверждает свою экономическую эффективность, обеспечивая окупаемость затрат за счет минимизации штрафных санкций и оптимизации экологических платежей в аграрном секторе РТ.

Литература:

1. Хабибуллин, Р. Э. Экологический менеджмент в агропромышленном комплексе Республики Татарстан : учебное пособие / Р. Э. Хабибуллин. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2021. – 156 с.
2. Давлетшин, А. Н. Экологический менеджмент в аграрном секторе экономики Республики Татарстан [Текст] / А. Н. Давлетшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. — № 2 (62). – С. 112–117.

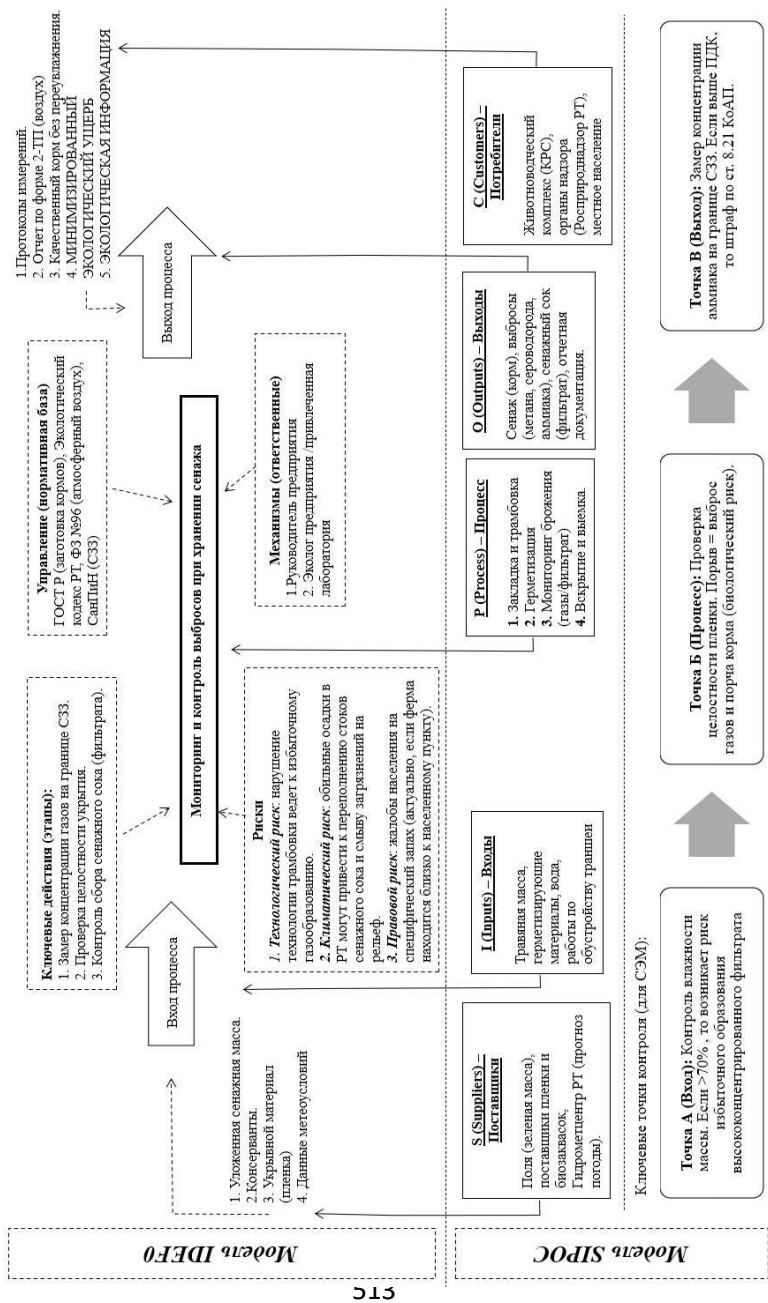


Рисунок 1 –Схема внедрения плана экологического обеспечения предприятия с применением принципов экологического менеджмента

3. Шайхутдинов, Ф. Г. Проблемы и перспективы «цифрового животноводства» в РТ [Текст] / Ф. Г. Шайхутдинов // Аграрный вестник Поволжья. – 2022. – № 4. – С. 45–51.

4. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений: Официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru), 2021. – 5 февр. – № 0001202102050027.

5. Российская Федерация. Законы. Об охране атмосферного воздуха : федер. закон от 04 мая 1999 г. № 96-ФЗ : [в ред. от 13 июня 2023 г.] // Собрание законодательства РФ. – 1999. – № 18. – Ст. 2222.

6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов : Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы : утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 25 сент. 2007 г. № 74 : [в ред. от 29 дек. 2025 г.] // Российская газета. – 2008. – 9 февр. (№ 28).

7. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях : федер. закон от 30 дек. 2001 г. № 195-ФЗ : [в ред. от 05 янв. 2026 г.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 11.03.2026).

8. Земельный кодекс Российской Федерации : федер. закон от 25 окт. 2001 г. № 136-ФЗ : [в ред. от 30 дек. 2025 г.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 11.03.2026).

9. Экологический кодекс Республики Татарстан : закон Республики Татарстан от 15 янв. 2009 г. № 5-ЗРТ : [в ред. от 28 дек. 2025 г.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru> (дата обращения: 11.03.2026).

10. Водный кодекс Российской Федерации : федер. закон от 03 июня 2006 г. № 74-ФЗ : [в ред. от 25 дек. 2025 г.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 11.03.2026).

11. Уголовный кодекс Российской Федерации : федер. закон от 13 июня 1996 г. № 63-ФЗ : [в ред. от 25 дек. 2023 г.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 11.03.2026).

12. Российская Федерация. Законы. О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации : федер. закон от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ : [в ред. от 28 дек. 2025 г.] // Собрание законодательства РФ. – 2020. – № 31. – Ст. 5007.

13. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления : федер. закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ : [в ред. от 08 авг. 2025 г.] // Собрание законодательства РФ. – 1998. – № 26. – Ст. 3009.

14. Российская Федерация. Законы. О ветеринарии : закон РФ от 14 мая 1993 г. № 4979-1 : [в ред. от 25 дек. 2025 г.] // Собрание законодательства РФ. – 1993. – № 24. – Ст. 857.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛИОРАНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Шатило М.П., Петрашкевич Я.С., учащиеся УО «Национальный
детский технопарк»**

Научные руководители Зеленуха Е.В., Скуратович И.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

Проведены лабораторные исследования по оценке влияния различных концентраций осадка сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности (5-20% от массы субстрата) на рост и развитие рапса. Анализ эффективности основывался на изучении динамики всхожести семян, морфометрических показателей и расчете стимулирующего эффекта по сравнению с контрольной пробой.

Ключевые слова: мелиорант, целлюлозно-бумажная промышленность, осадок сточных вод, скоп.

Значительным источником антропогенной нагрузки на окружающую среду является целлюлозно-бумажная промышленность. Прежде всего, её воздействие связано с большими объемами сточных вод, очистка которых приводит к образованию влажного осадка (скопа). Только на одном из ведущих предприятий данной отрасли ОАО «Добрушская бумажная фабрика «Герой труда» ежегодное образование осадка сточных вод составляет более 10 тыс. т в год.

Согласно классификатору отходов, образующихся в республике, осадок сточных вод ЦБП – отход 4 класса опасности [1]. В настоящее время часть образовавшегося осадка используется в составе топливных смесей для сжигания, однако высокая зольность и низкая теплотворная способность не позволяют эффективно использовать весь объем отхода в энергетических целях.

Анализ литературных данных показывает, что возможным направлением переработки данного вида отходов является производство мелиорантов. Такие вещества предназначены для оптимизации физико-химических и микробиологических свойств почв: они регулируют кислотно-щелочной баланс, снижают уровень загрязнения, способствуют восстановлению нарушенных земель и повышают плодородие маломощных грунтов. Физико-химические характеристики компонентов предлагаемого мелиоранта представлены в таблице 1.

В качестве тест-культуры для проведения лабораторных опытов выбран рапс - одна из ключевых технических культур в Республике Беларусь. В 2024 году он занимал 73% в структуре посевных площадей соответствующих культур, опережая лён и сахарную свеклу. За четыре года (с 2020 по 2024)

посевы рапса увеличились на 50 тыс. га - с 352 до 402 тыс. га [2]. Это имеет не только экономическое, но и агротехническое значение, так как рапс улучшает структуру почвы и служит природным средством защиты от деградации в севообороте.

Таблица 1 – Основные физико-химические показатели компонентов мелиоранта

Наименование показателя	Осадок сточных вод ЦБП	Почва, используемая в лабораторном опыте
pH	8,0	7,0
Влажность, %	5,1	10,5
Удельная эффективная активность, Бк/кг	30,6	19,2
Насыпная плотность, кг/м ³	212,0	545,0

В ходе работы оценивалось влияние мелиоранта на основе осадка ЦБП на лабораторную всхожесть и морфометрические параметры рапса. Для этого были подготовлены субстраты с различной долей содержания осадка: 5, 10, 15 и 20% от общей массы. Контролем служил образец почвы без добавления отхода. В каждую емкость высевалось по 50 семян тест-культуры. Эксперимент длился 14 дней в стандартных условиях освещения и полива.

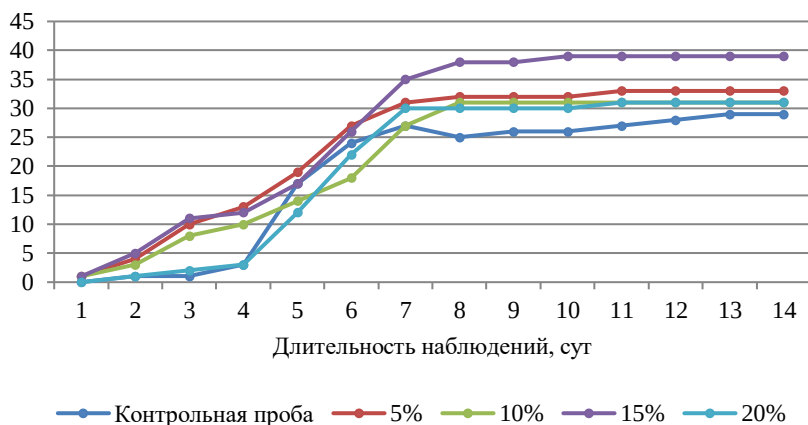


Рисунок 1 – Динамика всхожести семян рапса в лабораторном опыте

В ходе наблюдений фиксировалась динамика появления всходов (рисунок 1), а по завершении эксперимента проводилась комплексная оценка

морфометрических показателей: высота надземной части и её масса, длина и масса корневой системы (таблица 2).

Таблица 2 – Морфометрические показатели рапса

Наименование показателя	Содержание в составе субстрата осадка сточных вод ЦБП, %				
	0	5	10	15	20
Высота тест-культуры, см	6,21	6,87	7,65	8,75	6,80
Длина корней, см	3,47	4,21	3,80	3,96	3,81
Зеленая масса, г	2	5	4	6	5
Масса корневой системы, г	5	6	4	5	5

Всхожесть и интенсивность развития растений зависят не только от состава субстрата, но и от исходных качеств семян. В связи с этим выводы о стимулирующем эффекте делались на основе совокупности критериев. Оценка стимулирующего эффекта для рапса приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка стимулирующего эффекта рапса

Наименование показателя	Содержание в составе субстрата осадка сточных вод ЦБП, %				
	0	5	10	15	20
Всхожесть, %	–	13,8	6,8	34,4	6,8
Длина корней, %	–	21,3	9,5	14,1	9,7
Высота тест-культур, %	–	10,6	23,1	40,9	9,5

Наилучшие результаты по комплексу показателей достигнуты при добавлении осадка сточных вод ЦБП к почве в диапазоне от 10 до 15 масс.%. Максимальная эффективность зафиксирована для субстрата с содержанием скопа 15%: всхожесть семян превысила контрольный уровень на 34,4%, а высота тест-культуры оказалась больше на 40,9%. При дозировке 10% также наблюдалась устойчивая положительная динамика (прирост всхожести – 6,8%, высоты растений – 23,1%). Увеличение доли отхода до 20% привело к снижению стимулирующего эффекта, что, вероятно, связано с изменением свойств субстрата или баланса питательных элементов.

Литература:

1. Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь, утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 9 сентября 2019 г. № 3-Т.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический буклет. – Мн., 2025. – 36 с.

ОЦЕНКА ДОЛГОСРОЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНОГО СБРОСА ФЕНОЛОВ В ВОДНУЮ ЭКОСИСТЕМУ

Шаяхметова В.А., магистрант

Научный руководитель Шибаетов П.Б.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань

В работе представлена оценка долгосрочных экологических последствий аварийного сброса фенолов в типовой водоём. На основе литературных данных о свойствах фенола и его воздействии на гидробионтов построена модель распределения загрязнителя (вода – взвесь – донные отложения) и динамики биоты/

Ключевые слова: техногенная авария, фенол, водная экосистема, математическое моделирование, донные отложения, сорбция, биостимуляция.

Аварийные сбросы токсичных веществ в поверхностные водоёмы представляют серьёзную угрозу для пресноводных экосистем [1]. По данным [2], ежегодно фиксируется 15–25 крупных аварий, сопровождающихся превышением предельно допустимых концентраций (ПДК) в 10–100 раз. Фенол и его производные относятся к веществам II класса опасности [3].

Гипотеза: донные отложения являются ключевым резервуаром фенола, определяющим длительность восстановления экосистемы, а применение комбинированной технологии «сорбция + биостимуляция» позволяет существенно сократить сроки её реабилитации.

Цель работы – количественная оценка сроков восстановления водной экосистемы после аварийного сброса фенола и сравнительный анализ эффективности методов ликвидации последствий на основе математического моделирования.

Объект исследования – мелководный непроточный водоём рыбохозяйственного назначения, подвергшийся токсическому воздействию.

Предмет исследования – процессы перераспределения фенола в системе «вода – взвешенное вещество – донные отложения» и отклик гидробионтов.

Фенол (C_6H_5OH) обладает умеренной летучестью и активно сорбируется на взвешенных частицах и донных отложениях, где его деградация существенно замедляется [3, 5, 6]. ПДК фенола для рыбохозяйственных водоёмов составляет 0,001 мг/л [7]. Острые токсические эффекты проявляются при концентрациях порядка мг/л, тогда как хроническое воздействие уже при 0,01–0,05 мг/л вызывает нарушения физиологических функций у гидробионтов [8, 9].

Рассматривается мелководный водоём объёмом $V=105\text{м}^3$ (площадь 2 га, средняя глубина 5 м). Аварийный сброс составляет $M_0=500\text{кг}$ фенола, что соответствует начальной концентрации в воде $C_0=5\text{мг/л}$ (5000 ПДК). Модель включает три фазы: вода (концентрация C_w , мг/л), взвешенное органическое вещество (концентрация сорбированной фазы C_s , мг/л) и донные отложения (концентрация C_b , мг/кг). Система дифференциальных уравнений имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dC_w}{dt} = -k_{vol}C_w - k_{sorb}C_w - k_{des}C_s - k_{bio,w}C_w + k_{diff}\left(\frac{C_b}{K_d} - C_w\right) \\ \frac{dC_s}{dt} = k_{sorb}C_w - k_{des}C_s - k_{bio,s}C_s - k_{sett}C_s \\ \frac{dC_b}{dt} = \frac{A}{V_b}k_{sett}C_s - k_{bio,b}C_b - k_{burial}C_b \end{array} \right. \quad (1)$$

Обмен фенола между водной фазой и донными отложениями описан градиентным членом, пропорциональным разности между равновесной концентрацией в воде (C_b/K_d) и текущей концентрацией C_w . Такой подход обеспечивает корректную размерность и отражает классическую схему диффузионно-сорбционного равновесия в системе «вода – донные отложения» [6, 10]. Значения кинетических параметров (табл. 1) выбраны с учётом свойств фенола и условий водоёма. Константа летучести $k_{vol}=0,002\text{ сут}^{-1}$ соответствует низкой летучести фенола и ограниченному газообмену при глубине около 5 м [6]. Константа биodeградации в донных отложениях $k_{bio,b}=0,001\text{ сут}^{-1}$ отражает замедленные анаэробные процессы, характерные для бедных кислородом грунтов, что обеспечивает корректное воспроизведение длительного сохранения фенола и эффекта вторичного загрязнения [6, 10].

Таблица 1 – Параметры модели распределения фенола

Параметр	Обозначение	Значение	Размерность
Константа летучести	k_{vol}	0,002	сут^{-1}
Константа сорбции	k_{sorb}	0,2	сут^{-1}
Константа десорбции	k_{des}	0,1	сут^{-1}
Биodeградация в воде	$k_{bio,w}$	0,1	сут^{-1}
Биodeградация на взвеси	$k_{bio,s}$	0,08	сут^{-1}
Биodeградация в дне	$k_{bio,b}$	0,001	сут^{-1}
Скорость седиментации	k_{sett}	0,05	сут^{-1}
Коэффициент распределения	K_d	0,8	л/г
Коэффициент диффузионного обмена с донными отложениями	k_{diff}	0,02	сут^{-1}

Для каждого трофического уровня использовано логистическое уравнение с дополнительным членом токсического ингибирования [10]:

$$\frac{dB_i}{dt} = r_i B_i \left(1 - \frac{B_i}{K_i}\right) - \mu_i C_w(t) \cdot B_i \quad (2)$$

Биологические параметры (табл. 2) приняты на основе данных работ по популяционной динамике гидробионтов [11, 12].

Таблица 2 – Биологические параметры модели

Группа	$r_i, \text{сут}^{-1}$	K_i	$\mu_i, (\text{мг/л})^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$
Фитопланктон	0,8	5 мг/л	0,03
Зоопланктон	0,3	2 мг/л	0,08
Рыбы	0,02	200 кг/га	0,15

Система дифференциальных уравнений решалась численно методом Рунге–Кутты 4–го порядка. Расчёты выполнены в Python с использованием библиотеки SciPy (функция odeint). Шаг интегрирования составлял 0,1 суток, что обеспечивало устойчивость решения при заданных кинетических коэффициентах. Проверка сходимости проводилась при уменьшении шага до 0,05 суток; отклонение результатов по ключевым параметрам (концентрация в воде, масса в донных отложениях) не превышало 2–3%, что подтверждает численную устойчивость. Дополнительно контролировался материальный баланс системы, отклонение суммарной массы не превышало 5% за весь период моделирования.

Рассмотрены три сценария: первый сценарий – естественное восстановление; второй – сорбционная очистка (внесение активированного угля на 5–е сутки, снижение концентрации на 70% за 48 часов); третий – комбинированный (сорбция + биостимуляция за счёт внесения азотно–фосфорных удобрений для активации фенол–деградирующих бактерий).

Динамика биомассы рыб (в % от доаварийной) представлена в таблице 3, концентрации фенола в воде – в таблице 4.

Таблица 3 – Восстановление биомассы рыб (% от исходной)

Время, мес	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
1	12	18	22
6	9	31	48
12	18	55	78
24	35	82	96
60	68	97	102
120	89	101	103

Таблица 4 – Концентрация фенола в воде (мг/л) в различные моменты времени

Время, сут	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
0	5,00	5,00	5,00
5	1,75	0,58	0,42
10	0,82	0,12	0,06
30	0,19	0,018	0,004
100	0,023	0,002	0,0003

К 30–м суткам в донных отложениях накапливается 15–20% исходной массы фенола, что формирует источник вторичного загрязнения. К 100 – м суткам до 60–70% вещества удаляется за счёт биodeградации и летучести. Восстановление рыбной биомассы до 90% занимает около 108 месяцев при естественном сценарии, 30 месяцев при сорбционной очистке и 14,4 месяцев при комбинированном подходе.

Верификация модели по данным аварии на р. Ока (Дзержинск, 2007 г.) показала хорошее соответствие: снижение концентрации фенола до 0,01–0,05 мг/л происходит за 20–30 суток, а восстановление биомассы до 60% – через 3–5 лет [4].

Анализ чувствительности показал, что изменение $k_{bio,w}$ и K_d на $\pm 20\%$ смещает сроки достижения безопасных концентраций на 15–25%. Наибольшее влияние оказывает $k_{bio,w}$, тогда как K_d определяет перераспределение вещества между фазами. Модель имеет оценочно–прогнозный характер и требует уточнения параметров при использовании для конкретных водоёмов.

Экологические последствия аварий связаны как с персистентностью фенола, так и с инерционностью восстановления биоты, которое продолжается годы даже после снижения концентраций до безопасного уровня.

Выводы. Цель исследования полностью достигнута, а обе части выдвинутой гипотезы нашли строгое количественное подтверждение. На основе разработанной трёхфазной модели, научная новизна которой заключается в оригинальном учёте диффузионно-сорбционного обратного потока фенола из донных отложений (вторичное загрязнение), впервые получены надёжные долгосрочные прогнозы состояния экосистемы. Установлено, что донные грунты аккумулируют до 20 % массы загрязнителя и из-за крайне медленной анаэробной деградации становятся ключевым резервуаром, определяющим затяжной характер восстановления: при естественном сценарии возврат рыбной биомассы к 90 % доаварийного уровня требует около 9 лет. Применение сорбционной очистки воды сокращает этот срок до 2,5 лет, а комбинированная технология «сорбция + биостимуляция донной микрофлоры» — до 1,2 года, что в 7,5 раз быстрее естественного хода и сопровождается снижением концентрации фенола в воде ниже ПДК_{рыбхоз} уже к 100-м суткам.

Таким образом, решена актуальная проблема недооценки роли донных отложений как источника вторичного загрязнения при ликвидации аварийных сбросов фенола. Полученные результаты создают строгую научную основу для корректировки природоохранной стратегии: доказано, что эффективная реабилитация рыбохозяйственных водоёмов требует обязательного включения в перечень мероприятий не только оперативной очистки водной толщи, но и целенаправленного мониторинга и биостимуляции деструкции загрязнителя непосредственно в донных отложениях.

Литература:

1. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». – М. : НИА– Природа, 2024. – 684 с.
3. Реймерс, Н. Ф. Природопользование : словарь– справочник / Н. Ф. Реймерс. – М. : Мысль, 1990. – 637 с.
4. Лебедева, М. Ю. Восстановление гидробионтов реки Ока после фенольного загрязнения / М. Ю. Лебедева, О. В. Смирнова // Биология внутренних вод. – 2010. – № 4. – С. 56–64.
5. Лурье, Ю. Ю. Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. – 6–е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1989. – 448 с.
6. Шапоров, В. П. Гидрохимия и моделирование загрязнения водных объектов / В. П. Шапоров. – СПб. : Наука, 2018. – 312 с.
7. Перечень рыбохозяйственных нормативов : ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М. : ВНИРО, 2010. – 260 с.
8. Патин, С. А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность водоёмов / С. А. Патин. – М. : Пищевая промышленность, 1979. – 304 с.
9. Гусева, К. А. Токсикология водорослей / К. А. Гусева. – Киев : Наукова думка, 1986. – 240 с.
10. Йоргенсен, С. Э. Управление пресноводными экосистемами: синтез экологических и экономических подходов / С. Э. Йоргенсен ; пер. с англ. под ред. А. В. Жиркова. – М. : Мир, 2001. – 400 с.
11. Одум, Ю. Экология : в 2 т. / Ю. Одум ; пер. с англ. под ред. В. Е. Соколова. – М. : Мир, 1986. – Т. 2. – 376 с.
12. Гиляров, А. М. Популяционная экология / А. М. Гиляров. – М. : Изд– во МГУ, 1990. – 192 с.

КИСЛОТНАЯ АКТИВАЦИЯ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОДЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА СОРБЦИЮ ИОНОВ $Ni(II)$ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Шаяхметова В.А., магистрант

Научный руководитель Габдрахманова Г.Н.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань

Кислотная активация цеолитсодержащей породы вызывает декатионирование, деалюминирование и рост поверхности, усиливая сорбцию $Ni(II)$. Фотометрия позволила определить остаточный никель и параметры равновесия, подтверждая ионообменный и комплексообразующий механизмы связывания металла.

Ключевые слова: цеолитсодержащая порода, Татарско-Шатрашанское месторождение, кислотная активация, адсорбционная емкость, ионы никеля, фотометрия.

Загрязнение водных экосистем ионами тяжелых металлов является серьезной экологической проблемой. Ионы Ni^{2+} обладают высокой токсичностью и канцерогенным действием и примерно вдвое токсичнее их комплексных форм. ПДК растворимых форм никеля в рыбохозяйственных водах составляет 0,01 мг/дм³, однако промышленные источники (гальваника, производство синтетического каучука, никелевые обогатительные фабрики и сжигание топлива) часто приводят к превышениям [1].

Актуальна разработка методов очистки сточных вод, среди которых перспективно использование природных цеолитов — водных алюмосиликатов с каркасной структурой, обеспечивающей высокие ионообменные и адсорбционные свойства [2, 3].

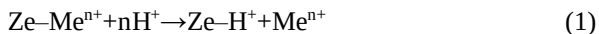
Крупным источником является Татарско-Шатрашанское месторождение (Республика Татарстан), где основным цеолитом выступает клиноптилолит ($\geq 15\%$), а также присутствуют сопутствующие минералы, формирующие его физико-химические свойства [4].

Наличие примесей (карбонаты, оксиды железа, органика) снижает сорбционную активность природных цеолитов [5]. Для ее повышения применяют кислотную активацию, удаляющую примеси и заменяющую катионы Ca^{2+} и Na^{+} на H^{+} , что увеличивает число активных центров. Комплексная обработка существенно улучшает сорбционные свойства по отношению к ионам тяжелых металлов [6, 7].

В работе использован образец породы Татарско-Шатрашанского месторождения, измельченный до фракции 0,2–0,8 мм [4]. Такой размер обеспечивает оптимальный баланс между развитой поверхностью и гидравлическим сопротивлением.

Активацию проводили 10% раствором соляной кислоты, приготовленной из кислоты марки «х.ч.» (ГОСТ 3118-77) с исходной массовой долей HCl 38% и плотностью 1,19 г/см³. Навеску термически обработанной (для удаления органических примесей и поровой воды [5]) породы помещали в 50 мл активирующего раствора на 6 часов. После обработки раствор кислоты сливали, а образец многократно промывали дистиллированной водой на бумажном фильтре до нейтральной реакции промывных вод. Высушку проводили при 105°C в течение 2 часов в сушильном шкафу. Предварительная термическая обработка и последующая кислотная активация обеспечивают удаление из цеолитсодержащей породы оксидов, гидроксидов и карбонатов кальция, оксидов железа, а также способствуют декатионированию — замене щелочных и щелочноземельных катионов на H⁺, что, как отмечено в литературе [6, 7], повышает удельную адсорбционную поверхность и сорбционную активность материала.

Кислотная активация цеолитсодержащих материалов сопровождается рядом взаимосвязанных ионно-обменных и структурных процессов, определяющих формирование сорбционных свойств. Одним из ключевых механизмов является декатионирование, представляющее собой замещение обменных катионов цеолита на протоны водородных ионов. Данный процесс может быть описан уравнением:



где Ze — цеолитная матрица, Meⁿ⁺ — обменные катионы (Ca²⁺, Na⁺, K⁺).

В результате замещения формируются протонные кислотные центры, участвующие в координации ионов металлов. Одновременно растворяются карбонатные и оксидные фазы, повышая доступность микропор. Кислотная обработка вызывает частичное деалюминирование и рост отношения Si/Al, что перераспределяет отрицательный заряд и создаёт координационно-ненасыщенные центры, усиливающие сорбцию. Формируется гетерогенная поверхность с ионообменными позициями, центрами Бренстеда и участками комплексобразования, что повышает сорбционную способность.

Модельные растворы готовили из стандартного раствора соли никеля (5 мг/л). В статике — 50 мл раствора на 0,5 г сорбента, в динамике — порции по 10 мл при той же концентрации. Концентрацию Ni²⁺ определяли фотометрически с диметилглиоксимом (РД 52.24.494-2006) при длине волны максимума поглощения комплекса. Градуировку строили по растворам 0,1; 0,5; 1,0; 5,0 и 10,0 мг/л.

Эффективность сорбции E_s (в %) вычисляли по формуле:

$$E_s = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

где C_0 – начальная концентрация металла в растворе (мг/л), C_e – конечная концентрация металла в растворе после адсорбции на сорбенте (мг/л).

Адсорбционную емкость A_e (мг/г) определяли из соотношения:

$$A_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \cdot V \quad (3)$$

где A_e – адсорбционная емкость адсорбента (мг/г), C_0 – начальная концентрация металла в растворе (мг/л), C_e – конечная концентрация металла в растворе после адсорбции на сорбенте (мг/л), V – объем раствора (л), m – масса адсорбента (г).

Сорбционный процесс в системе «раствор – твердая фаза» в статических условиях описывается установлением равновесия между концентрацией вещества в жидкой фазе и количеством, удерживаемым на поверхности сорбента. Равновесное состояние характеризуется распределением вещества между фазами, которое может быть описано через коэффициент распределения:

$$K_d = \frac{A_e}{C_e} \quad (4)$$

где A_e – равновесная адсорбционная емкость, C_e – равновесная концентрация в растворе.

Физический смысл данного параметра заключается в оценке сродства сорбента к извлекаемому компоненту: чем выше значение K_d , тем более эффективно происходит извлечение вещества из раствора.

Для количественного определения остаточной концентрации никеля в растворах после сорбции была построена градуировочная зависимость в соответствии с требованиями РД 52.24.494-2006 [8]. Измеренные значения оптической плотности для стандартных растворов никеля представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Калибровочные данные для определения никеля фотометрическим методом (диметилглиоксим)

С, мг/л	0,1	0,5	1,0	5,0	10,0
Оптическая плотность D	0,002	0,012	0,065	0,087	0,215

На рисунке 1 представлен градуировочный график в координатах «оптическая плотность – концентрация никеля».

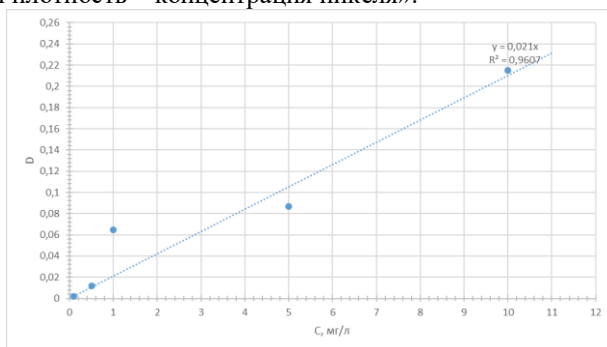


Рисунок 1 - Градуировочный график для определения никеля.

Для изучения полной адсорбционной емкости активированного сорбента по отношению к ионам никеля навеску массой 0,5 г помещали в стакан вместимостью 250 мл с 50 мл модельного раствора никеля с начальной концентрацией 5 мг/л. После завершения адсорбции (время контакта 6 часов, как указано в методике активации) измеряли оптическую плотность раствора, по градуировочному графику определяли равновесную концентрацию и рассчитывали основные сорбционные параметры. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты сорбции ионов никеля(II) активированным цеолитсодержащим сорбентом ($m = 0,5$ г, $V = 0,05$ л, $C_0 = 5,0$ мг/л)

Параметр	Значение
Оптическая плотность после сорбции D	0,032
Конечная концентрация C_e , мг/л (рассчитано по уравнению градуировки)	1,35
Эффективность сорбции E_s , %	73,0
Адсорбционная емкость A_e , мг/г	0,365

Количественные характеристики сорбции показывают изменение механизма взаимодействия Ni^{2+} с цеолитом после кислотной активации. В исходном образце преобладает ионообмен с участием Ca^{2+} и Na^+ , тогда как после обработки возрастает доля протонных центров, формирующихся при декатионировании.

Сорбция Ni^{2+} становится комбинированной и включает ионообмен и поверхностное комплексообразование с кислородсодержащими группами

каркаса. Энергетическая селективность определяется не только зарядом иона, но и его гидратированным радиусом (0,4–0,5 нм), сопоставимым с порами клиноптилолита. Дополнительно снижение конкуренции со стороны обменных катионов и частичное деалюминирование повышают доступность активных центров и сорбционную емкость.

Кислотная активация приводит к формированию протонных и координационно-ненасыщенных центров и переходу от преимущественно ионообменного к комбинированному механизму.

В статических условиях адсорбционная емкость составляет 0,365 мг/г при степени извлечения Ni^{2+} 73%. Эти результаты соответствуют кислотно-модифицированным клиноптилолитам и подтверждают рост эффективности за счет увеличения числа активных центров и снижения ионной конкуренции.

Литература

1. Брегг, Л. Кристаллическая структура цеолитов / Л. Брегг ; пер. с англ. – М. : Мир, 1984. – 320 с.
2. ГОСТ 3118-77. Кислота соляная. Технические условия. – М. : Издательство стандартов, 1978. – 12 с.
3. Емельянова, М.С. Использование цеолитов в качестве молекулярных сит, обладающих адсорбционными свойствами / М.С. Емельянова, А.А. Кашапова, О.Р. Каратаев // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 39. – С. 1891–1895.
4. РД 52.24.494-2006. Массовая концентрация никеля в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с диметилглиоксимом. – Ростов-на-Дону : Гидрохимический институт, 2006. – 25 с.
5. Татарско-Шатрашанское месторождение // Татарская энциклопедия. – URL: <https://tatarica.org/ru/razdely/priroda/poleznye-iskopaemye/poleznye-iskopaemye/tatarsko-shatrashanskoe-mestorozhdenie> (дата обращения: 11.04.2026).
6. Тарасевич, Ю.И. Природные цеолиты в очистке воды / Ю.И. Тарасевич. – Киев : Наукова думка, 1989. – 180 с.
7. Тунакова, Ю.А. Оптимизация способа активации цеолита для использования в качестве материала при очистке промышленных сточных вод от катионов металлов / Ю.А. Тунакова, В.С. Валиев, Г.Н. Габдрахманова // Ползуновский вестник. – 2024. – № 4. – С. 181–185. – DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.027.
8. Шаронова, И.Н. Влияние кислотной активации на структуру и сорбционные свойства природных цеолитов / И.Н. Шаронова, Д.В. Мартынов // Журнал прикладной химии. – 2018. – Т. 91, № 5. – С. 612–619.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВНЕДРЕНИЯ RDF-ТОПЛИВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Шевернёва К.А., студентка

Научный руководитель Морзак Г. И.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассмотрена возможность использования твердых коммунальных отходов как альтернативного энергетического ресурса для цементной промышленности. Показаны основные преимущества и сложности внедрения RDF-топлива в технологическом процессе цементного производства.

Ключевые слова: RDF-топливо, технологический процесс, импортозамещение, энергетическая устойчивость, экономическая устойчивость, экологическая устойчивость

RDF-топливо — относится к высококалорийному топливу, которое можно получить из горючих фракций твердых коммунальных отходов (ТКО), таких как пластик, бумага, картон, текстиль, древесина, резина. Производство данного вида топлива относится к сложному технологическому процессу, включающему глубокую сортировку, удаление опасных компонентов (батарейки, ПБХ), дробление, сушку и грануляцию. Топливо представляет собой однородные гранулы или брикеты с теплотворной способностью, сопоставимой с углем и торфом.

Ежегодно в Беларуси образуется значительный объем ТКО, большая часть которых традиционно захоранивалась на полигонах, создавая экологическую нагрузку и отчуждая земельные ресурсы. Переход на производство RDF-топлива позволяет:

- сократить объемы захораниваемых отходов;
- снизить количество полигонов ТКО;
- уменьшить эмиссию парниковых газов от разложения органики на свалках.

В Беларуси уровень использования ТКО из их общего объема постоянно растет. Развитие отрасли RDF-топлива в Беларуси получило мощный импульс благодаря государственной поддержке. Ключевым стимулом для производителей и потребителей RDF-топлива являются компенсации затрат предприятиям, занимающимся компостированием, переработкой или сжиганием RDF-топлива в соответствии с Указом Президента РБ и Государственной программой «Устойчивая энергетика и энергоэффективность» на 2026–2030 годы [1].

В актуализированной Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2026–2030 годы предусматривается дальнейшее

увеличение финансирования и обновление перечней региональных объектов по сортировке и использованию ТКО, включая производство RDF-топлива [2].

В соответствии с Национальной «Стратегией по обращению с отходами производства и потребления в Республике Беларусь» обозначены объемы использования твердых коммунальных отходов (ТКО) до 2035 года. К 2030 году этот показатель должен достичь 70% от их объема образования [3]. Утилизация данного вида отходов позволит заместить импортируемые энергетические ресурсы, уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду, а также отказаться от расширения действующих или создания новых полигонов для их захоронения [4].

На сегодняшний день предприятия цементной промышленности относятся к основным и наиболее эффективным потребителям RDF-топлива в Беларуси. Технологические параметры эксплуатации печей цементных заводов (температурный режим в зоне обжига - 1450°C, а в декарбонизаторе — 850-950°C) способны обеспечить полное и безопасное сгорание RDF - гранул без образования токсичных соединений, таких как диоксины и фураны.

Использование RDF-топлива в технологическом процессе цементного производства способствует решению одновременно двух ключевых задач:

1. импортозамещение энергетических ресурсов, что приведет к снижению себестоимости продукции за счет использования более дешевого местного топлива.

2. Эффективное обращение с отходами — уменьшение нагрузки на полигоны и снижение экологического ущерба.

Пионером и флагманом внедрения RDF-технологий в Беларуси является ОАО «Красносельскстройматериалы» (входит в холдинг «Белорусская цементная компания»). Инвестиционный проект по строительству технологической линии для использования RDF-топлива был реализован в августе 2021 года.

Так, за 2024 год на технологической линии по сжиганию RDF-топлива при производстве клинкера сухим способом использовано более 15,9 тыс. тонн альтернативного топлива (включая RDF, льняную костру, щепу, ветошь). В 2025 году запланировано использование до 40 тыс. тонн RDF-топлива.

Стратегическим направлением развития в цементной индустрии является создание региональной инфраструктуры по производству RDF-топлива в непосредственной близости от цементных заводов. В 2026 году планируется ввод в эксплуатацию регионального комплекса по обращению с ТКО вблизи Волковыска, который будет включать производство RDF-топлива, что позволит практически полностью закрыть потребность завода в данном виде топлива.

Холдингом «Белорусская цементная компания» предусматривается расширение использования RDF-топлива и на других предприятиях. Так, два

восточных завода холдинга — ОАО «Белорусский цементный завод» и ОАО «Кричевцементношифер» — планируют закупки и ввод в эксплуатацию технологического оборудования для подачи RDF-топлива в декарбонизаторы цементных печей в 2026 году. Суммарный потенциал по использованию RDF-топлива на трех цементных заводах оценивается в 265,8 тыс. тонн в год.



Рисунок - Основные преимущества использования RDF-топлива

Несмотря на преимущества (рисунок), развитие отрасли RDF-топлива сопряжено с рядом сложностей:

- обеспечение стабильного качества RDF-гранул (калорийность, влажность, зольность) для технологии работы цементных печей;
- адаптация оборудования для подачи RDF-топлива в декарбонизаторы цементных печей;
- разработка и внедрение системы раздельного сбора отходов для повышения качества сырья для RDF.

Разработка и использование RDF-топлива в Республике Беларусь — это не просто технология эффективного обращения с ТКО, но и стратегия, которая позволит обеспечить энергетическую, экономическую и экологическую устойчивость государства.

Успешный опыт ОАО «Красносельскстройматериалы», планирование внедрения технологии по использованию альтернативного топлива на других цементных заводах, строительство новых региональных комплексов и активная поддержка на государственном уровне указывают, что RDF-топливо станет одним из ключевых элементов энергетического баланса и экономики замкнутого цикла в Беларуси. Внедрение технологических линий для использования RDF-топлива на предприятиях цементной промышленности позволит создать высокотехнологичное, экологичное и экономически устойчивое производство.

Литература

1. Государственная программа «Устойчивая энергетика и энергоэффективность» на 2026–2030 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 31 декабря 2025 г., № 819 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. - Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500819/> - Дата доступа 10.04.2026.

2. Государственная программа «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2026–2030 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 31 декабря 2025 г., № 818 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. - Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500818> - Дата доступа 10.04.2026.

3. О стратегия по обращению с отходами производства и потребления в Республике Беларусь [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 21 авг. 2025 г., № 44 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. - Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500444> - Дата доступа 20.02.2026.

4. Об энергетическом использовании твердых коммунальных отходов Режим доступа: <https://www.minenergo.gov.by/press/novosti/ob-energeticheskom-ispolzovanii-tverdykh-kommunalnykh-otkhodov/> - Дата доступа 20.02.2026.

ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Шикуть У.А., студент

Научный руководитель Сидорская Н.В.

**Белорусский государственный университет иностранных языков,
Беларусь**

В статье рассматривается проблема демографической безопасности Республики Беларусь, её ключевые аспекты и влияние на социально-экономическое развитие страны. Анализируются текущие демографические тенденции, такие как уровень рождаемости, смертности, миграции и возрастная структура населения. Особое внимание уделяется рискам, связанным с депопуляцией, старением населения и недостаточной трудоспособности, которые могут негативно сказаться на экономическом росте и социальной сфере. В статье представлены рекомендации по улучшению демографической политики, направленные на стимулирование рождаемости, эффективное использование миграционных ресурсов и создание условий для повышения качества жизни граждан.

Ключевые слова: демографическая безопасность, рождаемость, смертность, старение населения, миграция, экономическое развитие, устойчивое развитие.

На протяжении многих тысячелетий человеческий род сталкивается с большим количеством факторов, которые отрицательно влияют на его популяцию. С течением времени люди развивались, приспосабливались к изменяющимся условиям окружающего мира, пытались создать вокруг себя относительно безопасную среду. Несмотря на то, что цель у всех одна – выжить, демографические показатели в различных уголках мира кардинально различны. Так какие же факторы влияют на эти показатели и как создать безопасную среду для их оптимального значения?

Сегодня численность населения мира составляет более 8 млрд человек, что больше чем в 3 раза превышает численность в 1950 году. Однако в последнее десятилетие прирост происходил медленнее, чем в предыдущие, что свидетельствует о замедлении темпов роста численности населения мира в целом. Что касается Республики Беларусь, по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь на 1 января 2025 года население Беларуси составило 9 109 280 человек, что на 359 тыс. меньше, чем в 2016 году.

Соотношение мужчин и женщин осталось практически неизменным: женщин больше мужчин в 1,2 раза. Коэффициент старения населения (демографический показатель, отражающий долю пожилых людей старше 60–65 лет в общей численности населения страны), увеличился с 87,3% до 112,6%.

Показатель числа умерших с 2016 года незначительно уменьшился, однако коэффициент рождаемости все так же остается меньше коэффициента смертности, что препятствует естественному приросту населения.

При этом значительное снижение коэффициента рождаемости характерно среди женщин возрастной категории младше 35 лет. Число браков по всей стране превышает число разводов, однако наблюдается значительное уменьшение зарегистрированных брачных союзов. Это показатели отразили следующие демографические тенденции:

1. Сокращение численности—депопуляция из-за отрицательного естественного прироста;
2. Старение населения—увеличение доли пожилых (старше 60–65 лет)
3. Низкая рождаемость (основное снижение среди женщин <35 лет)
4. Половая структура—соотношение женщин и мужчин стабильно
5. Тенденции снижения роли института семьи

Как и на любое явление в жизни, на демографические тенденции можно посмотреть с разных сторон, выявив свои плюсы и минусы и рассмотрев их влияние на различные сферы жизни государства.

Депопуляция может иметь некоторые экологические плюсы, такие как меньшее потребление ресурсов, меньшее количество бытовых и производственных отходов за счет уменьшения спроса. Однако глобально на экологическую ситуацию таким образом повлиять не получится. В экономической сфере может снизиться уровень конкуренции на рынке труда и нагрузка на инфраструктуру. В перевес этому возникают следующие проблемы: сокращение трудоспособного населения, и вследствие дефицит рабочих кадров; рост доли пожилых людей и вытекающий из этого рост налогов. Сочетание дефицита кадров и снижения потребительского спроса может привести к замедлению темпов экономического роста.

Старение – процесс необратимый, однако не в отношении государства, которому всегда необходима «подпитка» со стороны молодого трудоспособного населения.

Демографическое старение приводит к снижению его доли, что в свою очередь приводит к росту коэффициента демографической нагрузки, увеличению затрат на пенсии, снижению эффективности экономики и росту пенсионного возраста для снижения давления на трудоспособное население. Из положительных влияний можно отметить толчок для развития медицины и реформирования в области здравоохранения для удовлетворения возросших со стороны людей пенсионного возраста потребностей в оказании медицинских услуг. Социальная сфера будет направлена на создание благоприятной среды для лиц пожилого возраста и оказание им долгосрочного ухода, что создаст условия для увеличения продолжительности жизни.

Низкая рождаемость – главная причина двух вышеупомянутых демографических процессов. Она обусловлена комплексом социально-экономических и культурно-исторических факторов. В первую очередь это экономическая нестабильность, которая рано или поздно все равно затрагивает все страны мира, так как государства существуют в тесной взаимосвязи друг с другом. Если в одном «звене» этой связи возникнет какая-то проблема, то шанс того, что она решится без, даже незначительных, последствий для других «звеньев» очень мал.

Чаще всего пары откладывают планирование ребенка для достижения наибольшей финансовой стабильности. Смещение культурных и семейных ценностей является также тормозящим фактором в вопросе воспроизводства населения.

В современном мире низкая рождаемость является осознанным выбором в пользу карьеры, образования и саморазвития. Особенно это касается женщин. В контексте истории женщина относительно недавно получила возможность полноправно заявить о себе как о самостоятельной и независимой личности и активно использует ее для своей реализации. Однако чем дольше откладывать рождение ребенка, тем выше вероятность генетических аномалий у ребенка и осложнений у матери.

Стабильная половая структура населения подразумевает сбалансированное соотношение мужчин и женщин. Это обеспечивает высокую брачность и рождаемость, баланс трудовых ресурсов, т. е. отсутствие нехватки кадров в тех отраслях, которые типичны для одного или другого пола.

Современный институт семьи переживает трансформацию, характеризующуюся снижением его традиционной роли. Основные тенденции включают рост числа разводов и внебрачных сожительств, увеличение возраста вступления в брак, распространение малодетности. Одной из основных причин тенденций снижения роли института семьи является смена традиционных ролей: модель «муж-добытчик, а жена-хранительница очага» в современном мире утрачивает свою актуальность.

Ценности смещаются в сторону самореализации и карьеры. Больше нет необходимости вступать в брак ради выживания. Патриархальные отношения уходят на второй план, уступая равноправным отношениям в семье, что часто приводит к столкновению мнений, которое может перерасти в конфликты. Рост количества расторгнутых браков и увеличение возраста вступления в брак отражает еще не законченный процесс укоренения относительно новых тенденций. Институт семьи не исчезает, а трансформируется в более гибкие, партнерские формы, требующие осознанности и умения выстраивать отношения.

Также как и любые другие процессы, такие как экономические, социальные, политические, демографические процессы постоянно находятся под контролем государства. Происходит не только наблюдение и отражения статистик тех или иных демографических изменений, но также и комплексный анализ результатов исследований и прогнозирование.

Главным государственным органом в Республике Беларусь, ответственным за обработку, анализ и распространение официальной статистической информации о социальных, экономических, демографических и экологических процессах в стране является Национальный статистический комитет Республики Беларусь.

На основе данных, собранных и обработанных этим органом, проводится оценка развития государства на данный момент и разрабатываются соответствующие стратегии и планы дальнейшего развития.

Вопросы преодоления негативных демографических тенденций рассматриваются в ключевых документах государственного прогнозирования и планирования – Национальной стратегии устойчивого развития (НСУР) и Программе социально-экономического развития (ПСЭР).

Так, в НСУР предусматриваются следующие решения для регулирования рассмотренных ранее демографических процессов:

1. Проблемы низкой рождаемости и депопуляции предполагают решения их через стимулирование рождаемости посредством поддержки семей и укрепление репродуктивного здоровья населения для снижения смертности, прежде всего среди граждан трудоспособного возраста. Стратегия предусматривает комплекс мер, направленных на создание дополнительных стимулов для повышения рождаемости. Особое внимание будет уделено социальной поддержке многодетным семьям и семьям, воспитывающим детей с инвалидностью, через совершенствование системы государственных пособий и услуг социальной и медицинской помощи.

2. Увеличение доли людей пожилого возраста требует особого внимания к качеству и доступности оказания медицинских услуг. Изложенные в НСУР решения, касающиеся этого вопроса, предполагают охват всех граждан профилактическими медицинскими осмотрами для профилактики особо опасных заболеваний с использованием новых методов диагностики и обеспечение полноценного доступа к качественным медицинским услугам посредством оптимизации работы организаций здравоохранения и внедрения передвижных медицинских комплексов, что особенно важно для людей, проживающих в сельской местности.

3. Что касается половой структуры населения, в НСУР намечен план на создание баланса прав и экономических возможностей женщин и мужчин. Для этого будут вноситься изменения в правовую систему, которые обеспечат

равноправную культурную и экономическую среду и усовершенствуют законодательство по противодействию насилию в семье.

4. Для смены направления отрицательных тенденций института семьи будет осуществлен комплекс мер, направленных на заполнение информационного пространства страны контентом на тему развития духовно-нравственных семейных традиций и ценностей.

В отличие от НСУР, которая является документом долгосрочного характера и определяет стратегию будущего развития, ПСЭР конкретизирует цели НСУР на ближайший пятилетний период. Например:

увеличить число родившихся на 1000 человек – не менее 7 промилле в 2030 году (при 6,5 промилле в 2024 году);

снизить общий коэффициент смертности населения до 11,5 промилле в 2030 году (при 12,6 промилле в 2024 году);

охватить граждан 75 лет и старше, инвалидов социальными услугами – не менее 25 процентов в 2030 году (22,4 процента в 2024 году) и т.д.

Проанализировав статистические данные и стратегии развития, можно сделать вывод, что, несмотря на дестабилизацию демографических процессов, государством предпринимаются меры для их урегулирования не только на короткий срок, но в долгосрочной перспективе. Для достижения наибольшей стабильности во всех сферах жизни государства и создания и безопасной, социально направленной и высокотехнологичной среды для развития общества используется комплексный подход, отражающий заинтересованность всех слоев населения в создании опоры для дальнейшего процветания будущего. Поэтому человека можно назвать главной регулирующей силой и ценностью любого государства.

Литература:

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 13.03.2026)

2. Национальная стратегия устойчивого развития (НСУР) Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by> (дата обращения: 18.03.2026)

3. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь (ПСЭР) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by> (дата обращения: 20.03.2026)

ПРОБЛЕМА ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ УПАКОВКИ ИЗ ПЛАСТМАСС

Шиманская Е.С., учащаяся УО «Национальный детский технопарк»

Научные руководители Цыганова А.А., Благовещенская Т.С.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В современном обществе становятся важными вопросы загрязнения окружающей среды, которые являются причиной глобальных экологических проблем, в том числе и изменения климата. Ведь любой производимый товар — это потенциальный отход. Причем во многих случаях упаковка практически сразу после распаковки товара переходит в статус отхода. Некоторые материалы упаковки подлежат переработке. Это бумага, картон, полиэтилен, полипропилен, металл и другие виды материалов упаковки. Однако, каждый цикл переработки — это затраты ресурсов, загрязнение окружающей среды и ухудшение качества получаемого материала. В статье рассмотрены проблемы образования упаковки из пластмасс, современные концепции по управлению отходами, в том числе отходами пластиковой упаковки.

Ключевые слова: экологический дизайн, отходы, пластмассы, обращение с отходами, «зеленая экономика», оценка жизненного цикла продукции.

В настоящее время мы живем в обществе потребления. Люди, являясь его необъемлемой частью, под воздействием маркетинговых инструментов, таких, как мода и реклама, покупают больше, чем им нужно. А ведь вся продукция, которую потребитель приобретает в магазинах и рынках, это отходы. К сожалению, производство некачественных, «одноразовых» товаров также является проблемой для окружающей среды, т.к. очень быстро такая продукция переходит в статус отходов. Как итог мы получаем своего рода замкнутый круг, который требует незамедлительного решения.

Мы рассмотрим отходы упаковки из пластика, это самые проблемные отходы. В мире их производится огромное количество, ведь упаковка обеспечивает сохранность товаров и удобство транспортировки, многие виды пластика очень удобны для использования — они легкие, с помощью присадок и комбинирования с другими материалами им можно придавать нужные свойства (прочность, эластичность, и другие). Часть такой упаковки становится отходом сразу после распаковки продукции (напитки, мелкая бакалея, кондитерские изделия, подарочная упаковка и др.), другая часть —

только после полного использования продукции (бытовая химия, сырье для производственных процессов в больших емкостях и т.п.).

В любом магазине, продуктовом, хозяйственном, строительном, можно оценить количество и вид используемых упаковочных материалов. В одной упаковке товары приходят для продажи, распаковываются, переупаковываются заново, тем самым все больше увеличивая количество отходов. Для упаковки используются металл, пластик различных видов, бумага, картон, дерево. Металл, бумага и дерево перерабатываются, с пластиком же все сложнее. Некоторые виды пластика могут перерабатываться, но сложность заключается в том, что отходы пластика необходимо сортировать по видам, т.к. каждый вид пластика перерабатывается по-разному.

Для облегчения сортировки упаковочных отходов на упаковку принято наносить унифицированную маркировку, которую смогут прочитать потребители и переработчики во всем мире, а также эконоки, которые устанавливаются законодательно в каждой стране на национальном уровне. Помимо экологической, на ряд товаров ставится энергетическая маркировка. Такая маркировка позволяет потребителям ориентироваться не только в качестве товара, но и получать представление об экологичности и энергоэффективности товара и далее делать свой выбор.

Однако, переработка отходов упаковки во многих странах, в том числе и в Беларуси, не достигает серьезного уровня. Большее предпочтение отдается захоронению и сжиганию отходов упаковки. Эти процессы по иерархии принципов комплексного управления отходов являются самыми не экологичными, т.к. вносят существенный вклад в деградацию земель, невозможность их эксплуатации на протяжении многих десятков лет после рекультивации полигонов по захоронению отходов, являются источниками образования выбросов в атмосферный воздух, в том числе парниковых газов. Кроме того, применение такого количества и разнообразия пластмасс приводит еще одной проблеме для окружающей среды – он не разлагается на вещества, которые природа может использовать в своих процессах, а распадается на мелкие частицы, которые называют микропластиком. Микропластик находят в больших количествах в мировом океане, почвах, в организмах рыб, птиц, животных.

Проблема управления отходами пластиковой упаковки, наряду и с другими видами отходов, требует комплексного, глобального решения и сразу достигнуть успеха не получится. Захоронение и сжигание таких отходов, как уже говорилось выше, не самое экологичное решение. Переработка также не привлекательный вариант – она требует дополнительных энергетических и ресурсных затрат, а с каждым циклом переработки качество пластика

ухудшается. Плюс для переработанного пластика весьма ограничены направления его дальнейшего использования.

Самым эффективным является отказ от использования пластиковой упаковки. Но сам по себе такой способ не очень эффективен и порой даже невозможен, т.к. для производства многих изделий нет альтернативных материалов. Можно ходить за покупками с многоразовыми шоперами, не используя пакеты-майки (например, во многих европейских странах в не найдете привычных пакетов под кассой, а в Беларуси все торговые сети давно перешли на платные пакеты). Но это лишь полумера. Ведь на полках мы по-прежнему увидим пластиковые бутылки, пачки, баночки, контейнеры. Это говорит о том, что сиюминутно избавиться от пластика не получится, надо ломать налаженные производственные цепочки и перепрофилировать предприятия, технологические процессы, менять оборудование. Поэтому дополнительными шагами к решению проблемы образования отходов пластмасс являются минимизация и замена пластика при производстве упаковки, особенно одноразовой.

Для решения экологических проблем, в том числе и проблемы образования отходов, особенно отходов пластиковой упаковки, существует ряд оценочных, прогнозных и управленческих концепций – Более чистое производство, методология оценки жизненного цикла продукции, Экологический дизайн, «Зеленая экономика». В основе этих концепций лежит три связанных друг с другом компонента:

- экономический (рост цен на энергоресурсы, энергетическая «небезопасность», нехватка пресной воды, продовольственная «небезопасность» и необеспеченность, урбанизация);
- природный (истощение природных ресурсов, изменение климата, опустынивание, потеря биоразнообразия,);
- социальный (проблемы здоровья и старение наций, демографический спад, бедность, неравенство).

С использованием этих концепций производители и экологи проводят работу по изменениям в технологии и в потребностях общества. В развитых странах современный дизайн это уже идеология, способную формировать сознание, как отдельных индивидуумов, так и всего социума. Особое значение имеет экодизайн - подход к разработке продукта, снижающий его воздействие на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла от поставки, производства и упаковки до использования и утилизации любой продукции. Концепция экодизайна упаковки, как и концепция «зеленой экономики» также сочетает три компонента: экономический, природный и социокультурный.

Экономический компонент подразумевает производство более тонкой и легкой упаковки, использование альтернативных энергетических ресурсов при

производстве упаковки, применение инновационных упаковочных технологий и материалов.

Природный заключается в том, что при производстве упаковки используются упаковочные материалы из природного или возобновляемого сырья (например, бамбук, древесина (картон, бумага), металл и др.), биопластики из картофеля, кукурузы, свеклы, сахарного тростника.

Социокультурный означает, что производители товаров наносят на упаковку специальную маркировку, не связанную с товаром, для привлечения внимания к остросоциальным явлениям, таким как: бедность, голод, охрана окружающей среды, привлечение внимания к исчезающим видам флоры и фауны и др.

Таким образом, можно сделать вывод, что лишь комбинация методов по управлению процессами отказа от применения материалов из пластмасс будет самым эффективным решением проблемы образования отходов пластиковой упаковки.

Литература:

6. Проблема пластика в экологии: [Электронный ресурс] <https://vyvoz.org/blog/problema-plastika-v-ekologii/> (Дата обращения 16.02.2026)

7. Пластиковое загрязнение планеты. Есть ли жизнь без пластика: [Электронный ресурс] <https://news.rambler.ru/ecology/38384794-plastikovoe-zagryaznenie-planety-est-li-zhizn-bez-plastika/> (Дата обращения 16.02.2026)

8. Методы идентификации полимеров: [Электронный ресурс] <https://plastinfo.ru/information/articles/220/> (Дата обращения 16.02.2026)

9. Технология переработки пластиковых отходов: [Электронный ресурс] <https://polimerinfo.com/kompozitnye-materialy/pererabotka-plastika.html> (Дата обращения 16.02.2026)

10. Как выполняют переработку пластика: [Электронный ресурс] <https://nemusorim.com/pererabotka/plastik> (Дата обращения 16.02.2026)

11. Переработка пластика: [Электронный ресурс] https://ru.wikipedia.org/wiki/Переработка_пластика (Дата обращения 16.02.2026)

12. Н. Рудольф, Р. Кизель, Ш. Аумнайге. Рециклинг пластмасс. Экономика, экология и технологии переработки пластиковых отходов.: ЦОП Профессия -2018.

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕШЕХОДОВ В ЗОНАХ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЁСТКОВ

**Шинкарук Д.В., Синицкий Т. А., студенты;
Научный руководитель Малькевич Н.Г.,
Белорусский национальный технический университет, Беларусь**

В данной статье приведён анализ современной городской среды, которая характеризуется ростом интенсивности транспортных потоков. При этом сделан акцент на изучении работы светофоров. Предложено мероприятие по установке системы «Smart Crosswalk» на светофорах, которая позволит обеспечить экологическую безопасность жизнедеятельности на дорогах.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, экологическая безопасность, мониторинг качества воздуха, сенсорная сеть.

Дорожные хозяйства является важным элементом Единой транспортной системы государства. Без дорожной сети не могут быть реализованы статьи Конституции Республики Беларусь, в которых гарантируются права на свободу перемещения граждан.

Производственные отрасли страны не способны функционировать без такой транспортной системы, как автомобильные дороги, поэтому важно поддерживать безопасное состояние дорожного движения. Оно обеспечивается инфраструктурными изменениями и повышением информированности населения о последствиях нарушений правил поведения на дорогах, что предотвращает дорожно-транспортные происшествия.

Основными негативными факторами, воздействующими на окружающую среду и человека, являются:

газы, которые содержат оксид углерода, диоксид азота, летучие органические соединения и мелкодисперсные твёрдые частицы. В режиме «старт-стоп» (разгон/торможение) двигатели внутреннего сгорания работают в неэффективном режиме, что приводит к повышенному выбросу загрязняющих веществ.

Резкие звуки работающих двигателей на холостом ходу, ускоряющихся автомобилей и звуковые сигналы создают акустический дискомфорт, превышающий санитарные нормы в часы пик.

Таким образом, возникает научно-техническая необходимость в создании интеллектуальной системы, способной в реальном времени оценивать уровень загрязнения в зоне пешеходного перехода и адаптировать

работу светофорного объекта для минимизации вреда здоровью граждан.

Для безопасности жизнедеятельности человека на дорогах предложена система «Smart Crosswalk», которая включает

Модернизацию стандартного пешеходного перехода. Она заключается в интеграции аппаратно-программного комплекса мониторинга и управления. Эта система называется “Smart Crosswalk”. Основным принципом работы системы является переход от статического цикла переключения сигналов светофора к динамическому, зависящему от экологической обстановки на остановке.

Предложенная система включает три основных модуля:

- измерительный модуль: в опоры светофоров или осветительные мачты встраиваются датчики;

- газоанализаторы: не дисперсионные инфракрасные сенсоры для измерения концентрации CO и CO₂, а также электрохимические сенсоры для детекции NO₂;

- шумомеры: микроэлектромеханические микрофоны с частотной фильтрацией типа А (дБА), имитирующей восприятие человеческого уха;

- четчик транспорта: видеокамера с нейросетевой обработкой изображения или индукционные петли в дорожном полотне для определения плотности потока.

В случае малого дорожного потока на дорогах будет использован модуль обработки и принятия решений (локальный контроллер, который представляет собой микроконтроллер. Он устанавливается в стойке светофора и агрегирует данные с датчиков.

Критическими пороговыми значениями для работы системы “Smart crosswalk” являются:

- превышение ПДК м.р. по CO (5 мг/м³);

- превышение эквивалентного уровня шума (70 дБА);

- образование затора (скопление более 5 автомобилей перед переходом в течение цикла).

Модуль управления (актуатор) при достижении пороговых значений отправляет на контроллер сигнал для изменения режима работы светофора:

Первый режим – «Чистый воздух» (приоритет пешехода): если фиксируется высокая концентрация CO/NO₂ или уровень шума на стороне ожидания пешеходов превышает норму, контроллер сокращает время красного сигнала для пешеходов. Люди быстрее покидают опасную зону, а время накопления выхлопов перед стоп-линией уменьшается.

Второй режим – «Антишум» (плавный старт): В ночное время, если шум превышает норму, но трафик низкий, система может синхронизировать работу соседних светофоров, чтобы уменьшить количество резких торможений и разгонов, обеспечивая движение «зеленой волной» (рисунок 1)

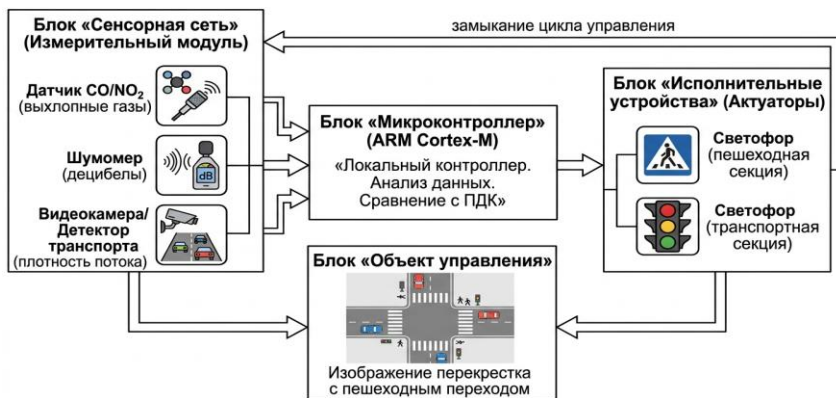


Рисунок 1 - Структурная схема системы – «Smart Crosswalk»

В ходе проведённого анализа современной городской среды и транспортных потоков обоснована необходимость внедрения адаптивных систем экологического контроля в структуру транспортных коммуникаций. Предложенная система «Smart Crosswalk» позволяет решить комплексную проблему экологической безопасности жизнедеятельности человека, в результате объединения контроля химического и физического загрязнения.

Литература:

1. ORDIS European Commission. Мониторинг шума и выбросов и радикальное снижение их уровня. - <https://www.cordis.europa.eu/project/id/860441> (дата обращения: 05.03.2026).
2. Курский государственный университет. Анализ функциональных показателей интеллектуальных транспортных систем как индикаторов повышения экологической безопасности автомобильного транспорта. - <https://vntveditorum.ru/ru/nauka/article/89758/view> (дата обращения: 06.03.2026).
3. AQMesh. Environmental Instruments. Промышленный огороженный монитор качества воздуха для мониторинга выбросов в атмосферу. - <https://www.aqmesh.com/applications/government-local-authorities/> (дата обращения: 05.03.2026).

ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫЙ СПОСОБ ДОБЫЧИ СЫРЬЯ

Шкурганова М.А., студентка

Подлюзня Д.С., Картынный А.А., студентки 3 курса

Научный руководитель Стасевич В.И.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье рассматриваются технологические и экологические особенности перспективного для Республики Беларусь гидромеханизованного способа добычи полезных ископаемых, особое внимание уделяется экологическому аспекту данного способа, а также приводятся методика расчета для оценки осветления воды на карте намыва.

Ключевые слова: гидромеханизованный способ, водоохранные мероприятия, обратное водоснабжение, пруд-отстойник.

В современной горнодобывающей промышленности всё чаще возникает вопрос: как не только снизить себестоимость добычи полезных ископаемых, но и минимизировать воздействие на окружающую среду при разработке обводнённых месторождений? Одним из таких перспективных направлений является гидромеханизованный способ добычи (Гидравлический способ). Несмотря на то, что в Республике Беларусь гидромеханизованный способ находится на стадии внедрения и пока не стал производственным стандартом, нельзя не отметить примеры успешного промышленного использования данной технологии (месторождение песков «Бобрик» Петриковского района, карьер «Четверня» в Жлобине, Хотиславское месторождение Малоритского района).

Гидромеханизованный способ добычи полезных ископаемых (ПИ) получил широкое распространение во всем мире при добыче ПИ на карьерах, строительстве котлованов и каналов различной формы и назначения, насыпей, искусственных земляных плотин, дамб, при углублении и прочистке дна рек и озер, создании искусственных островов для последующего строительства зданий и сооружений. В связи с наличием на многих месторождениях песчано-гравийных смесей (ПГС) в Республике Беларусь высокого уровня грунтовых вод считаем возможным применение гидромониторов (для производства вскрышных работ, к примеру ОАО «Доломит») и особенно земснарядов для добычи песков и ПГС. Гидромеханизованный способ способен решить следующие задачи:

- изменение производительность карьера и общей схемы организации добычных работ;
- оптимизация вскрышных и горно-капитальных работ;
- выбор оптимальной системы разработки;

- размещение отвального хозяйства;
- замена автотранспорта гидротранспортом;
- охрана и восстановление водных ресурсов;
- снижение нагрузки от горных работ на окружающую среду;
- водоснабжения для производственных нужд [1].

Гидромеханизированный способ требует значительных объемов воды и жесткого соблюдения требований законодательства РБ и земельного отвода под гидроотвалы и склады готовой продукции. Таким образом, эффективность гидромеханизированных работ необходимо рассматривать с учетом законодательно определенного объема водоохраных мероприятий. В Республике Беларусь взято направление с организацией технологических процессов вскрышных и добычных работ на месторождениях полезных ископаемых (МПИ) с использованием оборотного водоснабжения значительно снижает нагрузку от горных работ на окружающую среду. Но при этом оборотное водоснабжение создает ряд проблем технического характера, что нашло отражение в Водном кодексе Республики Беларусь [2].

Несмотря на то, что гидромеханизированный способ разработки является прогрессивным направлением комплексной механизации разработки МПИ, он может стать причиной повышенного загрязнения окружающей среды, если технологические процессы горных работ не будут сопровождаться водоохраными мероприятиями.

Кроме того, рядом авторов [3] указывается, что при загрязнении воды твердыми взвешенными в оборотной воде частицами быстро изнашиваются детали и рабочие органы водяных насосов. При оборотном водоснабжении для эффективной работы центробежных насосов содержание твердых частиц в оборотной воде технологического процесса не должно превышать 500 мг/л.

После проведенных наблюдений на различных предприятиях с использованием гидромеханизированных работ сделан вывод, что содержание твердых частиц в оборотной воде может изменяться от 0 до 5 г/л. При работе в неблагоприятных условиях содержание твердых частиц в оборотной воде может составлять от 20 до 30 г/л. Опыт внедрения и применения оборотного водоснабжения показал:

- содержание фракций менее 0,1 мм в воде, поступающей в водяные насосы в количестве 30—40 г/л, приводит к незначительному снижению КПД насосных установок;
- присутствие твердых частиц в оборотной воде, подаваемой в водяные насосы в количестве 30—40 г/л, приводит к повышенному расходу электроэнергии за 1 ч работы (для насоса Д 1600-90 до 8 кВт·ч, для насоса Д 1250-125 до 10,5 кВт·ч);
- эффективность осветления сточных вод в отстойниках зависит от

содержания илистых и глинистых фракций: для осветления оборотной воды до 0,5—1 г/л твердых фракций при содержании в гидросмеси 80 % илисто-глинистых фракций объем прудка-отстойника должен быть не менее 12—19 суточной производительности гидромониторно-землесосных комплексов; при содержании в гидросмеси 60 % илисто-глинистых фракций не менее 8,5—14,5 суточной производительности; при содержании 40 % — 5,5-9,5 суточной производительности и при 20 % — 3-5 суточной производительности. [3].

Нельзя забывать и о том, что может появиться необходимость сброса части воды из прудка-отстойника во внешний водоприемник из-за паводковых, продолжительных ливневых вод, а иногда и полного удаления воды из отстойника в случае аварии. При этом может быть нанесен некоторый ущерб окружающей среде. Подытоживая выше сказанное, авторы считают, что вопросы рационального использования и осветления оборотных воды являются актуальными.

Пруд-отстойник при оборотном водоснабжении предназначен для осветления пульпы за счет осаждения взвешенных частиц и рассчитывается как пруд-отстойник непрерывного действия. Линейные размеры и объем пруда-отстойника, обеспечивающие осаждение частиц заданной крупности, расположение насосных станций для забора чистой или осветленной воды определяются расчетами.

При определении линейных размеров пруда-отстойника необходимо учитывать следующее:

- при пульпе, содержащей 60 % и более частиц менее 0,1 мм, глубина зоны осветления принимается не более 2 м (средняя глубина пруда не менее 4 м); при пульпе, содержащей 25 % и меньше частиц менее 0,1 мм, расчетную глубину зоны осветления принимается до 3 м (средняя глубина пруда 5 м);
- ширину потока пульпы при изливе следует принимать из условия растекания по пляжу под углом 90°;
- растекание пульпы в пруде следует принимать под углом 13° на расстояние, равное $2/3L$, где L — расстояние между местом поступления пульпы в пруд и водоприемником осветленной воды (предполагается, что на остальном пути поток пульпы сужается до размеров водосливного размера водоприемника).

На каждом участке движение потока принимается равномерным, и принимается за расчетную площадь живого сечения средняя из граничных площадей участков. Предлагаем следующую методику расчета величины осветления воды на карте намыва при оборотном водоснабжении.

1. Определяем среднюю скорость движения пульпы от места выпуска до водосбросного колодца по формуле:

$$V_n = Q_{\text{ст}} / (BH_i), \quad (1)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – расход воды, проходящий через водосбросный колодец, м³/с;

B – активная ширина прудка-отстойника, м.

H_i – глубина прудка-отстойника, м.

2. Рассчитываем гидравлическую крупность частиц грунта, осаждающихся в прудке:

$$W = \nu V_n H_i / L_1, \quad (2)$$

где ν – коэффициент извилистости;

H_i – глубина прудка-отстойника, м.

L_1 – длина прудка-отстойника, м.

3. Осветленность воды, мг/л, определяем по формуле:

$$P_k = 1000P\rho / (3,6Q_{\text{ст}}) \quad (3)$$

где P_k – расход частиц, сбрасываемых через водосбросный колодец, м³/с.

ρ – плотность грунта, т/м³.

$Q_{\text{ст}}$ – количество воды, сбрасываемой через водосбросный колодец, м³/с.

Рассчитанное значение P_k сравниваем с допустимой концентрацией взвешенных веществ. Если P_k больше допустимой концентрации, то необходим отстойник, длину которого рассчитываем по приведенным формулам.

Гидромеханизированный способ добычи сырья обладает значительным потенциалом для дальнейшего развития горнодобывающей промышленности Республики Беларусь. Уникальность данной технологии заключается в объединении процессов разработки, транспортирования и укладки грунта в единый неразрывный технологический цикл, что выгодно отличает её от традиционных «сухих» методов разработки месторождений, что позволяет управлять процессами, связанными с охраной окружающей среды.

Литература:

1. Богатов, Б.А. Добыча и переработка горных пород. Осадочные горные породы / Б.А. Богатов, Н.И. Березовский. – БНТУ, 2005. – с.

2. О правовых актах Республики Беларусь [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 17 июля 2018 г., № 130-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 17 июля 2023 г. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=Hk1400149> — Дата доступа: 11.04.2026.

3. Ялтанец И.М. Гидромеханизированные и подводные горные работы: Учебник для вузов. – М.: Издательство ООО «Центр Инновационных технологий».

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СВЕТЛОГОРСКОГО РАЙОНА

Шурпо Н.Р., Москаленко З.М., студенты

Научный руководитель Веремейчик Л.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассматривается современное состояние радиационного загрязнения почв и лесных угодий Светлогорского района. Основное внимание уделено динамике распада цезия-137 и стронция-90, особенностям миграции нуклидов в почве и проблеме их накопления в дикорастущей продукции лесов.

Ключевые слова: радиационная обстановка, Светлогорский район, радиационный фактор, загрязненные угодья, защитные мероприятия.

Радиационная обстановка в Светлогорском районе после аварии на ЧАЭС всегда носила сложный и неоднородный характер. Это связано с тем, что выпадение радионуклидов происходило в условиях изменчивых метеорологических факторов, движения воздушных масс и выпадения атмосферных осадков в первые дни после взрыва. Такой тип распределения принято называть мозаичным. Основными загрязнителями, определяющими экологическую повестку региона на десятилетия, стали долгоживущие изотопы цезия-137 (^{137}Cs) и стронция-90 (^{90}Sr), а в самый ранний период — радиоактивный йод-131 (^{131}I), который оказал наиболее агрессивное воздействие на щитовидную железу жителей [1].

Анализируя динамику содержания цезия-137 в почвенном покрове, важно отметить, что он остается основным фактором радиационной нагрузки спустя почти сорок лет. По состоянию на начало 2023 года Светлогорский район остается в списке 55 административных районов Беларуси, где зафиксированы сельскохозяйственные земли с плотностью загрязнения ^{137}Cs в диапазоне от 1 до 40 Ки/км². Однако ситуация в Светлогорске выглядит более благоприятно по сравнению с южными соседями: регион относится к категории территорий с относительно низким удельным весом загрязненных угодий — от 1 до 5 % от общей площади сельскохозяйственных земель района [1].

Естественное самоочищение почв — процесс длительный, обусловленный физическим распадом радионуклидов. Период полураспада цезия-137 составляет около 30,17 года, что теоретически должно было привести к снижению активности более чем в два раза к текущему моменту. Тем не менее, вертикальная миграция изотопов вглубь почвы в условиях Светлогорского района замедлена. Преобладание дерново-подзолистых почв с

легким гранулометрическим составом (песчаные и супесчаные) способствует мобильности цезия, но наличие торфяно-болотных массивов в пойме реки Березина создает условия для длительного удержания радионуклидов в верхнем слое, что способствует их активному включению в биологический круговорот.

Что касается стронция-90, то его распределение в Светлогорском районе носит еще более локальный характер. Гомельская область является основным ареалом распространения этого нуклида в стране: здесь сосредоточено 261 тыс. га земель с плотностью загрязнения ^{90}Sr выше 0,15 Ки/км² из общегосударственных 270,9 тыс. га. В Светлогорском районе площади таких земель неуклонно сокращаются, что соответствует общему темпу распада и вымывания изотопа, составляющему около 15–16 тыс. га в год по всей стране [1].

Влияние радиационного фактора на состояние лесных экосистем и дикорастущую продукцию в Светлогорском районе заслуживает особого внимания, так как лесные массивы играют роль природного барьера и одновременно огромного резервуара радиоактивных веществ. В отличие от сельскохозяйственных полей, где проводятся активные агротехнические мероприятия, такие как глубокая вспашка и внесение специальных удобрений, в лесных экосистемах процессы перераспределения радионуклидов происходят естественным путем [2]. Это ведет к их длительному удержанию в лесной подстилке и верхнем гумусовом горизонте, что способствует постоянному включению изотопов в биологический круговорот.

Наиболее чувствительным элементом лесной экосистемы являются грибы и ягоды [3]. Способность грибницы концентрировать цезий-137 в десятки и сотни раз выше, чем у высших растений. Это создает серьезные риски для местного населения, которое традиционно занимается сбором дикоросов. Согласно данным исследований, в Светлогорском районе зафиксированы значительные уровни содержания ^{137}Cs в лесной продукции, которые зачастую превышают установленные нормативы. Например, в сушеных грибах при республиканском нормативе 2500 Бк/кг фактическое содержание радионуклида в Светлогорском районе составило 5100 Бк/кг, что свидетельствует о двукратном превышении [2].

Радиационный мониторинг лесных экосистем Светлогорского района выявляет специфический парадокс: содержание цезия-137 в местных грибах порой превышает уровни более загрязненного Хойникского района. Это обусловлено локальными биогеохимическими циклами и типом почв, способствующими активному переходу радионуклидов в пищевые цепи, что повышает риск внутреннего облучения населения и требует усиленного контроля. Медико-биологические последствия катастрофы 1986 года наиболее выражены в патологиях щитовидной железы — органа-мишени,

пострадавшего от «йодного удара» ингаляционным путем и через потребление загрязненного молока. Анализ данных Светлогорской ЦРБ подтверждает эффект накопления хронических заболеваний в популяции: при снижении первичной заболеваемости с 221 случая в 2018 году до 175 в 2019-м, общее количество пациентов на диспансерном учете возросло с 5400 до 5575 человек [4]. Несмотря на общемировой рост эндокринных нарушений (около 5 % в год), ситуация в районе осложнена радиационным анамнезом, а высокая статистическая выявляемость свидетельствует о результативности скрининговых программ. Данная динамика подчеркивает необходимость долгосрочного медицинского сопровождения и стабильного финансирования мер по социально-экологической реабилитации региона [4].

Для восстановления экологического благополучия в Светлогорском районе применяется комплекс методов, направленных на снижение подвижности радионуклидов и их выведение из биологического оборота. Эти методы можно разделить на физические, химические и биологические.

Физические методы включают снятие наиболее загрязненного верхнего слоя почвы (обычно 5–10 см), что применяется преимущественно в населенных пунктах и на территориях детских садов. Также эффективна глубокая инверсионная вспашка на 40–50 см, которая перемещает радионуклиды вглубь, снижая мощность гамма-излучения на поверхности и ограничивая доступ корней растений к загрязненному слою. Химические и агротехнические стратегии являются наиболее массовыми в сельском хозяйстве района. К ним относятся:

1. Известкование почв для снижения кислотности, что переводит радионуклиды в менее доступные формы.

2. Внесение повышенных доз калийных удобрений. Поскольку калий является химическим аналогом цезия, он блокирует его поглощение растениями.

3. Применение сорбентов (цеолиты, сапропели) для фиксации нуклидов в почвенном комплексе [5, 6].

Чернобыльская авария заставила Светлогорский район трансформировать свою экономику. Ограничения на использование земель привели к тому, что многие хозяйства перепрофилировались на технические культуры или семеноводство, где требования к радиационной чистоте менее жесткие. Промышленные гиганты города, такие как «СветлогорскХимволокно» и ЦКК, сохранили свой потенциал, интегрировав вопросы радиационной безопасности в системы экологического менеджмента.

Можно сказать, что Светлогорский район прошел путь от шока первых лет до стабильного развития в условиях радиационного риска. Успех реабилитации зависит от баланса между государственными защитными

мерами, научными инновациями и информационной культурой населения. Использование современных методов биоремедиации и строгое соблюдение нормативов РДУ-99 являются ключевыми факторами, которые позволяют Светлогорску оставаться важным индустриальным и аграрным центром Беларуси, несмотря на тяжелое наследие прошлого.

Литература:

1. Динамика и современное состояние радиоактивного загрязнения территории Республики Беларусь [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://belarusenc.by/belarus/detail-article.php?ID=7834>. — Дата доступа: 02.04.2026.

2. Современные подходы к рекультивации загрязненных территорий [Электронный ресурс] // Лабораторные измерения и охрана труда. — Режим доступа: <https://laboratoria.by/stati/sovremennyye-podkhody-k-rekultivatsii-zagryaznennykh-territoriy>. — Дата доступа: 02.04.2026.

3. Радиоактивные грибы обнаружили в 13 районах Гомельской области [Электронный ресурс] // Onliner. — 2025. — Режим доступа: <https://people.onliner.by/2025/12/18/radioaktivnye-griby-obnaruzhili-v-13-rajonax-gomelskoj-oblasti>. — Дата доступа: 02.04.2026.

4. О щитовидной железе [Электронный ресурс] // УЗ «Светлогорская центральная районная больница». — Режим доступа: <https://svetrb.by/index.php/ru-RU/зож/215-о-щитовидной-железе>. — Дата доступа: 02.04.2026.

5. Об утверждении экологических норм и правил [Электронный ресурс]: постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 18 июля 2017 г., № 5-Т // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. — Режим доступа: <https://etalonline.by/?type=text&regnum=w21732307p>. — Дата доступа: 02.04.2026.

6. О Государственной программе по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 22 марта 2021 г., № 159 // Гомельский государственный медицинский университет. — Режим доступа: <https://gsmu.by/nauchnaya-deyatelnost/gosprogramma-chaes/>. — Дата доступа: 02.04.2026.

**ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА
ДЛЯ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО
ВОЗДУХА В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ Г.
НИЖНЕКАМСК (НА ПРИМЕРЕ УЛ. СТРОИТЕЛЕЙ)**

Яваева З.И., бакалавр

Научный руководитель Шагидуллин А.Р.

**Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Россия**

Обоснована необходимость расчетного экологического мониторинга качества атмосферного воздуха в зонах влияния автомагистралей. Определены приземные концентраций компонентов выбросов передвижных источников загрязнения. Рассчитано пространственное распределение максимальных разовых концентраций основных компонентов выбросов. Оценена степень превышения предельно допустимых концентраций.

Ключевые слова: автотранспорт, выбросы в атмосферу, загрязняющие вещества, выхлопные газы, максимальная разовая концентрация.

В крупных городах основным источником загрязнения атмосферного воздуха является автотранспорт, негативное воздействие возрастает в процессе разрастания города из-за невозможностью соблюдения режима санитарных разрывов автодорог. Уровень загрязнения атмосферного воздуха на участках улично-дорожной сети определяется интенсивностью движения и техническими параметрами автомобиля. Часть выбросов оседает на дорожном покрытии, накапливаясь вдоль дорог, с последующим переносом в сопредельные среды. Вклад передвижных источников в уровень загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха усугубляется наличием заторов на нагруженных автомагистралях в связи уменьшением пропускной способности автодороги, наличием нерегулируемых пересечений, несогласованностью работы светофоров и другими причинами [1-2].

Разработка методов расчета рассеяния вредного вещества в атмосферном воздухе от передвижных источников загрязнения является одной из сложно решаемых задач экологического мониторинга качества атмосферного воздуха.

В рамках исследования была поставлена задача определения уровня загрязнения воздуха выбросами автотранспорта, на примере автомагистрали - проспект Строителей (от ул. Студенческая до ул. Тукая) в г. Нижнекамск. Для расчета количества выбросов вредны, использовалась «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного

воздуха» [5]. Она основана на наблюдениях за интенсивностью движения транспорта (количеством проездов за установленный временной промежуток в 20 мин) с выделением 5 категорий : легковые автомобили, автофургоны и микроавтобусы массой до 3,5 тонн, грузовые автомобили от 3,5 до 12 тонн, грузовые автомобили свыше 12 тонн, автобусы более 3,5 тонн.

Наблюдения проводятся в периоды максимальной транспортной нагрузки. На основе полученных данных наблюдений, с учетом представленных в методике пробеговых выбросов, проводится расчет количества выбрасываемых загрязняющих веществ.

Методика позволяет рассчитывать выбросы для следующих вредных веществ (групп веществ): углерода оксид (CO), азота оксид (NO), азота диоксид (NO₂), взвешенные мелкодисперсные частицы PM_{2,5}, бензин, керосин, серы диоксид (SO₂), формальдегид (CH₂O), бензапирен (C₂₀H₁₂, установлены только среднегодовые ПДК), метан (CH₄).

Расчеты рассеивания проводились с использованием программного обеспечения УПРЗА «Эколог» (4.70). Программа реализует методику расчета рассеивания загрязняющих веществ [6].

Расчеты выполнялись с полным перебором метеорологических условий в пределах климатической характеристики г.Нижнекамск для определения максимальных разовых концентраций. Результаты детализированы для веществ, имеющих установленные максимальные разовые предельно допустимые концентрации [7].

Изучен участок дороги и прилегающая городская застройка. Расчетная сетка - квадрат 1250×1250 м, шаг 50 м. Определены характерные точки - ближайшие к проезжей части строения (табл. 1).

Таблица 1

Расчетные точки для детализации максимальных разовых концентраций

Код	Координаты (м)		Высота (м)	Комментарий
	X	Y		
1	2286160,5	458418,0	2,00	Многokвартирный жилой дом, ул. Строителей, 26
2	2286575,5	457993,5	2,00	Жилой дом, ул. Строителей, 10
3	2286586,5	457556,0	2,00	Общедомовое, ул. Строителей, 8а

4	2286473,5	457962,0	2,00	Жилой дом, ул. Строителей, 17
5	2286053,5	458349,5	2,00	Жилой дом, ул. Строителей, 33

Полученное в результате расчетов распределение концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках указано в табл. 2. Для оценки степени негативного воздействия использовались установленные максимальные разовые предельно допустимые концентрации.

Таблица 2 Распределение концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках

Код вещества	Наименование вещества	Распределение концентраций, доли ПДК	Распределение концентраций, мг/м ³
0010	Взвешенные частицы PM _{2,5}	0,02-0,03	0,002-0,005
0301	Азота диоксид (Двуокись азота; пероксид азота)	0,68-0,85	0,136-0,170
0304	Азот (II) оксид (Азот монооксид)	0,06-0,07	0,022-0,028
0330	Сера диоксид	Менее 0,001	Менее 0,001
0337	Углерода оксид (Углерод окись; углерод моноокись; угарный газ)	0,02-0,04	0,116-0,208
0410	Метан	Менее 0,0001	0,004-0,007
1325	Формальдегид (Муравьиный альдегид, оксаметан, метиленоксид)	Менее 0,001	Менее 0,0001
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый) (в пересчете на углерод)	Менее 0,001	0,024-0,042
2732	Керосин (Керосин прямой перегонки; керосин дезодорированный)	Менее 0,001	0,006-0,0012
6204	Азота диоксид, серы диоксид	0,43-0,53	-

Как можно видеть из табл. 2, Для группы 6204 из двух веществ (азота диоксид, серы диоксид) с суммацией вредного воздействия приведенные концентрации составляют значения до 0,53 ПДК. Максимальные из полученных значений наблюдаются для диоксида азота. В часы наиболее интенсивного движения они могут достигать 1 ПДК. Для остальных максимально разовые концентрации не превышают 0,1 ПДК.

Полученные поля приземных концентраций для диоксида азота и суммации 6204 представлены на рис.1, 2.

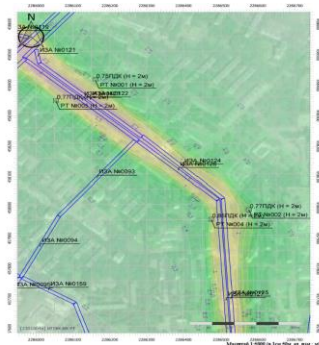


Рис.1. Поля максимальных концентраций диоксида азота



Рис.2. Поля максимальных концентраций суммации 6204

Таким образом, загрязнение воздуха на наиболее напряженных участках (в частности, на проспекте Строителей в Нижнекамске) должно подлежать систематическому контролю. Полученные данные могут быть использованы для: оптимизации дорожного движения, озеленения придорожных территорий, корректировки санитарно-защитных зон.

Расчетный мониторинг показал свою эффективность как инструмент оценки качества воздуха при отсутствии регулярных натурных наблюдений.

Литература:

1. Тунакова Ю.А., Григорьева И.Г., Шагидуллина Р.А. Области применения моделей для расчета распределения примесей в приземном слое атмосферного воздуха // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 20. С. 163-166.
2. Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Валиев В.С., Григорьева И.Г., Кузнецова О.Н. Разработка моделей прогноза концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха на основании значимых метеорологических параметров // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 179-181.
3. Рахманин Ю.А., Леванчук А.В. Качественная и количественная характеристика загрязнения окружающей среды продуктами эксплуатационного износа компонентов дорожно-автомобильного комплекса // Успехи современной науки. 2016. №4. С. 158-162.
4. Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Валиев В.С., Григорьева И.Г., Кузнецова О.Н. Разработка моделей прогноза концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха на основании значимых метеорологических параметров // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 179-181.
5. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха (утверждена приказом Минприроды России от 27 ноября 2019 года № 804)
6. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273)
7. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2)

КОМБИНИРОВАННЫЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТА И ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Яваева З.И., бакалавр

Научный руководитель Галимова А.Р.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Россия

В статье исследован комбинированный сорбент из цеолита и гидролизного лигнина для очистки сточных вод от Cu(II) и Ni(II) . Материал показал высокую эффективность: снижение Cu(II) до 0,132 мг/л, Ni(II) – до 0,051 мг/л.

Ключевые слова: цеолит, гидролизный лигнин, комбинированный фильтроматериал, адсорбция, адсорбционная емкость.

Одной из задач для обеспечения качества окружающей среды является снижение техногенной нагрузки на водные объекты за счёт внедрения эффективных и экономически доступных методов очистки промышленных сточных вод. Ионы тяжёлых металлов, в частности меди и никеля, относятся к приоритетным загрязнителям, обладающим высокой токсичностью и способностью к биоаккумуляции. На сегодняшний день разработаны технологические методы очистки производственных сточных вод: физико-химические, биологические, окислительно-восстановительные. Среди актуальных и востребованных методов очистки промышленных сточных вод представляют адсорбционные способы, эффективность которых определяется главным образом качеством сорбента.

К преимуществам сорбционного метода относятся: возможность удаления загрязнений чрезвычайно широкой природы практически до любой остаточной концентрации независимо от их химической устойчивости; отсутствие вторичных загрязнений; управляемость процессом; возможность адсорбции веществ многокомпонентных смесей; высокая степень очистки, особенно слабokonцентрированных сточных вод; возможность улавливания токсичных веществ при невысокой их концентрации.

В рамках поиска эффективных и экономичных сорбентов рассматривается использование сорбционных материалов, созданных на основе природного и вторичного сырья, а именно, комбинирование цеолита и лигнина.

Цеолиты представляют собой большую группу водных алюмосиликатов кальция и натрия из подкласса каркасных силикатов. Цеолитсодержащие породы Татаро-Шатрашанского месторождения, в состав

которых входит клиноптилолит и опал-кристобалит, обладают высокой адсорбционной и выраженной ионообменной способностью, экологически безопасны, нетоксичны и находят применение в сельском хозяйстве, промышленности и медицине. С точки зрения химического состава клиноптилолит является высококремнистым членом структуры группы гейландита, содержащей больше одновалентных, чем двухвалентных катионов. Свойства клиноптилолита: большая удельная поверхность, молекулярно-ситовое действие, высокая селективность к полярным молекулам, способность к сорбции и ионообмену. Эти адсорбенты обладают хорошо развитой внутренней поверхностью, доступной для адсорбируемых молекул.

Гидролизный лигнин – твердый, темно-коричневый порошкообразный отход гидролизной промышленности, получаемый при кислотной обработке древесины. Это природный полимер, используемый как сорбент (энтеросорбент, очистка воды/нефти), сырье для производства активированного угля, удобрений, котельное топливо и компонент для производства кирпичей. Полимерная сшитая структура в сочетании с наличием широкого спектра ионогенных группировок (фенольных и карбоксильных) и полидентантных и монодентантных неионогенных групп (карбонильных и гидроксильных) обуславливает наличие сорбционной способности лигнина к загрязнителям различного рода, в том числе к ионам тяжёлых металлов. Сорбенты, полученные из лигнинсодержащего сырья (отходов), являются достаточно дешевыми, с высокими физико-химическими свойствами: относительно высокая ионообменная и сорбционная емкость; универсальность по отношению очистки от вредных примесей; низкая стоимость и не сложная технология утилизации отработанных сорбентов (прессование, сжигание и т.п.).

Комбинирование цеолита и гидролизного лигнина материалов позволяет создать материал, который может быть использован как сорбент для удаления тяжелых металлов из сточных вод.

Настоящая работа направлена на количественную оценку адсорбционной способности комбинированного фильтроматериала по отношению к ионам Cu(II) и Ni(II) . Экспериментальная база исследования включала цеолитсодержащую породу Татаро-Шатрашанского месторождения (фракция 0,2-0,8 мм) и гидролизный лигнин. Комбинированный фильтроматериал готовился путем смешивания сорбентов в пропорции 1:1, с общей массой навески 0,5 г. Ключевая задача – оценить адсорбционную способность комбинированного фильтроматериала по отношению к ионам Cu(II) и Ni(II) в статических условиях и определить его потенциал для использования в технологических схемах очистки сточных вод. Для этого

были подготовлены отдельные растворы для металлов Cu(II) и Ni(II) с концентрацией 5 мг/л.

Установлено, что для ионов Cu(II) сорбционное равновесие достигается уже через 10 минут, остаточная концентрация стабилизируется на уровне 0,132 мг/л. Для ионов Ni(II) наблюдается постепенное снижение концентрации в течение всего времени контакта, что может свидетельствовать о более медленной кинетике сорбции (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты определения концентрации металлов до и после адсорбции комбинированным сорбентом

Время, мин	Концентрация Cu(II) до адсорбции, мг/л	Концентрация Cu(II) после адсорбции, мг/л	Концентрация Ni(II) до адсорбции, мг/л	Концентрация Ni(II) после адсорбции, мг/л
10	5	0,132	5	0,064
30	5	0,132	5	0,057
60	5	0,132	5	0,051

Построена зависимость адсорбционной емкости комбинированного фильтроматериала по отношению к ионам металлов от времени контакта (рис.1).

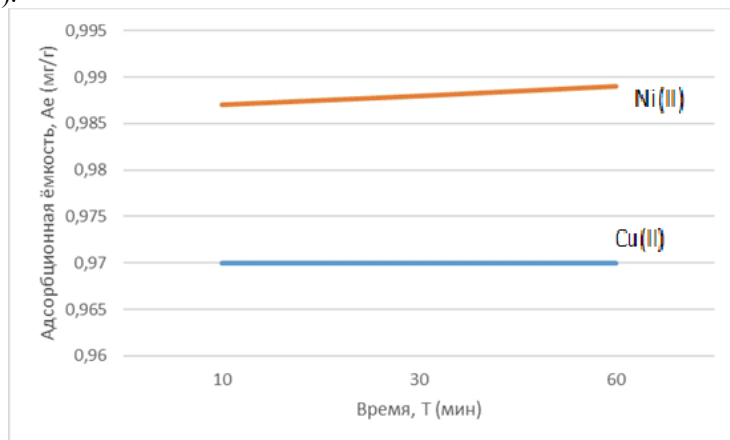


Рисунок 1 – График зависимости адсорбционной ёмкости комбинированного фильтроматериала по отношению к ионам металлов от времени контакта

Из графика видно, что концентрация ионов Ni(II) с увеличением времени контакта уменьшалась, таким образом концентрации ионов Ni(II) в растворах с фильтроматериалами, выдержанными 10, 30 и 60 минут уменьшалась соответственно с увеличением времени контакта. Концентрация ионов Cu(II) не изменялась с течением времени. Сравнение полученных остаточных концентраций с литературными данными показывает, что композитный материал превосходит цеолит и лигнин по отдельности, что подтверждает эффективность смешения компонентов.

Таким образом, показано, что комбинированный сорбент на основе цеолита и гидролизного лигнина обеспечивает снижение концентрации Cu(II) с 5 до 0,132 мг/л, Ni(II) — до 0,051 мг/л. Адсорбционная емкость сорбента составляет 0,97 мг/г в отношении ионов меди и 0,98-0,99 мг/г в отношении ионов никеля. Полученные результаты позволяют рекомендовать предложенный фильтроматериал для внедрения в технологические схемы очистки промышленных сточных вод в рамках технических основ рационального природопользования.

Литература:

1. Обуздина, М. В. Решение экологических проблем очистки сточных вод путем создания сорбента на основе цеолита / М. В. Обуздина, Е. А. Руш, Л. В. Шалунц // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21, № 8. – С. 20-25. – DOI 10.18412/1816-0395-2017-8-20-25.
2. Тетесова, А. А. Сорбция катионов тяжёлых металлов из сточной воды модификациями гидролизного лигнина / А. А. Тетесова, С. Л. Фукс, С. В. Хитрин // Общество. Наука. Инновации (НПК-2019) : Сборник статей XIX Всероссийской научно-практической конференции: в 4-х томах, Киров, 01–26 апреля 2019 года / Вятский государственный университет. Том 1. – Киров: Вятский государственный университет, 2019. – С. 163-173.
3. Зиникова И.В., Пяткова А.В., Грозов А.С. Исследование сорбционных свойств цеолитсодержащих пород Татаро-Шатрашанского месторождения по отношению к ионам тяжелых металлов // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 384-391.

МОНИТОРИНГ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ

Якименко У.Д., Вечер М.Э. студенты

Научный руководитель Тишковская Е.А., Лабусова В.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассмотрена структура Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (НСМОС). Описана цифровая трансформация на базе РИСАМОС (республиканской облачной платформы), обеспечивающая открытость данных для граждан. Приведены параметры Государственной программы «Экология» на 2026–2030 годы с финансированием 1,616 млрд руб. Показано, что по индексу экологической эффективности Беларусь занимает 1-е место в ЕАЭС и 32-е в мире.

Ключевые слова: НСМОС, РИСАМОС, экологический мониторинг, локальный мониторинг, Государственная программа «Экология», цифровая трансформация, Беларусь.

Фундаментом экологической безопасности Республики Беларусь является Национальная система мониторинга окружающей среды (НСМОС). Она объединяет 11 информационно-аналитических центров и более 8,5 тыс. пунктов наблюдений, где ежемесячно анализируется свыше 8 тыс. показателей. НСМОС охватывает все компоненты природной среды: земли, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный и животный мир, лесные ресурсы, радиационную обстановку.

Ключевым проектом последних лет стало создание Республиканской информационной системы автоматизированного мониторинга (РИСАМОС), базирующейся на облачной платформе. Первый этап завершен в 2023 году. В открытом доступе – информация о состоянии атмосферного воздуха в 27 населенных пунктах и Березинском биосферном заповеднике. Система также собирает данные с автоматизированных систем контроля на 144 источниках выбросов крупнейших промышленных предприятий.

Важный элемент – локальный мониторинг. Постановлением Минприроды №59 от 28 октября 2025 года утвержден новый перечень пунктов наблюдений. Природопользователи обязаны иметь карты-схемы с географическими координатами, план-графики измерений и аккредитованные лаборатории. Данные передаются в информационно-аналитический центр в течение 15 календарных дней, а с автоматизированных систем – в непрерывном режиме через РИСАМОС. Затраты на установку таких систем

исключаются из экологического налога, что стимулирует предприятия к их внедрению.

Правительством утверждена Государственная программа «Экология» на 2026–2030 годы с финансированием 1,616 млрд руб. Она включает шесть подпрограмм:

- «Гидрометеорология и климат»: повышение оправдываемости прогнозов погоды до 97,75%, сокращение выбросов парниковых газов на 37% от уровня 1990 года;

- «Стойкие органические загрязнители»: вывод из эксплуатации 100% оборудования с ПХБ;

- «Биологическое и ландшафтное разнообразие»: увеличение доли ООПТ до 9,4% площади страны;

- «Охрана окружающей среды»: достижение 93% периодов с хорошим качеством воздуха и 80% водоемов с хорошим качеством воды;

- «Экология регионов»: ликвидационный тампонаж 90% неиспользуемых скважин;

- «Цель 99»: вовлечение 70% твердых коммунальных отходов в хозяйственный оборот.

За последние 20 лет объем сброса недостаточно очищенных сточных вод сокращен в 7 раз, использование пресной воды уменьшено на четверть. Площадь ООПТ увеличилась на 31 тыс. га. По индексу экологической эффективности Беларусь занимает 1-е место в ЕАЭС и 32-е в мире среди 180 стран, входя в группу с минимальным уровнем загрязнения.

На перспективу до 2030 года Минприроды ставит задачи по расширению сети мониторинга с использованием интернета вещей, БПЛА и спутниковых данных. Планируется создание сервисов прогноза опасных явлений (лесные пожары) и прогнозирование ЧС на радиоактивно загрязненных территориях с применением искусственного интеллекта. Все компоненты НСМОС будут поэтапно интегрированы в РИСАМОС до 2030 года.

Таким образом, в Беларуси создана эффективная многоуровневая система экологического мониторинга, соответствующая лучшим мировым практикам. Цифровая трансформация на базе РИСАМОС и программно-целевой подход Государственной программы «Экология» на 2026–2030 годы обеспечивают переход к устойчивому природопользованию, где экологическая безопасность становится неотъемлемой частью экономического развития.

Литература:

1. Министр природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь Сергей Масляк: «Применение спутниковых данных,

экопросвещение. Как в Беларуси развивается система охраны окружающей среды» // БелТА. – 2025. (Дата обращения 12.04.2026).

2. О Государственной программе «Экология» на 2026–2030 годы: Постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 дек. 2025 г., № 791 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – 2025. (Дата обращения 12.04.2026).

3. Об изменении постановления от 11 января 2017 г. № 5: Постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 28 окт. 2025 г., № 59 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – 2025. (Дата обращения 12.04.2026).

4. Ересько М. А. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь как информационная основа управления // БГУ. – 2024. (Дата обращения 12.04.2026).

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УП «БОРИСОВСКИЙ КОМБИНАТ ХЛЕБОПРОДУКТОВ» И ЕЁ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Якуш В.Д., студент

Научный руководитель Хрипович А.А.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье проанализирована производственная деятельность УП «Борисовский комбинат хлебопродуктов». Оценено воздействие на атмосферу, водные ресурсы и в сфере обращения с отходами. Рассмотрена система экологического контроля и менеджмента. Предложена замена устаревшего фильтра.

Полный цикл переработки сельскохозяйственного сырья традиционно относится к категории производств, оказывающих заметное воздействие на окружающую среду, в первую очередь за счёт значительных объёмов пылевыделений, образования органических отходов и потребления водных ресурсов. Унитарное предприятие «Борисовский комбинат хлебопродуктов» открытого акционерного общества «Минскоблхлебопродукт» является одним из крупнейших в Республике Беларусь многопрофильных агропромышленных комплексов, специализирующихся на хранении и глубокой переработке зерна, производстве комбикормов, муки, макаронных изделий, а также на переработке рапса и выращивании сельскохозяйственной продукции. Площадка предприятия расположена в городе Борисове Минской области и занимает территорию 13,089 гектара, граничащую как с промышленными зонами, так и с жилыми кварталами, что предъявляет повышенные требования к экологической безопасности технологических процессов. Целью настоящей работы является обобщение сведений о производственной деятельности данного комбината и комплексный анализ её воздействия на компоненты окружающей среды – атмосферный воздух, водные объекты и в сфере обращения с отходами – на основе материалов преддипломной практики.

Производственная структура комбината включает несколько ключевых подразделений, каждое из которых является источником тех или иных экологических рисков. Основными цехами являются сортовая мельница производительностью 200 тонн пшеницы в сутки, мельница переменного помола (127 тонн ржаной муки в сутки), комбикормовый цех мощностью 400 тонн в сутки, участок переработки маслосемян рапса (21 тонна в сутки), а также два элеватора общей вместимостью 130 тысяч тонн. Вспомогательные подразделения, такие как ремонтно-механический участок, гаражный комплекс, котельная на местных видах топлива и мини-ТЭЦ, также вносят вклад в загрязнение окружающей среды. Технологические процессы

практически на всех этапах – от приёмки, очистки и сушки зерна до его размола и смешивания компонентов комбикормов – сопровождаются интенсивным выделением твёрдых частиц (мучной и зерновой пыли). Именно недифференцированная по составу пыль является основным загрязняющим веществом, характерным для предприятий данной отрасли.

Оценка воздействия на атмосферный воздух проводилась на основании данных инвентаризации источников выбросов, выполненной в 2025 году. Установлено, что на предприятии функционирует 267 стационарных источников выделения загрязняющих веществ, из которых 193 относятся к категории организованных, а 74 являются неорганизованными. Общее количество выбрасываемых в атмосферу наименований веществ составляет 42, а суммарный валовой выброс от стационарных источников определён в 123,56 тонны в год. При этом нормируемые выбросы (согласно постановлению Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды № 21 от 19 октября 2020 г.) составляют 121,998 тонны в год. Наибольший вклад в валовый выброс вносят твёрдые частицы – 59,52 тонны в год (около 48,8% от общего объёма). Значительны также выбросы оксида углерода (29,491 тонны в год) и диоксида азота (21,199 тонны в год). Последние связаны преимущественно с работой котельного оборудования и мини-ТЭЦ, работающей на природном газе. Отдельно следует отметить, что на предприятии эксплуатируется 80 единиц мобильных источников (автотранспорт и спецтехника), из которых 26 работают на бензине, а 54 – на дизельном топливе, что также вносит вклад в загрязнение приземного слоя атмосферы продуктами сгорания.

Для снижения негативного воздействия на атмосферный воздух на комбинате создана разветвлённая система газоочистки и пылеулавливания. Общее количество газоочистных установок составляет 172 единицы, включая 133 установки фильтрующего типа (преимущественно рукавные фильтры различных модификаций – FKC/A, FLP, РЦИЭ, PFK, PFB) и 39 циклонов (сухая очистка). Наибольшая концентрация пылеулавливающего оборудования наблюдается в комбикормовом цехе (26 точечных фильтров PFB, 2 фильтра PFK, 2 циклофильтра PCF и одна пылеулавливающая стенка POS), а также на элеваторах и сортовой мельнице. Эффективность работы большинства газоочистных установок находится в диапазоне 99,95–99,99%, что является очень высоким показателем. Контроль за эффективностью их работы осуществляется аккредитованными лабораториями не реже одного раза в год, а за вентиляционными системами – не реже одного раза в три года. Ведётся техническая документация на каждую единицу оборудования (паспорта, журналы эксплуатации, графики планово-предупредительных ремонтов). Тем не менее, в ходе анализа было выявлено, что существующий фильтр PCF-1.06 на источнике №424 комбикормового цеха имеет эффективность очистки не более 90%, что не в полной мере обеспечивает

соблюдение нормативов допустимых выбросов. Данный факт требует замены оборудования на более эффективный рукавный фильтр типа РЦИЭУ 10,4-16 со степенью очистки 99,9%. В целом, согласно критериям категорирования объектов воздействия на атмосферный воздух, предприятие отнесено к III категории, что предполагает достаточно жёсткий контроль, но не требует постоянного автоматического мониторинга.

Водоснабжение и водоотведение на комбинате организованы по комбинированной схеме. Предприятие использует как собственную артезианскую скважину (насосный агрегат ЭЦВ 8-25-100), так и воду из городского водопровода УП «Борисовводоканал». Вода расходуется на хозяйственно-питьевые нужды, технологические процессы (например, гидротермическая обработка зерна), а также на нужды котельных и мини-ТЭЦ. Для подготовки воды, используемой в паровых котлах (котёл-утилизатор КУ-1,0П и котлоагрегат VAPOPREX HVP-1), применяется двухступенчатая схема натрий-катионирования на базе модульных систем Clack WS1 EIDuoBloc, что позволяет снизить жёсткость и удалить железо. Сточные воды предприятия подразделяются на хозяйственно-бытовые, производственные и поверхностные (ливневые). Все они отводятся по совмещённой системе канализации. Хозяйственно-бытовые стоки без предварительной очистки поступают в систему водоотведения УП «Борисовводоканал» (договор № 152 от 2012 года), а ливневые стоки – в систему УП «Жилье» (договор № 115/1 от 2016 года). Следует отметить, что производственные сточные воды, образующиеся в технологических процессах переработки сельхозпродукции (в том числе в филиалах мясокомбината и хлебозаводов), сбрасываются в ту же городскую сеть, что создаёт дополнительную нагрузку на муниципальные очистные сооружения. Предприятие имеет действующее разрешение на специальное водопользование № 05/02.0227 от 26 января 2026 года, ведёт учёт водопотребления по формам ПОД-6 и ПОД-7, а также учёт сбросов загрязняющих веществ по форме ПОД-8. Регулярно выполняются лабораторные исследования качества питьевой воды и сточных вод, утверждены графики промывки и хлорирования сетей, что свидетельствует о системном подходе к водохозяйственной деятельности.

Система управления отходами производства на комбинате заслуживает отдельного анализа. В соответствии с классификатором отходов, на предприятии образуются отходы различных классов опасности. К первому классу (чрезвычайно опасные) относятся отработанные ртутные лампы, люминесцентные трубки, ртутные термометры, а также свинцовые аккумуляторы с неслитым электролитом. Эти отходы хранятся в герметичных металлических контейнерах и передаются специализированным организациям (ПЭО «Поступ», УП «Белцветмет») для обезвреживания. Отходы второго класса на предприятии не образуются. К третьему классу (умеренно опасные)

относятся опилки и стружка, загрязнённые органическими химикалиями, отработанный фильтровальный картон, зола и шлак от топочных установок, бой шифера, изношенные шины с металлокордом, отработанные нефтепродукты, ПЭТ-бутылка и загрязнённый полипропилен. Эти отходы собираются в закрытую тару (мешки, контейнеры) и передаются на использование или обезвреживание таким организациям, как ООО «ДВЧ-Эко», ООО «ПарусПластКомпани», ООО «Экологиявторресурсы». К четвёртому классу (малоопасные) и неопасным отходам относятся кожаная обувь, бумажные мешки, изношенная спецодежда, незагрязнённые опилки и стружка, отходы бумаги, стеклобой, а также технологические потери (сметки) и зерновые отходы третьей категории. Особого внимания заслуживает практика использования зерновых отходов третьей категории в качестве топлива для котельной на местных видах топлива (котлы KALVIS KSM 500) в отопительный период. Это позволяет не только утилизировать отходы, но и замещать покупные энергоносители. Часть древесных отходов передаётся филиалу «Большие Новоселки» для использования в качестве подстилки скоту. Отходы, которые невозможно использовать (например, бой шифера, часть золошлаковых отходов, фильтровальные ткани с вредными загрязнениями), направляются на захоронение на полигоне ТКО УП «Жилье» в г. Борисове на основании разрешения на хранение и захоронение отходов № 2749 от 2024 года. Первичный учёт отходов ведётся в местах их образования по форме ПОД-9, а сводный – по форме ПОД-10, что соответствует требованиям ЭкоНП 17.01.06-001-2017.

Важнейшим элементом природоохранной деятельности комбината является функционирование системы менеджмента окружающей среды (СМОС). Положение о СМОС распространяется на все технологические процессы, включая использование сырья и материалов, планирование работ, проведение производственных экологических наблюдений (ПЭН) и реагирование на аварийные ситуации. Организационная структура СМОС построена по иерархическому принципу: ответственность распределена от директора (утверждение политики, анализ со стороны руководства) до руководителей структурных подразделений (практическая реализация). Ключевая роль в оперативном управлении принадлежит ведущему специалисту по охране окружающей среды. Матрица распределения ответственности, приведённая в документах предприятия, охватывает все требования СТБ ISO 14001-2017. Производственный экологический контроль проводится с разной периодичностью: ежедневно – контроль источников образования отходов и мест их хранения; ежемесячно – проверка документации; ежеквартально – лабораторный контроль выбросов, качества атмосферного воздуха на границе СЗЗ, качества питьевой и сточных вод; раз в полгода – визуальный осмотр газоочистных установок; раз в год –

инструментальный контроль эффективности ГОУ. Результаты контроля оформляются в виде протоколов измерений и актов, при выявлении несоответствий выдаются предписания. Предприятие регулярно предоставляет государственную статистическую отчётность по формам 1-отходы (Минприроды), 1-вода (Минприроды), 1-ос (затраты), а также налоговые декларации за выбросы и добычу природных ресурсов. Ежегодное подтверждение соответствия СМОС осуществляется внешними аудиторами РУП «БелГИМ», что подтверждает высокий уровень организации экологического управления.

В заключение следует отметить, что УП «Борисовский комбинат хлебопродуктов» представляет собой современное предприятие, на котором вопросам охраны окружающей среды уделяется системное внимание. Создана и эффективно функционирует многоступенчатая система пылеулавливания, налажен раздельный сбор и переработка вторичных ресурсов, ведётся достоверный учёт воздействия на все компоненты природной среды. Основные экологические проблемы типичны для предприятий данной отрасли: высокий уровень пылевыведений (даже при высокой эффективности очистки абсолютные массы выбросов остаются значительными), необходимость постоянного контроля за состоянием газоочистного оборудования, а также достаточно высокая водоёмкость производства. На основе проведённого анализа предложена конкретная рекомендация по модернизации: замена фильтра РСФ-1.06 на источнике №424 комбикормового цеха на более эффективный рукавный фильтр РЦИЭУ 10,4-16, что позволит повысить степень очистки с 90% до 99,9% и обеспечить безусловное соблюдение нормативов допустимых выбросов. Реализация данного мероприятия будет способствовать дальнейшему снижению нагрузки на атмосферный воздух и улучшению экологической обстановки в прилегающих к предприятию жилых кварталах города Борисова.

Литература:

1. Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды».
2. Закон Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. N 271-З «Об обращении с отходами».
3. Закон Республики Беларусь от 16 декабря 2008 Г. N 2-З «Об охране атмосферного воздуха».

ПРОБЛЕМА ПЕРЕРАБОТКИ ШИН: ОТ «ЧЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ» К «ЧЕРНОМУ ЗОЛОТУ»

Янушкевич Е. Л., Куприянчик И. В., студенты

Научный руководитель Кляусова Ю. В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

Статья исследует утилизацию шин («черное загрязнение»). Рассмотрен мировой опыт и методы переработки: механический, сжигание и пиролиз. Пиролиз признан оптимальным для экономики замкнутого цикла. Проанализированы барьеры отрасли и предложены пути превращения отходов в ценное вторичное сырье.

Ключевые слова

Переработка шин, черное загрязнение, пиролиз, технический углерод, экономика замкнутого цикла, утилизация отходов, экология, вторичные ресурсы, термическая переработка.

Введение:

Ежегодно в мире образуется более миллиарда отработанных автомобильных шин. Этот объем продолжает неуклонно расти вместе с глобальным парком автомобилей. Китай, являясь мировым лидером по производству и потреблению автомобилей, столкнулся с этой проблемой особенно остро: в 2021 году в стране образовалось около 3,3 миллиарда отработанных шин, и лишь 65% из них были собраны для переработки. Остальные миллионы тонн резины скапливаются на свалках, незаконных полигонах или сжигаются, нанося непоправимый вред окружающей среде.

Отработанные шины не зря называют «черным загрязнением». Они занимают огромные площади, практически не разлагаются в естественных условиях (срок разложения оценивается в 100–150 лет), служат идеальным местом размножения грызунов и насекомых — переносчиков заболеваний, а также являются пожароопасными. При возгорании шины выделяют в атмосферу огромное количество канцерогенных веществ и тяжелых металлов, таких как бензопирен, сажа, оксиды серы[1].

Однако парадокс шины заключается в том, что это ценный вторичный ресурс. Высокое содержание углеводов (каучук, масла) и металлокорда делает её источником энергии и вторичного сырья. Поиск эффективных, экономически выгодных и экологически безопасных технологий превращения «черного загрязнения» в «черное золото» стал глобальным вызовом и целью для ученых и промышленников по всему миру. Данная статья рассматривает современное состояние проблемы, анализирует основные технологии переработки на примере ведущих стран (Германия, Япония, Китай) и выявляет ключевые барьеры на пути к созданию устойчивой системы утилизации шин.

1. Масштабы проблемы и мировой опыт регулирования

Проблема переработки шин носит интернациональный характер, и подходы к её решению в разных странах демонстрируют как общие тенденции, так и национальные особенности.

Китай: от кустарной переработки к высокотехнологичным решениям. Китай не только крупнейший производитель, но и крупнейший потребитель шин в мире. К 2020 году ожидалось, что объем образующихся отходов превысит 20 миллионов тонн. Долгое время значительная часть этих отходов перерабатывалась кустарным способом, так называемым «масляным методом» с использованием примитивных печей. Этот метод наносил колоссальный ущерб экологии, так как не предусматривал очистки выбросов и приводил к необратимому загрязнению почвы и воздуха. Получаемые при этом масло и технический углерод имели низкое качество. Осознавая эту проблему, китайское правительство включило переработку шин в разряд стратегических задач. Министерство науки и технологий КНР профинансировало проект по созданию технологии эффективного пиролиза отслуживших шин.

Германия: строгое законодательство и развитая инфраструктура. Германия, как родоначальник европейской автомобильной промышленности, создала одну из самых эффективных систем обращения с отходами. Ключевым элементом является законодательство. Еще в 1994 году был принят закон «О замкнутой экономике и отходах», который установил ответственность производителя за весь жизненный цикл продукта. В Германии запрещено захоронение шин на свалках. Шины классифицируются как особый вид отходов, которые нельзя выбрасывать в обычные контейнеры. Их сдают в пункты приема, часто при автосервисах или шиномонтажных мастерских, при этом потребитель оплачивает стоимость утилизации. Это создает стабильный и прозрачный финансовый поток для предприятий-переработчиков. Примером высокотехнологичного подхода служит завод компании Genap в городе Оренбург, который ежегодно перерабатывает 65 000 тонн шин в высокочистую резиновую крошку, используемую для производства спортивных покрытий, асфальта и новых шин. Эта механическая переработка позволяет извлечь 75% резины, 15% металла и 10% текстильного волокна[2].

Япония: комплексный подход и поиск новых технологий. Япония, страна с ограниченными ресурсами и высоким уровнем экологического сознания, демонстрирует практически 100%- уровень утилизации шин. Ключевым фактором является отлаженная система сбора через сеть станций техобслуживания, автосалонов и компаний по утилизации автомобилей. Японские производители шин (Bridgestone, Yokohama) активно участвуют в процессе, имея дочерние предприятия по восстановлению протектора.

Структура утилизации в Японии диверсифицирована: около 55% шин сжигается для получения тепла (в цементной, бумажной и сталелитейной промышленности), 17% идет на восстановление, 12% перерабатывается в резиновую крошку или регенерат, и около 7% используется в строительстве. Однако японские эксперты считают, что будущее за термическим разложением (пиролизом), как наиболее полным и ценным методом переработки.

2. Технологии переработки: от простого к сложному

Существующие методы утилизации шин можно разделить на две большие группы: механическая переработка (физические методы) и термическая переработка (химические методы и энергоутилизация).

2.1. Механическая переработка: измельчение и восстановление

Восстановление протектора: Это наиболее ресурсосберегающий способ, позволяющий продлить срок службы шины на 30-50%. Он требует наличия качественного каркаса и применяется в основном для грузовых шин. В Японии, например, этим занимаются специализированные заводы, выпускающие продукцию под маркой ведущих брендов.

Измельчение в крошку: Шины проходят многоступенчатое дробление с последующим магнитным разделением для извлечения металлокорда и воздушной сепарацией для отделения текстильного волокна. Примером высокотехнологичного процесса такого типа является завод Genap в Германии. Недостатком метода является то, что качество получаемой резины ниже, чем у первичного сырья, что ограничивает её применение в производстве новых шин.

2.2. Термическая переработка: энергия и сырье

Термические методы позволяют переработать те шины, которые непригодны для механической переработки (например, легковые шины с высоким содержанием синтетического каучука). Они делятся на два основных типа: сжигание и пиролиз.

· Сжигание: Шины имеют высокую теплотворную способность (около 36 МДж/кг), сравнимую с качественным углем. Поэтому их используют в качестве альтернативного топлива в цементных печах, на ТЭЦ и в промышленных котельных. Однако, как указывается в исследовании, простое сжигание (мусоросжигательные заводы) неэффективно, сопровождается выбросами токсичных веществ (диоксины, фураны, SOx, NOx) и не решает проблему полной утилизации ресурса, превращая шины в золу и шлак.

· Пиролиз: На сегодняшний день пиролиз считается наиболее перспективной и экологически чистой технологией глубокой переработки шин. Это процесс термического разложения резины в бескислородной среде (или с ограниченным доступом кислорода) при температурах от 400 до 900°C.

В отличие от сжигания, пиролиз позволяет получить не просто тепло, а ценные продукты:

- Жидкая фракция (пиролизное масло): 40-55% от массы. Это сложная смесь углеводородов, которую можно использовать как котельное топливо или после очистки и перегонки получать фракции, близкие к бензину и дизельному топливу.

- Твердый остаток (пиролизный углерод / техуглерод): 30-40% от массы. Этот продукт является главной ценностью процесса. После модификации и очистки от золы он может заменять первичный технический углерод (сажу), получаемый из нефти, в производстве новых шин, резинотехнических изделий, пластиков и красок. Достижение высокого качества восстановленного техуглерода (rCB) — ключевая технологическая задача[3].

- Газообразная фракция: 10-15% от массы. Состоит из водорода, метана и других горючих газов. Он имеет высокую теплотворную способность и полностью сжигается для поддержания самого процесса пиролиза, что делает его энергонезависимым.

3. Препятствия и перспективы развития отрасли

Несмотря на очевидные успехи и высокий потенциал, индустрия переработки шин, особенно в Китае и странах с развивающейся экономикой, сталкивается с рядом серьезных проблем.

3.1. Технологические проблемы

1. Качество вторичного технического углерода (rCB): Главная проблема пиролиза. Техуглерод, получаемый при пиролизе, содержит примеси золы (до 10-15%) и кокса, а его структура и химия поверхности отличаются от первичных марок. Это делает его пригодным лишь для низкокачественных применений. Для использования в производстве новых шин необходимы сложные и дорогие стадии пост-обработки (активация, измельчение, грануляция)[4].

2. Загрязнение продуктов: Пиролизное масло содержит серу (из вулканизаторов, входящих в состав шин) и может содержать полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), что требует его дополнительной очистки перед использованием. Пиролизный газ требует очистки от сероводорода и других примесей при сжигании.

3.2. Организационные и управленческие проблемы

1. Несовершенная система сбора: В Китае, по данным на 2021 год, сбором охвачено лишь 65% отработанных шин. Огромная их часть оседает на свалках или уходит в теневой сектор кустарной переработки.

2. Нелегальная переработка («масляный метод»): Этот сектор, существующий благодаря низкой себестоимости и уходу от налогов, создает неравные конкурентные условия для легальных, экологически чистых

предприятий, таких как завод Doublestar. Он также дискредитирует саму идею переработки в глазах общественности из-за чудовищного загрязнения окружающей среды.

Заключение

Проблема переработки отработанных шин — это сложный, но решаемый вызов. Мировой опыт, в частности Германии с ее законодательной базой и Японии с ее системой сбора, показывает направление движения. Технологическим же ответом на этот вызов является пиролиз, который позволяет превратить вредные отходы в источник ценного сырья: масла, газа и, что самое важное, технического углерода, способного замкнуть цикл производства шин.

Литература:

1. Бобович, Б. Б. Утилизация и переработка изношенных автопокрышек : учебное пособие / Б. Б. Бобович. – Москва : МГИУ, 2011. – 128 с.
2. Вайсман, Я. И. Управление отходами. Изношенные шины : монография / Я. И. Вайсман, Г. В. Ильиных. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 184 с.
3. Вольфсон, С. И. Методы переработки изношенных шин и резинотехнических изделий / С. И. Вольфсон, И. С. Фафурин // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 14. – С. 132–136.
4. Дроздов, А. Н. Технологии переработки изношенных автомобильных шин / А. Н. Дроздов // Твердые бытовые отходы. – 2020. – № 5. – С. 22–27.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ МОДУЛЕЙ СТОКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЯХ

Яхимович Р.В., студент

Научный руководитель Зубрицкая Т.Е.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Беларусь

В данной статье изучаются расчетные гидрологические характеристики водосборов малых рек Беларуси при отсутствии данных гидрометрических наблюдений, расходы воды и модули стока для различных сценариев.

Ключевые слова: Гидрологические характеристики, модули стока, весеннее половодье, дождевые паводки, предпосевной сток.

Разработка мелиоративных систем и сооружений в Беларуси регулируется целым комплексом нормативно-технических документов. Например, при проектировании осушительных систем с площадью водосбора до 2000 га учитываются следующие расчетные расходы воды [1]: весеннее половодье (с вероятностью 10%), дождевые паводки (10%), предпосевной период (10%) и среднемеженный период (50%). Если же площадь водосбора превышает 2000 га, то основным расчетным показателем становится расход воды весеннего половодья с вероятностью 25%.

При создании гидротехнических сооружений, в зависимости от их класса, используются различные обеспеченности расходов воды: 0,01%, 0,1%, 0,5%, 1%, 3%, 5% и 10%.

Однако текущая система гидрологического мониторинга в Беларуси не полностью удовлетворяет потребностям водного хозяйства, особенно в части проектирования реконструкции и строительства мелиоративных систем на водосборах малых рек. В связи с чем, приходится определять расчетные гидрологические параметры в условиях отсутствия данных наблюдений.

Данная работа посвящена изучению гидрографических характеристик водосборов малых рек Беларуси, расходов воды и модулей стока для расчетных сценариев.

Основная часть

При проведении гидрологических расчетов часто возникают трудности, которые обусловлены как несовершенством существующей нормативно-методической базы, так и сложностью определения отдельных параметров, которые используются в математических моделях для прогнозирования [2]. В Беларуси для определения расчетных гидрологических показателей применяется в основном ТКП 45-3.04-168-2009 (02250) [3].

В данном исследовании были изучены особенности рельефа и рассчитаны модули стока для 78 водосборных бассейнов малых рек на территории Беларуси. При этом были использованы гидрографические характеристики из источника [5], с учетом всех последующих уточнений и дополнений.

Расчеты модулей стока весеннего половодья обеспеченности $P=10\%$, показали их значительную пространственную изменчивость. Самые высокие показатели наблюдаются на северо-востоке страны, а самые низкие – на юго-западе (таблица 1). На эти показатели влияют такие факторы, как количество озер, болот и лесов, а также размер водосборной площади. Чем меньше водосборная площадь, тем меньше и модули стока, что характерно как для малых рек, так и для всей исследуемой территории.

Можно отметить, что модули стока весеннего половодья не имеют четких границ ни по речным бассейнам, ни по гидрологическим районам Беларуси.

Таблица 1 – Модули стока весеннего половодья обеспеченности $P=10\%$ по бассейнам рек Беларуси

Бассейн реки	$q_{10\%}^{ан}, \text{ м}^3/\text{с км}^2$
Западная Двина	0,10-0,49
Днепр	0,04-0,51
Неман	0,02-0,17
Западный Буг	0,02-0,08

Представленные расчеты модулей стока, на наш взгляд, могут быть несколько завышены. Причина в том, что основные гидрологические характеристики, использованные в расчетах, были определены достаточно давно и для многих водосборов уже устарели. Например, масштабные мелиоративные работы значительно уменьшили площади болот, а строительство прудов и водохранилищ увеличило показатель озерности. Также изменились площади водосборов некоторых рек, а лесной покров Беларуси увеличился примерно на 7-8% [4].

Динамику изменения модулей стока весеннего половодья при различных сценариях изменения озерности, заболоченности и залесенности можно проследить на примере водосбора реки Бобр-с.Куты.

Для большинства сценариев изменения гидрографических характеристик водосбора имеет место снижение расходов воды (таблица 2). Причем для наиболее вероятного ретроспективного сценария (увеличение озерности и залесенности, снижение заболоченности) изменение характеристик в пределах 3-4 % приводит к значительному уменьшению расходов воды (на 30-35 $\text{м}^3/\text{с}$ и более) и модулей стока, что фактически уже произошло.

Таблица 2 – Динамика расходов воды весеннего половодья обеспеченности $P=10\%$ в р. Бобр – с. Куты в зависимости от различных сценариев изменения гидрографических характеристик водосбора

Озерность, %	↑	0	1	2	3	4	5
Залесенность, %	↑	48	49	50	51	52	53
Заболоченность, %	↑	3	4	5	6	7	8
Расход воды, м ³ /с		98,9	77,8	63,5	53,2	45,5	39,4
Озерность, %	↑	0	1	2	3	4	5
Залесенность, %	↑	48	49	50	51	52	53
Заболоченность, %	↓	3	2	1	1	1	1
Расход воды, м ³ /с		98,9	82,5	71,5	61,5	53,9	47,9
Озерность, %	=	0	0	0	0	0	0
Залесенность, %	↓	48	47	46	45	44	43
Заболоченность, %	↓	3	2	1	1	1	1
Расход воды, м ³ /с		98,9	102,4	106,2	106,7	107,2	107,8
Озерность, %	=	0	0	0	0	0	0
Залесенность, %	↓	48	47	46	45	44	43
Заболоченность, %	↑	3	4	5	6	7	8
Расход воды, м ³ /с		98,9	96,6	94,4	92,4	90,5	88,7
Озерность, %	=	0	0	0	0	0	0
Залесенность, %	↑	48	49	50	51	52	53
Заболоченность, %	↓	3	2	1	1	1	1
Расход воды, м ³ /с		98,9	101,5	104,3	103,9	103,4	103,0

Модули стока дождевых паводков с вероятностью 10% гораздо менее изменчивы по территории и составляют от 0,01 до 0,09 м³/с·км². Как и в случае с весенним половодьем, увеличение количества озер площади водосбора способствуют снижению модулей стока.

Практически для всех исследованных водосборов прослеживается тенденция к уменьшению максимальных расходов воды весеннего половодья, дождевых паводков с изменением гидрографических характеристик.

Модули стока предпосевного периода с вероятностью 10% варьируются от 0,01 до 0,06 м³/с·км². В некоторых случаях они превышают модули стока дождевых паводков.

Модули среднемеженного стока с вероятностью 50% составляют от 0,0015 до 0,0060 м³/с·км² и уже районированы по территории Беларуси, что позволяет использовать их в практических расчетах. Важно отметить, что

увеличение площади водосбора не влияет на объемы стока в предпосевные и среднемеженные периоды

Заключение

1. Отсутствие современных данных о гидрографических характеристиках водосборов малых рек Беларуси предполагает проведение дополнительных гидрологических изысканий при разработке проектов мелиоративных систем.

2. Комплексное мелиоративное освоение земель привело к уменьшению заболоченности и увеличению озерности водосборов, в результате чего расчетные модули стока весеннего половодья и дождевых паводков снизились.

3. Изменения гидрографических характеристик (озерности, заболоченности, залесенности водосборов) в пределах нескольких процентов приводят к статистически значимому изменению модулей стока весеннего половодья и дождевых паводков.

4. В виду существенного влияния площади водосбора на величины модулей стока, целесообразно при районировании территории Беларуси проводить дифференцированную оценку модулей стока весеннего половодья и дождевых паводков по площадям водосборов: до 500 км², 500-1000 км², более 1000 км².

Литература:

1. ТКП 45-3.04-8-2005 (02250) Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2006.

2. Рождественский, А.В. Современная проблема инженерных гидрологических расчетов по обобщению гидрологической информации в России и пути ее решения / А.В. Рождественский, А.Г. Лобанова // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 7. – С. 81–95.

3. ТКП 45-3.04-168-2009 (02250) Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010.

4. Природная среда Беларуси / Национальная академия наук Беларуси, Институт проблем использования природных ресурсов и экологии; под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: НООО «БИП-С», 2002. – 424 с.

5. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеиздат. – Т.5. – ч.1., 1966. – 718 с.