

## МЕТОД БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ С ВЫСОКОЙ ЗАСОЛЕННОСТЬЮ ПОЧВ НА ОСНОВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЛАНТАЦИЙ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

**Родькин Олег Иванович**

*кандидат биологических наук, доцент, Белорусский национальный технический Университет, Республика Беларусь, г. Минск, [aleh.rodzkin@rambler.ru](mailto:aleh.rodzkin@rambler.ru)*

**Timothy Volk**

*профессор, Центр устойчивой и возобновляемой энергетики Государственного Университета Нью-Йорк, State University of New York. College of Environmental Science and Forestry (SUNY-ESF), Syracuse, USA, New York, [tavolk@esf.edu](mailto:tavolk@esf.edu)*

**Басалай Ирина Анатольевна**

*кандидат технических наук, доцент, Белорусский национальный технический Университет, Республика Беларусь, г. Минск, [irgrig@tut.by](mailto:irgrig@tut.by)*

**Черненко Евгения Вячеславовна**

*инженер НИЛ «Экопром», Белорусский национальный технический Университет, Республика Беларусь, г. Минск, [echernenok@mail.ru](mailto:echernenok@mail.ru)*

Повышенная концентрация солей является одной из причин деградации и нарушения баланса почвенных и водных экосистем. Эта проблема является особенно актуальной для таких стран, как Республика Беларусь, на территории которой расположено крупнейшее месторождение калийных солей. На 2015 г., образовалось и хранится более 1000 млн т галитовых отходов и шламов, что представляет реальную угрозу окружающей среде. Одним из эффективных методов рекультивации засоленных почв является биологический, основанный на использовании устойчивых растений – галофитов. Особый интерес представляют посадки быстрорастущей ивы, биомасса которой может быть использована на энергетические цели. Существуют виды ивы, устойчивые к засолению, что подтвердили экспериментальные исследования, проведенные в бассейне озера Онондага (США) на почвах, засоленных в результате размещения отходов промышленной деятельности.

*Ключевые слова:* засоление почв, биологическая рекультивация, энергетические культуры, быстрорастущая ива.

## THE METHOD OF BIOLOGICAL RECLAMATION OF AREAS WITH RAISED SOIL SALINITY ON THE BASE OF ENERGY TREES PLANTATIONS

*Rodzkin O. I., Volk T., Basalay I. A., Chernenok E. V.*

The extra salt concentration it is one of the reason soils degradation and destroying of soils and water ecosystems. This problem is urgently actual for Republic of Belarus that has one of the biggest deposits of potassium salt. At the result in 2015 Belarus has more than 1000 million ton of halite waste that are real problem for country environment. One of the effective methods of degraded raised soils salinity reclamation is using of resistant halophyte plants. The special interest and profit it is using fast growing willow trees, which biomass may be used for energy production. There are some species of willow that resistant to salt salinity. It was supported by our experiments that were fulfilled in watershed of Onondaga Lake (USA), on the raised soil salinity at the result of industrial waste placement.

*Key words:* raised soil salinity, biological reclamation, energy crops, fast growing willow.

**Введение.** Повышенная концентрация солей является одной из причин деградации и нарушения баланса почвенных и водных экосистем. Большинство культивируемых растений приспособлено к существованию в определенном диапазоне концентрации солей, избыток которых в почвенном растворе оказывает отрицательное воздействие на их рост и развитие [10]. По концентрации солей водоемы подразделяются на три группы: пресные с концентрацией солей 0,5–1 г/л), солоноватые – до 10 г/л и соленые – свыше 10 г/л), равновесие экосистем нарушается с изменением солевого баланса среды [13]. Основные источники засоления территорий – это добыча полезных ископаемых, прежде всего калийных или каменных солей, и размещение отходов промышленной деятельности.

В Республике Беларусь засоленность территорий, связанная с производством калийных удобрений, является одной из наиболее сложных региональных экологических проблем. Основным сырьем для производства калийных и комплексных удобрений, а также других химических веществ является калийная руда, по запасам которой Беларусь занимает 3-е место в мире. Основная сырьевая база калийной промышленности Беларуси – Старобинское месторождение, на территории которого расположен Солигорский горнопромышленный район. На 2015 г. около 930 млн т галитовых отходов хранится в солеотвалах и около 110 млн т в шламохранилищах. Результаты исследования количественного содержания солей, хлора и натрия в почвенных образцах, отобранных на разном расстоянии от терриконов, представлены в таблице (таблица 1) [5].

Таблица 1 – Содержание химических загрязнителей в исследуемых почвенных пробах

Наименование химических загрязнителей	Расстояние от терриконов, м		
	≤0,1	150–200	≥500
Содержание солей (%) / степень засоления <sup>1</sup>	18,56 очень сильно засоленные	0,15 слабо засоленные	0,27 слабо засоленные
Содержание хлора Cl <sup>-</sup> (мг/кг) / степень загрязнения <sup>2</sup>	1950,75 очень высокая	64,6 повышенная	73,8 повышенная
Содержание натрия Na <sup>+</sup> (мг/кг) / степень загрязнения <sup>3</sup>	39,0 повышенная	22,0 средняя	26,0 средняя

<sup>1</sup> – в соответствии с группировкой почв по степени засоления [1].

<sup>2</sup> – в соответствии с группировкой по содержанию и степени загрязнения почв хлоридами [2].

<sup>3</sup> – в соответствии с градацией почв по степени загрязнения водорастворимым натрием [3].

В результате загрязнения из сельскохозяйственного оборота изъяты тысячи гектаров земель, происходит интенсивное загрязнение подземных вод, воздушной среды, почв, угнетение растительности, заболачивание и подтопление территории в результате просадок [7, 9]. Загрязнение подземных вод зафиксировано до глубины 110 м, а ореолы засоления пресных вод распространились на расстояния более 2 км [6].

В настоящее время существует несколько методов рекультивации засоленных территорий: физические, химические, гидротехнические и биологические. Биологическая рекультивация основана на возделывании сельскохозяйственных культур, что способствует улучшению структуры почвы и выделению углекислоты, уменьшению испарения с поверхности полей, закреплению поверхностного слоя почвы корневой системой растений и предотвращению развития водной и ветровой эрозии. Исследования по влиянию засоленности среды на всхожесть и развитие растений на экспериментальных полях Солигорского района на почвах с содержанием водорастворимого натрия и хлора, в 4–8 раз превышающим фоновые концентрации (как правило, вблизи солеотвалов), выявили повышенное поражение растений зерновых культур грибковыми заболеваниями (мучнистая роса, ржавчина, пыльная головня) [4].

Одним из перспективных направлений для рекультивации засоленных территорий является внедрение плантаций энергетических древесных растений, преимуществом которых является способность быстро накапливать биомассу, которая может быть использована для получения энергии на возобновляемой основе. Урожайность древесных растений может достигать 10–15 тонн с гектара в пересчете на год и сухое вещество [13]. Результаты экспериментов с рядом древесных культур, прежде всего ивы и тополя, доказывают перспективность такого направления.

Эксперименты с быстрорастущими энергетическими сортами ивы были проведены в условиях Польши. Растения высаживались на почвах с повышенным уровнем засоленности территории, близлежащей к соляным шахтам. Было установлено, что растения ивы способны произрастать на засоленных территориях, а эффективное лазерное излучение позволяет улучшить их адаптацию к загрязненным солью почвам [15]. Способность древесины растений в естественных условиях произрастать на засоленных территориях затапливаемых речных бассейнов, после лесохозяйственных прочисток, доказана в экспериментах канадских исследователей [12]. Также экспериментально установлена видовая специфичность растений ивы по устойчивости к воздействию солей [14, 18].

В Республике Беларусь на протяжении ряда лет проводились полевые эксперименты по выращиванию ивы на деградированных землях, в частности, на выработанных торфяниках, почвах загрязненных тяжелыми металлами и радионуклидами [8]. Тем не менее возделывание ивы на засоленных территориях требует проведения дополнительных исследований. Результаты экспериментов, выполненных на базе колледжа лесоводства и охраны окружающей среды (SUNYESF) США, представлены в данном обзоре.

**Материалы и методы исследования.** Экспериментальная плантация ивы заложена в бассейне озера Онондага, расположенного непосредственно в городе Сиракузы, штат Нью-Йорк, США. Площадь озера составляет 11,7 км<sup>2</sup>, средняя глубина 12 метров и максимальная глубина 20,5 м. Вблизи озера был построен крупный комбинат по производству соды, отходы производства которого с высокой концентрацией солей размещались на прибрежной территории. После прекращения деятельности комбината отходы производства соды занимают площадь приблизительно 600 гектаров, а высота отвалов составляет 16–21 м [11]. Создание системы укрытия полигона является ключевым направлением для улучшения окружающей среды. Использование искусственных материалов для укрытия являются достаточно дорогим методом, и альтернативным направлением является создание плантаций ивы, которые обеспечивают транспирацию и максимальный перехват стоков, при этом улучшая качество почвы.

Полевой эксперимент заложен непосредственно на территории полигона отходов. Растения 10 клонов ивы были высажены черенками различного размера: 25 и 50 см, в четырехкратной повторности. Предварительно проводилось внесение органических удобрений для улучшения структуры почвы.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Урожай древесины ивы, как правило, убирается один раз в три года. Такой период обоснован с экономической точки зрения. Первая уборка древесины проводилась в 2006 г. Таким образом, на 2016 г. это уже четвертая ротация плантации на экспериментальном участке. Биологический возраст плантации составляет 12 лет, но на 2016 г. возраст плантации составляет четвертый год от предыдущего периода уборки. Высота растений на плантации составляла от 3 до 6 м и в значительной степени зависела от вида ивы.

Результаты анализа химического состава почв, на которых закладывались экспериментальные участки, представлены в таблице (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика почвенных условий на экспериментальном участке.

Глубина, см	№ поля	Содержание, г/кг		Содержание, г/кг		Кислотность		Органическое вещество	
		Ca	A ± *	Na	A ±	pH	A ±	%	A ±
0–20	1	5,57	0,28	30	5	8,3	0,1	9,6	0,7
	2	23,68	4,55	40	8	10,5	0,6	2,2	0,5
	3	6,89	1,61	42	3	8,8	0,2	5,9	0,4
20–40	1	5,14	0,23	30	2	8,4	0,1	6,4	0,9
	2	30,46	5,68	50	9	11,1	0,6	2,2	0,7
	3	14,20	5,23	44	3	9,3	0,5	3,7	1,1
40–60	1	6,34	0,31	24	1	8,3	0,1	3,9	0,9
	2	25,43	2,43	135	85	10,5	0,3	3,0	0,3
	3	16,50	2,25	42	4	9,6	0,3	3,2	0,5
60–80	1	11,50	1,75	21	4	9,0	0,2	3,9	0,4
	2	26,12	4,72	298	250	10,5	0,4	2,9	0,7
	3	13,80	0,97	51	5	9,2	0,2	4,6	0,7

A\* – стандартная ошибка среднего

Очевидно, что в результате захоронения отходов для экспериментальных полей характерна щелочная среда почвенного раствора. При этом величина pH даже несколько увеличивается с возрастанием глубины почвы по профилю. В верхнем почвенном горизонте этот показатель колеблется от 8,3 до 10,5 в зависимости от участка. Щелочная среда является следствием высокого содержания в почве таких элементов, как кальций и натрий. Содержание натрия существенно возрастает по профилю почвы и превышает показатели, характерные

для почв вблизи добычи калийных солей в Республике Беларусь (таблица 1). Вместе с тем для почв участка Онондага характерен достаточно высокий уровень содержания органических веществ, который существенно различается в зависимости от участка. Это связано с предварительным внесением удобрений перед посадкой растений и, по-видимому, компенсирует отрицательное влияние на них повышенного содержания солей.

Как уже было отмечено, на экспериментальном участке высажены 10 клонов ивы различных видов:

- S365 – *Salix caprea*
- SV1 – *Salix viminalis x dasyclados*
- SX61 – *Salix sachalinensis*
- SX64 – *Salix miyabeana*
- 9882-34 (Fish Creek) – *Salix purpurea*
- 98101-66 – *Salix dasyclados x S. miyabeana*
- 9837-77 – *Salix eriocephala*
- 9870-23 – *Salix miyabeana*
- 9871-26 – *Salix miyabeana*
- 9871-31 – *Salix miyabeana*

Потенциал ряда из этих клонов при выращивании в условиях повышенной концентрации солей исследовали в вегетационном эксперименте [16, 17]. Растения ивы клонов SX64 – *Salix miyabeana*, 9882-34 (Fish Creek) – *Salix purpurea* и 9870-40 *Salix sachalinensis x Salix miyabeana* на протяжении 6 недель выращивались на грунте, взятом на полигоне озера Онондага. В течение вегетации растения поливали раствором солей хлора. В этих условиях более высокая продуктивность биомассы была у клона 9870–40.

Результаты продуктивности клонов ивы при выращивании на полевом экспериментальном участке представлены на рисунке 1.

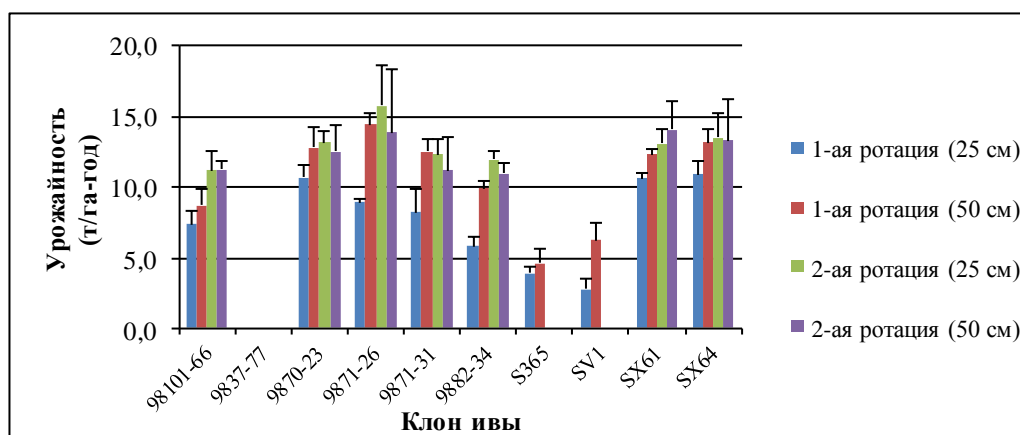


Рисунок 1 – Урожайность двух ротаций ивы на участке оз. Онондага

Наиболее высокая урожайность отмечена для клона 9871-26, SX64 и SX61. Первые два клона относятся к виду ивы *Salix miyabeana* и клон SX61 к виду *Salix sachalinensis*. Клоны ивы упомянутых видов не встречаются в комбинациях скрещиваний известных в Европе, как и в Беларуси, сортов. Вместе с тем их высокий потенциал, особенно при выращивании на засоленных почвах, представляет значительный интерес для европейских стран. Следует отметить, что растения ивы данных видов хорошо адаптированы к зимнему периоду в условиях г. Сиракузы (штат Нью-Йорк). Это северный штат, температурные условия на территории которого в течение зимы вполне сопоставимы с южной агроклиматической зоной Республики Беларусь.

Одним из дискуссионных вопросов является способность растений ивы поддерживать продуктивность (выход древесины) в течение ряда лет (период скашивания). Обычно срок существования плантации планируется на 21–22 года или 7 периодов скашивания без суще-

ственного снижения урожайности. Как следует из данных эксперимента, для большинства клонов ивы урожайность второй ротации была даже выше, чем первой. При этом в течение первого цикла более продуктивными были растения, полученные из черенков длиной 25 см, а в течение второго – 50 см. Для объяснения этого факта необходимо проведение дополнительных исследований.

**Заключение.** Биологическая рекультивация территорий с засоленными почвами на основе энергетических плантаций быстрорастущих древесных культур обеспечивает как экологические, так и экономические преимущества. Древесина может быть использована в качестве возобновляемого биотоплива, что позволяет решать проблемы энергообеспечения на локальном уровне. Экспериментальные исследования, проведенные на территориях бассейна озера Онондага, почвы которого содержат избыточное количество кальция и натрия и имеют щелочную среду вследствие размещения отходов деятельности предприятия по производству соды, подтвердили возможность эффективного выращивания растений ивы. Наиболее высокая продуктивность (13–15 т сухой древесины в пересчете на год) получена для клонов ивы видов *Salix miyabeana* и *Salix sachalinensis*, которые не используются для создания европейских сортов ивы. Их высокий потенциал, особенно при выращивании на засоленных почвах, представляет интерес для европейских стран, в том числе для Республики Беларусь, значительная территория которой загрязнена вследствие добычи и переработки калийных солей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Базилевич Н. И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов / Н. И. Базилевич, Е. И. Панкова // Бюл. Почв. Ин-та им. В. В. Докучаева. – 1972. – Вып. 5. – С. 36–40.
2. Головатый С. Е. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий». Сообщение 1. Хлориды / С. Е. Головатый [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 1 (40). – С. 297–306.
3. Головатый С. Е. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий». Сообщение 2. Натрий / С. Е. Головатый [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 2 (41). – С. 244–255.
4. Головатый С. Е. Возделывание сельскохозяйственных культур в условиях хлоридно-натриевого загрязнения почв: рекомендации / С. Е. Головатый, З. С. Ковалевич, Н. К. Лукашенко, Г. В. Пироговская. – Минск Институт почвоведения и агрохимии, 2010. – 28 с.
5. Гуцева Е. Ю. Фитомелиоративные мероприятия по улучшению деградированных земель Солигорского горно-промышленного района / Е. Ю. Гуцева, В. О. Лапинская, И. А. Басалай, Г. В. Бельская // Инженерная экология: проблемы и решения: Сб. тр. науч.-практ. конф., БНТУ, март 2015 г. – Мозырь: Белый ветер, 2015. – С. 68–72.
6. Коробейников Б. И. Пресные подземные воды Беларуси и их экологическое состояние в условиях изменяющегося климата / Матер. междунар. семинара 5–6 ноября 2014 г. / Сост.: А. А. Савастенко, А. В. Яковенко. – Минск: «Бел НИЦ «Экология», 2014. – С. 87–93.
7. Логинов В. Ф. Природная среда Беларуси: монография / под ред. В. Ф. Логинова // Ин-т проблем использования прир. рес. и экологии. – Минск: НОООБПН, 2002. – 424 с.
8. Родькин О. И. Производство возобновляемого биотоплива в аграрных ландшафтах: экологические и технологические аспекты: монография / О. И. Родькин. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – 212 с.
9. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2013 год /под общей ред. академика В. Ф. Логинова. – Минск: Институт природопользования НАН Беларуси, 2014. – 364 с.
10. Якушкина Н. И. Физиология растений: Учебник / Н. И. Якушкина, Е. Ю. Бахтенко. – Вологда: ВЛАДОС, 2004. – 463 с.
11. Calcium carbonate deposition in Ca+polluted Onondaga lake, New York, U.S.A. Robert N. Womble, Charles T. Driscoll and Steven W. Effler // Wat. Res., 1996. – Vol. 30. – №. 9 – P. 2139–2147.

12. Effects of selected forest management-practices on environmental parameters related to successional development on the Tanana river floodplain, interior Alaska / J. Yarie // Canadian journal of forest research-revue Canadienne de rechercheforestiere; May, 1993, 23 5 – P. 1001–1014, 14p.
13. Environmental Science. – Uppsala : The Baltic University Press, 2003. – 824 p.
14. Examining the salt tolerance of willow (*Salix* spp.) bioenergy species for use on salt-affected agricultural lands / R. D. Hanks, J. J. Schoenau, K. C. J. Van Rees, H. Steppuhn // Canadian Journal of Plant Science. – 2011, 91 (3) – P. 509–517.
15. Management and reclamation of lands with raised soil salinity degraded by activity of mining industry / M. Jakubiak, M. Sliwka // Gospodar kasurowcami mineralnymi-mineral resources management; 2008, 24 3, Part: 3–p 129-p 138, 10 p.
16. Mass balances and allocation of salt ions from Solvay storm water for shrub willow (*Salix* spp.) / JaconetteMirck, Timothy A. Volk]. // Biomass and bioenergy (2012) – P. 427–438.
17. Response of three shrub willow varieties (*Salix* spp.) to storm water treatments with different concentrations of salts / JaconetteMirck, Timothy A. Volk // Bioresource Technology, 2010(101) – P. 3484–3492.
18. The characterization of willow (*Salix* L.) varieties for use in ecological engineering applications: Co-ordination of structure, function and autecology / Yulia A. Kuzovkina, Timothy A. Volk // Ecological Engineering 35 (2009) – P. 1178–1189.

УДК 633.174.1(571.63)

## ПИТАТЕЛЬНОСТЬ САХАРНОГО СОРГО В ОДНОВИДОВЫХ И СМЕШАННЫХ ПОСЕВАХ С БОБОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ

**Нафиков Макарим Махасимович**

*доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральный университет», Россия, Республика Татарстан, г. Казань, Nafikov\_Makarim@mail.ru*

**Нигматзянов Айдар Равилевич**

*ФГБОУ ДПО «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса» Россия, Республика Татарстан, г. Казань, arnig76@ya.ru*

Для разработки технологий возделывания одновидовых и смешанных посевов засухоустойчивых культур, а также обеспеченности кормовой единицы протеином в Закамье были проведены полевые опыты и лабораторные исследования. Установлена возможность возделывания сахарного сорго, проса в смеси с соей и кормовыми бобами.

*Ключевые слова:* сахарное сорго, засухоустойчивость, соя, смеси растений, урожайность, сухое вещество, кормовые единицы, протеин.

## NUTRITIONAL VALUE OF SWEET SORGHUM IN SINGLE-SPECIES AND MIXED CROPS WITH LEGUMES

*Nafikov M. M. Nigmatzyanov A. R.*

For the development of technologies of cultivation of single-species and mixed crops of drought-resistant crops and provision of fodder units with protein in Zakam'e were carried out field experiments and laboratory tests. The possibility of cultivation of sugar sorghum, millet mixed with soya and fodder beans.

*Key words:* sweet sorghum, drought tolerance, soybean, mixture of plants, yield, dry matter, fodder units, protein.

Засушливость климата является основной причиной неустойчивости отрасли кормопроизводства Республики Татарстан. За последнее десятилетие основной тенденцией регионального изменения климата является повышение повторяемости засушливых лет. Поэтому