

**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.

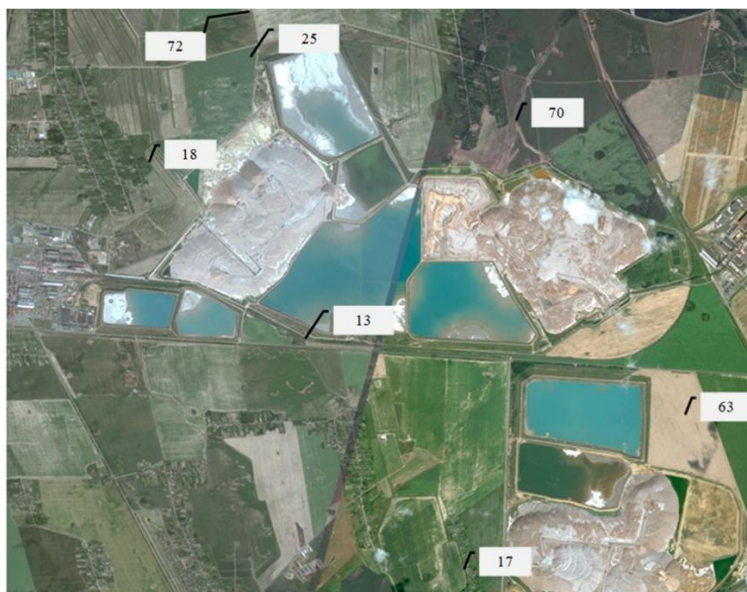


Рисунок 1 – Схема расположения наблюдательных скважин в зоне влияния солеотвала РУ №2 (космоснимок)

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 соленотвала 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 $D_m = 10^{-4}$ м²/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 соленотвала. 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/дм³) 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).