

УДК 631.445.52

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ КАУСТОБИОЛИТОВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВЫ В ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

А. А. Хрипович<sup>1</sup>, А. А. Цыганова<sup>2</sup>, Е. А. Тишковская<sup>3</sup>

<sup>1</sup> К. т. н., доцент кафедры «Инженерная экология», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: anna.hriповich@gmail.com

<sup>2</sup> К. с.-х. н., доцент, заведующий кафедрой «Инженерная экология», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: anna-1981-81@mail.ru

<sup>3</sup> Аспирант, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: elizaveta.tishkowskaya@yandex.ru

### Реферат

Исследованы основные агрохимические и агрофизические свойства засоленной почвы, отобранной в зоне складирования галитовых отходов ОАО «Беларуськалий». Установлено повышение содержания солей и изменение кислотности почвенной вытяжки до 8–9 pH на значительном (до 300 м) удалении от террикона и вглубь почвы. В модельных опытах показана положительная динамика снижения содержания хлорид-ионов в почве в присутствии торфа различного видового состава и степени разложения.

**Ключевые слова:** засоленная почва, техногенно нарушенные экосистемы, содержание хлорид-ионов, торф, кислотность почвы, миграция солей.

### USE OF NATURAL CAUSTOBIOLITES TO MINIMISE SOIL SALINIZATION IN TECHNOGENICALLY DISTURBED ECOSYSTEMS

A. A. Khrypovich, A. A. Tsyganova, E. A. Tsishkouskaya

### Abstract

The basic agrochemical and agrophysical properties of saline soil sampled in the zone of halite waste storage of JSC "Belaruskali" have been investigated. Increase of salt content and change of acidity of soil extract up to 8-9 pH at a significant (up to 300 m) distance from the heap and deep into the soil were established. In modelling experiments the positive dynamics of chloride ions content decrease in soil in the presence of peat of different species composition and degree of decomposition is shown.

**Keywords:** saline soil, technogenically disturbed ecosystems, chloride ion content, peat, soil acidity, salt migration.

### Введение

По оценкам [1] получение одной тонны калийных удобрений приводит к образованию от 0,99 до 4,97 т твердых и от 0,3 до 1,1 т жидких отходов. До 75 % массы добываемой сильвинитовой руды переходит в отходы, представляющие собой галит (хлорид натрия, содержащий также хлориды магния и кальция) и жидкие глинисто-солевые шламы. Ежегодно в ОАО «Беларуськалий» образуется свыше 17 млн галитовых и около 2,0 млн глинисто-солевых шламов [2]. Складирование галитовых отходов, образующих при производстве калийных удобрений, является одним из важнейших фактов, определяющих техногенное воздействие на экосистемы Солигорского района. В результате деятельности ОАО «Беларуськалий» за последние десятилетия на территории района уже размещены галитовые отходы на более чем 1,9 тыс. га, объем отходов превысил 1 млрд т [2]. К сожалению, только на одном из пяти рудоуправлений предприятия внедрена технология складирования отходов в выведенные из эксплуатации шахтные стволы. При самых благоприятных прогнозах освоения этой передовой технологии на всех подразделениях предприятия уже находящиеся на территории Солигорского района галитовые отходы будут оставаться источником засоления почвы в обозримом будущем. Эмиссия и хлоридов из террикона происходит не только с помощью осадков и миграцией по почвенному профилю, но и с помощью ветра вследствие увеличения высоты террикона при складировании более интенсивными способами. Интенсивные технологии складирования позволяют размещать отходы на уже эксплуатируемых площадках, не увеличивая площадь земель, отчуждаемых под полигоны размещения галитовых отходов [2]. Однако увеличение высоты террикона приводит к увеличению площади зоны воздействия галитовых отходов. В этой связи поиск новых технических решений по минимизации засоления почвы в техногенно нарушенных экосистемах является своевременным и актуальным.

### Агрохимические свойства засоленной почвы и их изменения в присутствии природных каустобиолитов

**Методы и объекты исследования.** Для исследований были отобраны образцы засоленной почвы в зоне воздействия второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий» в радиальном направлении с шагом 100 м (образцы 1, 2, 3). На расстоянии 200 м от террикона были также отобраны пробы почвы по глубине с шагом 0,15 м (образцы 2–1, 2–2, 2–3, 2–4).

Процентное соотношение первичных частиц различной крупности по фракциям определяли согласно ГОСТ 12536-2014 «Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состояния». Определение влажности производили согласно ГОСТ 28268-89 «Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений», зольность – согласно ГОСТ 27784-88 «Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв». Определение кислотности анализируемых образцов почвы, позволяющее определить тип засоления, – согласно ГОСТ Р 58594-2019. Массовая концентрация хлорид-ионов в водных вытяжках проводилась потенциометрическим методом с использованием ионселективного электрода. Метод заключается в измерении разности потенциалов измерительного ионселективного электрода и электрода сравнения в растворе с помощью иономера. Концентрацию определяемого иона находят по градуировочному графику зависимости потенциала от отрицательного логарифма молярной концентрации ионов хлора в градуировочных растворах.

Выполненная в предыдущих исследованиях [3] агрофизическая и агрохимическая характеристика засоленной почвы позволяет сделать вывод о том, что тип почвы дерново-подзолистый, гранулометрический состав почвы с преобладанием фракции средней крупности (крупность частиц от 1 до 5 мм) определяет связно-песчаный состав почвы по классификации Н. А. Качинского [4].

Влажность исследуемых образцов [3] составила 5–9 %, зольность 98,2–99,6 %, содержание органического вещества менее 1 %, что подтверждает потерю почвой гумуса за счет выщелачивания и повышенной миграции органических веществ почвенного поглощающего комплекса. Для условий Беларуси, когда среднее содержание гумуса составляет 2,24 %, а треть пахотных земель содержит менее 2,0 % гумуса [5], такая утрата плодородия может являться критичным фактором изменения ландшафта.

Как следует из данных таблицы 1, содержание хлорид-ионов в образцах почвы снижается при удалении от террикона, однако даже на расстоянии 300 м остается достаточно высоким для того, чтобы отрицательно сказываться на росте и развитии растений. На расстоянии 300 м уже начинается территория сельскохозяйственных угодий.

Таблица 1 – Химические свойства засоленной почвы

Образец	ЭДС электродной системы, мВ	Отрицательный логарифм молярной концентрации ионов хлора $pC_m$	Молярная концентрация ионов хлора $C_m$ , ммоль/дм <sup>3</sup>	pH
Проба 1	98,0	1,47	33	9,0
Проба 2.1	191,1	3,36	0,436	8,7
Проба 2.2	204,5	4,36	0,043	8,6
Проба 2.3	207,0	4,61	0,024	8,6
Проба 2.4	203,1	4,24	0,057	8,4
Проба 3	166,6	2,51	3,058	8,1

Из анализа данных таблицы 1 следует, что проникновение солей зафиксировано на глубине 0,6 м при общей тенденции к уменьшению количества солей. Увеличение содержания хлорид-ионов в образце 2–3 по сравнению с предыдущим слоем возможно объяснить различием в составе почвы и присутствием повышенного содержания глины в данном образце, что способствовало более медленной эмиссии почвенного раствора в нижние слои почвы и накоплению солей именно на этом уровне.

В условиях Беларуси для структурирования засоленных почв наиболее перспективно применение торфа и сапропеля, по запасам которых наша страна занимает первое место в Европе. Сапрпель – илистые отложения озер с высоким содержанием органического вещества и полезных микроэлементов. Сапрпель успешно применяется как мелиорант и удобрение в сельском хозяйстве Беларуси и может использоваться при рекультивации не только как источник минерального питания растений и успешный фактор структурирования почвенного горизонта, но и эффективный сорбент катионов.

Внесение торфа более целесообразно на супесчаных и песчаных почвах, характеризующихся слабой влагоудерживающей способностью и высокой водопроницаемостью. Эти свойства песчаных почв являются основополагающим фактором миграции ионов в сильно засоленных почвах. На тяжелых суглинистых и глинистых почвах внесение торфа менее эффективно, но сорбционные способности торфяной матрицы по отношению к одно- и двухвалентным катионам позволяют прогнозировать достаточно успешное применение торфа как сорбента.

Для модельных опытов изучения миграции солей в присутствии природных каустобиолитов были выбраны образцы торфа различного генезиса (низинный и верховой) наиболее распространенные в Республике Беларусь. Характеристика образцов торфа представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика образцов торфа, использованных в модельных опытах

Тип торфа	Степень разложения, %	pH водной вытяжки	Содержание веществ, %				
			Битумы	Водорастворимые легкогидролизуемые	Гуминовые с фульвокислотами	Трудногидролизуемые	Лигнин
Верховой пушицево-сфагновый	20	4,2	4,0	47,0	24,9	5,9	18,2
Низинный осоковый	45	5,3	1,2	33,0	43,4	7,2	15,2

Как следует из данных таблицы 2, верховой пушицево-сфагновый торф отличается низкой степенью разложения и кислотностью, а также повышенным содержанием водорастворимых и легкогидролизуемых соединений. Низинный осоковый торф характеризуется высокой степенью разложения и высоким содержанием гуминовых и фульвокислот, его кислотность близка к нейтральной и составила 6,4. Это дает основания предполагать хорошую сорбционную способность верхового торфа и характеризует низинный торф как хороший источник питательных веществ для произрастания растений. Определение проводили потенциометрическим ионселективным методом при экстрагировании засоленной почвы и торфа в соотношении 30:1.

Результаты модельных опытов, приведенные на рисунках 1 и 2, свидетельствуют о снижении концентрации хлорид-ионов в присутствии торфа на 27–37 %. При экстрагировании большее снижение концентрации наблюдалось при добавлении осокового торфа низинного типа.

Результаты модельных опытов с использованием торфа, представленные на рисунке 3, показали не только положительную динамику уменьшения миграции катионов до 10–20 % по почвенному горизонту, но и снижение кислотности почвы. Внесение торфа, имеющего кислую и слабокислую реакцию среды, позволяет нивелировать щелочную реакцию засоленной почвы до нейтральной, что положительно сказывается на произрастании растений.

На первом этапе биологической рекультивации выращивают «авангардные» культуры, способные развиваться в условиях нару-

шенных экосистем и оказывать положительное воздействие на их биоту. В зависимости от направления дальнейшего использования земель этот этап может продолжаться 3–7 лет.

В качестве таких культур для засоленных земель используют ромашку непахучую [6], амарант, полынь [7], костер полевой, ежа сборная, овсяница обыкновенная и др. Перспективными являются неиспользуемые пока в Беларуси сорго обыкновенное и солодка голая.

Для фитомелиорации засоленных, песчаных, сухих, щелочных почв в качестве растений-галофитов были протестированы мятлик, фацелия, свекла и ячмень, как распространенные в растениеводстве Беларуси культуры различных классов: мятлик – кормовая трава, фацелия – популярный медонос и сидерат, свекла – овощная культура, ячмень – зерновая культура.

Всхожесть семян в отобранных образцах почвы. Для этого поместили в контейнеры 3 пробы почвы и универсальный грунт, полили водой и оставили на некоторое время для впитывания влаги. Затем в подготовленные субстраты произвели посев семян. Уход за растениями заключался в поливе водой комнатной температуры по мере высыхания верхнего почвенного слоя. Универсальную почву поливали 2–3 раза в неделю, почву районов деятельности калийного производства 3–4 раза в неделю, т. к. она высыхала быстрее. Наблюдения проводили в течение 15 дней. Результаты анализа всхожести полевых культур, выбранных для фитомелиорации, представлены в таблице 3.

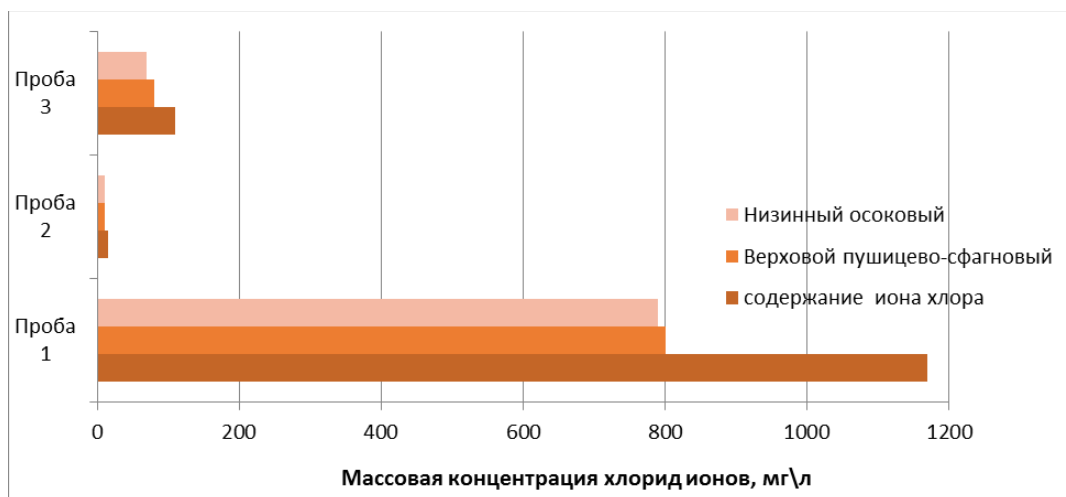


Рисунок 1 – Влияние торфа на содержание хлорид-ионов в засоленной почве при удалении от террикона

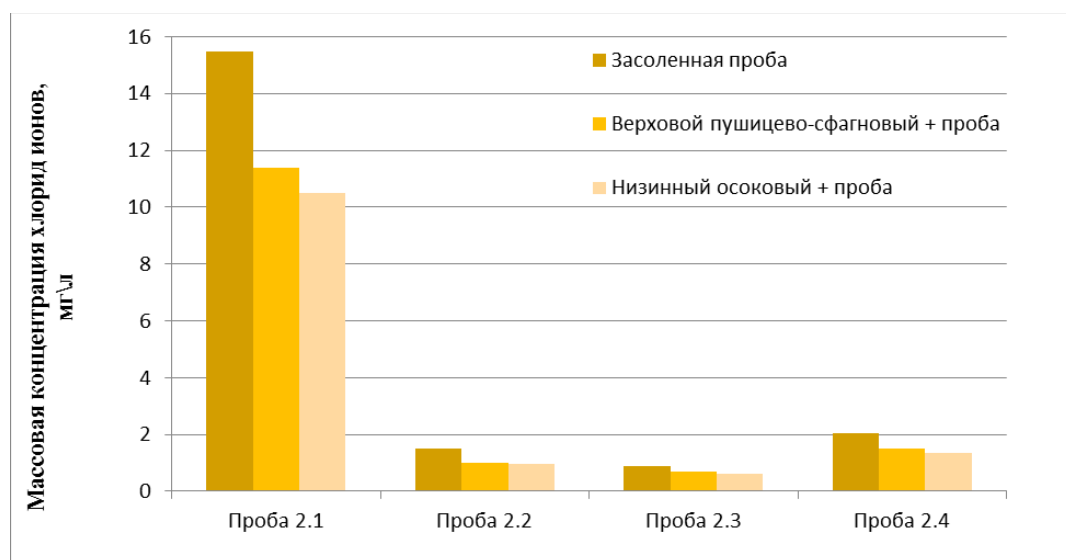


Рисунок 2 – Влияние торфа на содержание хлорид-ионов в засоленной почве по глубине почвенного горизонта

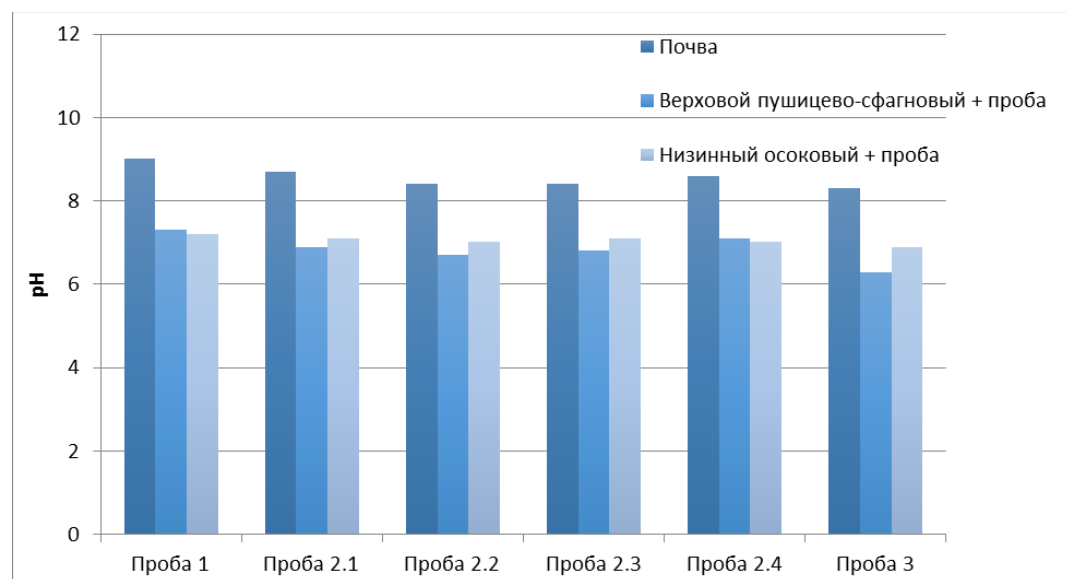


Рисунок 3 – Изменение кислотности засоленной почвы в присутствии торфа

Таблица 3 – Всхожесть семян полевых культур на почвах различной степени засоленности

Культура	Проба 1		Проба 2		Проба 3		Контроль
	%	% к контролю		% к контролю		% к контролю	
Мятлик	66,7	76,9	70,0	80,7	70,0	80,7	86,7
Фацелия	66,7	71,5	73,0	78,2	70,0	75,0	93,3
Ячмень	70,0	75,0	73,7	79,0	83,3	89,3	93,3
Свекла	66,7	80,0	73,0	87,6	76,7	92,1	83,3

Как видно из таблицы 3, наиболее чувствительны к засолению почвы оказались семена фацелии, достаточно толерантны даже в условиях высокой засоленности (проба 1) мятлик и ячмень. Наибольшую всхожесть в % к контролю проявили семена свеклы на всех исследуемых образцах почвы (100 м, 200 м, 300 м от террикона) – 80,0 %, 87,6 %, 92,1 % соответственно. Угнетение прорастания семян относительно контроля составило 10–20 %, что позволяет сделать вывод необходимости увеличения нормы высева семян на 20–30 % при проведении биологической рекультивации на засоленных почвах, а также учитывать этот факт при хозяйственной деятельности на пахотных землях, находящихся в непосредственной близости от террикона.

#### Заключение

Засоление почв в зоне влияния складирования галитовых отходов уменьшается при удалении от террикона, даже на расстоянии 300 м (начало пахотных площадей) остается высоким как по кислотности почвы (рН достигает 8,3), так и по содержанию хлорид-ионов (более 3 ммоль/мл). Установлена миграция солей по почвенному профилю на глубину более 0,6 м. Внесение торфа позволяет снизить значения кислотности до величин более комфортных для произрастания растений и уменьшить концентрацию подвижных хлорид-ионов в водной почвенной фазе на 25–35 %, что позволит предотвратить миграцию солей вглубь почвенного горизонта и снизить поступление солей в растения. В качестве растений-галофитов для биологического этапа рекультивации засоленных почв были протестированы мятлик луговой, фацелия пижмолистная, свекла сахарная, ячмень. Выбор культур проводился с учетом результатов определения физико-химических свойств почв, устойчивости к болезням и экстремальным погодным условиям, а также перспектив их возможного дальнейшего использования. Наибольшую толерантность к засолению почвы проявили свекла сахарная и ячмень, при этом необходимо увеличивать норму высева семян на 20–30 %.

#### Список цитированных источников

1. Rauche, H. Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert / H. Rauche. – Germany : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. – 580 p.
2. Шемет, С. Ф. Снижение геоэкологических последствий при подземной разработке калийных месторождений / С. Ф. Шемет, А. А. Кологривко // Горный журнал. – 2015. – № 5. – С. 100–105.
3. Качинский, Н. А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения / Н. А. Качинский. – М. : АН СССР, 1958. – 192 с.

4. Хрипович, А. А. Influence of halite waste storage on soil salinization in anthropogenically disturbed landscapes / А. А. Хрипович, Е. А. Тишковская // Химия и инженерная экология : сб. трудов XXIII Междунар. науч. конф. – Казань : КНИТУ-КАИ, 2023. – С. 63–66.
5. Повышение запасов органического вещества в почвах пахотных земель Республики Беларусь / Т. М. Серая [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2 (67). – С. 49–63.
6. Фоминых, Д. Е. Техногенное засоление почв как геоэкологический фактор при разработке нефтяных месторождений среднего Приобья: дис. ... канд. геол.-мин. наук, 25.00.36 / Д. Е. Фоминых ; НИ ТПУ. – Томск, 2013. – 22 с.
7. Способ рекультивации почв, загрязненных минерализованными водами: Пат. RU 2459398 / Г. Г. Ягафарова, Л. Р. Акчурина, Ю. А. Федорова, И. Р. Ягафаров, А. В. Московец, С. М. Лавренчук. – Оpubl. 27.08.2012.

#### References

1. Rauche, H. Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert / H. Rauche. – Germany : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. – 580 p.
2. SHemet, S. F. Snizhenie geoekologicheskikh posledstvij pri podzemnoj razrabotke kalijnykh mestorozhdenij / S. F. SHemet, A. A. Kologrivko // Gornyj zhurnal. – 2015. – № 5. – S. 100–105.
3. Kachinskij, N. A. Mekhanicheskij i mikroagregatnyj sostav pochvy, metody ego izucheniya / N. A. Kachinskij. – M. : AN SSSR, 1958. – 192 s.
4. Hripovich, A. A. Influence of halite waste storage on soil salinization in anthropogenically disturbed landscapes / A. A. Hripovich, E. A. Tishkovskaya // Himiya i inzhenernaya ekologiya : sb. trudov НКНIII Mezhdunar. nauch. konf. – Kazan' : KNITU-KAI, 2023. – S. 63–66.
5. Povyschenie zapasov organicheskogo veshchestva v pochvah pahotnykh zemel' Respubliki Belarus' / T. M. Seraya [i dr.] // Pochvovedenie i agrohimiya. – 2021. – № 2 (67). – S. 49–63.
6. Fominyh, D. E. Tekhnogennoe zasolenie pochv kak geoekologicheskij faktor pri razrabotke neftyanykh mestorozhdenij srednego Priob'ya: dis. ... kand. geol.-min. nauk, 25.00.36 / D. E. Fominyh ; NI TPU. – Tomsk, 2013. – 22 s.
7. Sposob rekul'tivacii pochv, zagryaznennykh mineralizovannymi vodami: Pat. RU 2459398 / G. G. YAgafarova, L. R. Akchurina, YU. A. Fedorova, I. R. YAgafarov, A. V. Moskovec, S. M. Lavrenchuk. – Opubl. 27.08.2012.

Материал поступил 02.04.2024, одобрен 25.04.2024, принят к публикации 25.04.2024