

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2024-1-78-87>  
УДК 631.445.52

Поступила в редакцию 24.05.2024  
Received 24.05.2024

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД ХЛОРИДАМИ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ СКЛАДИРОВАНИЯ ГАЛИТОВЫХ ОТХОДОВ

А. А. Хрипович, Е. А. Тишковская

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

**Аннотация.** Рассмотрены основные факторы воздействия складирования галитовых отходов на качество подземных вод, а также засоленность почвы в техногенно нарушенных экосистемах. Показано, что засоление подземных вод наиболее интенсивно в непосредственной близости от мест складирования галитовых отходов, и с течением времени содержание хлоридов нарастает. Основным фактором, определяющим распространение засоления, является направление потока на север и восток к рекам Сивельга и Случь. Установлено снижение содержания хлорид-ионов в почве при удалении от террикона и в почвенном горизонте, однако даже на расстоянии 300 м оно остается достаточно высоким, что позволяет отнести почву к высокой степени засоления. В модельных опытах показано положительное влияние внесения торфа различной степени разложения на кислотность почвы и уменьшение содержания хлоридов на 27–37 %. Среди протестированных сельскохозяйственных культур наибольшей толерантностью к содержанию хлоридов в почве обладали свекла, ячмень и мятлик.

**Ключевые слова:** галитовые отходы; солеотвал; засоленная почва; содержание хлорид-ионов; растения-галофиты; толерантность к хлоридам.

**Для цитирования.** 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.

## GEOECOLOGICAL FACTORS OF SOIL AND GROUNDWATER CONTAMINATION WITH CHLORIDES IN THE ZONE OF IMPACT OF HALITE WASTE STORAGE FACILITIES

A. A. Khripovich, E. A. Tishkovskaya

*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus*

**Abstract.** The main factors of halite waste storage impact on groundwater quality and soil salinity in technogenically disturbed ecosystems are considered. It is shown that groundwater salinisation is most intensive in the immediate vicinity of halite waste storage sites, but the chloride content increases with time. The main factor determining the spread of salinisation is the flow direction to the north and east to the Sivelga and Sluch rivers. The content of chloride ions in the soil was found to decrease with distance from the heap and in the soil horizon, but even at a distance of 300 m it remains high enough, which allows us to attribute the soil to a high degree of salinisation. In model experiments the positive effect of peat application of different degree of decomposition on soil acidity and reduction of chloride content by 27–37 % was shown. Among tested agricultural crops the greatest tolerance to chloride content in soil was possessed by beetroot, barley and bluegrass.

**Keywords:** halite waste; salt dump; saline soil; chloride ion content; halophyte plants; chloride tolerance.

**For citation.** Khripovich A. A., Tishkovskaya E. A. Geoecological factors of soil and groundwater contamination with chlorides in the zone of impact of halite waste storage facilities. *Nature Management*, 2024, no. 1, pp. 78–87.

**Введение.** Производство калийных удобрений флотационным и галургическим методами на ОАО «Беларуськалий» сопровождается образованием твердых галитовых отходов, содержащих более 90 % хлоридов натрия, калия, магния и кальция, а также жидких галитовых и глинисто-солевых шламов. Ежегодно на четырех рудоуправлениях (РУ) предприятия образуется 16–20 млн т галитовых отходов и 1,5–2,0 млн т глинисто-солевых шламов, которые складываются на более чем 2,0 тыс. га

---

земель, изъятых их сельскохозяйственного производства. Общий объем отходов, находящихся в солеотвалах и шламохранилищах, оценивается в более чем 1 млрд т [1].

Складирование галитовых отходов производится на солеотвале с применением технологии высотного складирования с максимальной высотой террикона до 120 м. В процессе транспортировки и складирования отходов эмиссия хлоридов в атмосферу незначительна, так как влажность отходов составляет 8–12 % и их структура препятствует пылению. Поступление хлоридов натрия, калия, магния и кальция из террикона в окружающую среду происходит вследствие растворения атмосферными осадками и ветровой эрозии с поверхности террикона. В этом случае увеличение высоты террикона, с одной стороны, позволяет складировать на единице площади солеотвала большее количество отходов, а с другой – увеличивается радиус воздействия на территорию. Одним из перспективных направлений минимизации воздействия солеотвалов на окружающую среду является складирование галитовых отходов методом гидронамыва. Галитовые отходы смешиваются с рассолом и самооттеком поступают на откос солеотвала [2]. Транспортировка отходов гидравлическим способом не только исключает пыление, но и приводит к образованию плотной коркообразной структуры на поверхности склона террикона за счет процессов дегидратации и образования кристаллизационных связей между хлоридами натрия и глинистой частью нерастворимого остатка. Образовавшаяся плотная корка менее подвержена разрушению и размыву атмосферными осадками с течением времени, что существенно уменьшает вероятность обрушения части склона солеотвала и попадания соли в воздух [2–4]. Поступление солей в атмосферу при складировании таким способом оценивается в 6 т/год, что составляет 0,4 % от общего количества выбросов загрязняющих веществ [3]. Для предотвращения попадания солей в поверхностные и подземные воды солеотвалы и шламохранилища оборудованы системой ограждающих дамб, отводных канав, противофильтрационных экранов и откачки рассолов насосными станциями. При стабильной безаварийной работе диффузия рассолов незначительна, однако возможность инфильтрации рассолов сохраняется.

Если засоление подземных вод в зоне воздействия ОАО «Беларуськалий» изучено достаточно, то сведения о распространении засоления почвы противоречивы. Ряд авторов приводит данные о незначительном увеличении содержания солей в почве [4], в других источниках [5] почвы даже на расстоянии более 500 м от мест складирования галитовых отходов признают с повышенной засоленностью. В этой связи представлялось интересным проследить не только изменение степени засоленности подземных вод во времени, что является важным при увеличении площади солеотвалов с ростом добычи калийной соли, но и исследовать засоленные почвы в зоне воздействия предприятия, а также возможность корректировки их кислотности и содержания хлоридов путем внесения природного каустобиолита – торфа.

Негативное воздействие избытка натрия и хлоридов начинает проявляться уже на ранних этапах развития растений – в период набухания и прорастания семян. Вследствие влияния этих ионов на осмотические процессы в растительных клетках снижается скорость поглощения ими воды, в результате чего растения испытывают стресс. За счет изменения физиологических процессов увеличивается период появления всходов, тормозятся рост и развитие растений в целом, но не равномерно в процессе вегетации. В условиях хлоридного засоления в начале жизнедеятельности рост и развитие растений замедляются и ускоряются во второй половине вегетационного периода [6]. Ряд авторов отмечает большую чувствительность корневой системы растений, чем надземной части к засоленности почвы. При этом установлено не только уменьшение длины корней, но и их деформация и нарушение структуры [6, 7]. Присутствие в почве галитов ингибирует биосинтез ферментов и витаминов в листьях растений, что приводит к угнетению роста и даже гибели растений при концентрации солей в почве 0,4–0,5 г/кг. Высокое содержание солей приводит к нарушению агрофизических свойств почвы, и в первую очередь к ее уплотнению, при уровне загрязнения хлоридами 0,4–0,5 г/кг образуется плотная корка с признаками кристаллизации соли [6]. В присутствии галитов нарушаются деятельность почвенных микроорганизмов и ферментативная активность почвы. При концентрации хлоридов 1,0 г/кг воздухообмен в почве снижается в 2,2 раза, а ее каталазная активность – в 4,0 раза [8].

Для рекультивации засоленных земель используют растения-галофиты, обладающие повышенной устойчивостью к присутствию солей в почве. Среди сельскохозяйственных культур также есть ряд растений, способных успешно произрастать на засоленных почвах. Наименее чувствительны к хлоридам ячмень, кукуруза и сорго из зерновых культур, а также подсолнечник и свекла – из технических культур [6]. Среди компонентов луговых фитоценозов устойчивостью к засолению почвы отличаются вейник наземный и ежа сборная [8], среди сорных видов галофитов преобладают бескильница расставленная, латук татарский, лебеда развесистая, лебеда лоснящаяся [3].

Цель работы – исследовать изменения засоления подземных вод по данным локального мониторинга и влияние торфа на содержание хлорид-ионов в засоленной почве.

**Материалы и методы исследований.** Для оценки воздействия солеотвалов и шламохранилищ ОАО «Беларуськалий» в работе были использованы данные локального мониторинга подземных вод [9], выполненные предприятием в период 1986–2020 гг., а также о составе подземных вод в водозаборных скважинах, находящихся в непосредственной близости от мест складирования галитовых отходов.

Результаты локального мониторинга свидетельствуют о высоком уровне концентраций хлорид-иона, сульфат-иона и минерализации воды в местах расположения всех четырех РУ солеотвалов и шламохранилищ ОАО «Беларуськалий». Средние значения концентраций по РУ в наблюдательных скважинах четырех РУ за период 2018–2021 гг. приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Среднее значение фактических концентрации загрязняющих веществ за период 2018–2021 гг. [9]**

**Table 1. Mean value of actual pollutant concentrations for the period 2018–2021 [9]**

Год проведения наблюдений	Номер рудоуправления	Среднее значение фактических концентраций загрязняющих веществ в наблюдательных скважинах, мг/дм <sup>3</sup>		
		Минерализация воды	Хлорид-ион	Сульфат-ион
2018	РУ № 1	16 352,6	9996,5	75,1
	РУ № 2	62 996,7	36 487,6	356,1
	РУ № 3	15 167,4	8515,4	73,3
	РУ № 4	18 494,8	10 137,2	157,2
2019	РУ № 1	16 403,3	9657,7	72,8
	РУ № 2	63 388,6	33 740,9	342,1
	РУ № 3	15 632,5	8771,4	76,4
	РУ № 4	20 104,8	11 150,9	155,7
2020	РУ № 1	15 241,9	8896,7	87,9
	РУ № 2	67 647,7	32 429,6	308,5
	РУ № 3	14 135,2	8208,2	60,3
	РУ № 4	17 556,4	10 039,5	166,1
2021	РУ № 1	15 520,3	9312,0	63,3
	РУ № 2	56 681,0	32 530	366,9
	РУ № 3	13 579,0	8185,2	62,4
	РУ № 4	17 845,1	9877,0	210,2

Наиболее высокое содержание загрязняющих веществ отмечалось, как и ранее, в скважинах РУ № 2. Максимальные значения соотношения  $C_{\text{набл}}/C_{\text{фон}}$  составляли: 18 236,96 – по хлорид-иону при концентрации 49 239,80 мг/дм<sup>3</sup>; 1022,08 – по минерализации воды при концентрации 245 300 мг/дм<sup>3</sup>; 392,24 – по сульфат-иону при концентрации 1290,46 мг/дм<sup>3</sup> [9].

Качество воды, определяемое ее химическим составом, является основным критерием для выбора направления ее использования в промышленности, коммунальном и сельском хозяйстве. Особенно актуальны изучение и прогноз изменения качества подземных вод разных водоносных комплексов и горизонтов зоны активного водообмена на исследуемой нами территории – вблизи мест складирования отходов калийного производства. Условия формирования подземных вод, их химический состав и величина минерализации тесно связаны с геологическим строением, литологическими особенностями водо-вмещающих пород, степенью гидравлической связи подземных вод различных водоносных комплексов и горизонтов между собой и с поверхностными водами. Также загрязнение подземных вод связано с техногенными факторами – сельскохозяйственной деятельностью, близостью с шламохранилищами и солеотвалам, и другими факторами. Весьма сложной является гидрогеохимическая обстановка на территории, непосредственно примыкающей к шламохранилищам и солеотвалам ОАО «Беларуськалий». Зона активного водообмена в пределах рассматриваемой территории распространяется на глубину 120–130 м и включает водоносные и слабоводоносные горизонты и комплексы четвертичных, неогеновых, палеогеновых и верхнемеловых отложений. Качественная характеристика подземных вод выполнена по результатам химических анализов проб, отобранных из наблюдательных скважин локальной мониторинговой сети, организованной ОАО «Беларуськалий» в 1989–1991 гг. и существующей по настоящее время, и из скважин водозаборов № 2 и 3 [3]. На территории исследований режимная сеть состоит из пунктов локальной мониторинговой сети (гидрогеологических кустов), пробуренных на разные водоносные комплексы и горизонты. На данной территории оборудованы мониторинговые скважины на водоносный днепровский сожский водно-ледниковый комплекс, водоносный березинский-днепровский водно-ледниковый комплекс, водоносный березинский подморен-

ный водно-ледниковый комплекс, слабоводоносный неогеновый (антопольский) терригенный комплекс, водоносный бриневский терригенный комплекс, слабоводоносный (локально водоносный) киевский и харьковский терригенный комплекс, водоносный сеноманский карбонатно-терригенный горизонт. Местоположение пунктов наблюдательной мониторинговой сети, выбранных для анализа в нашем исследовании, представлено на рис. 1.

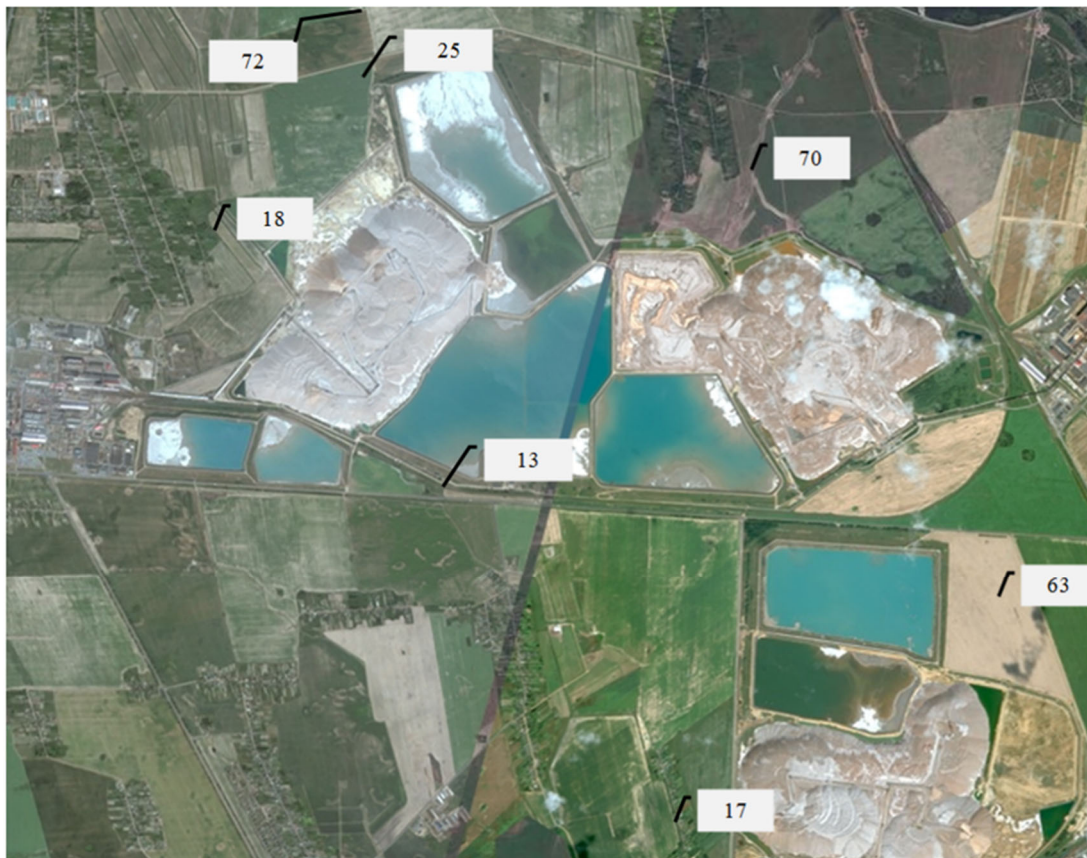


Рис. 1. Местоположение скважин подземных вод на местности

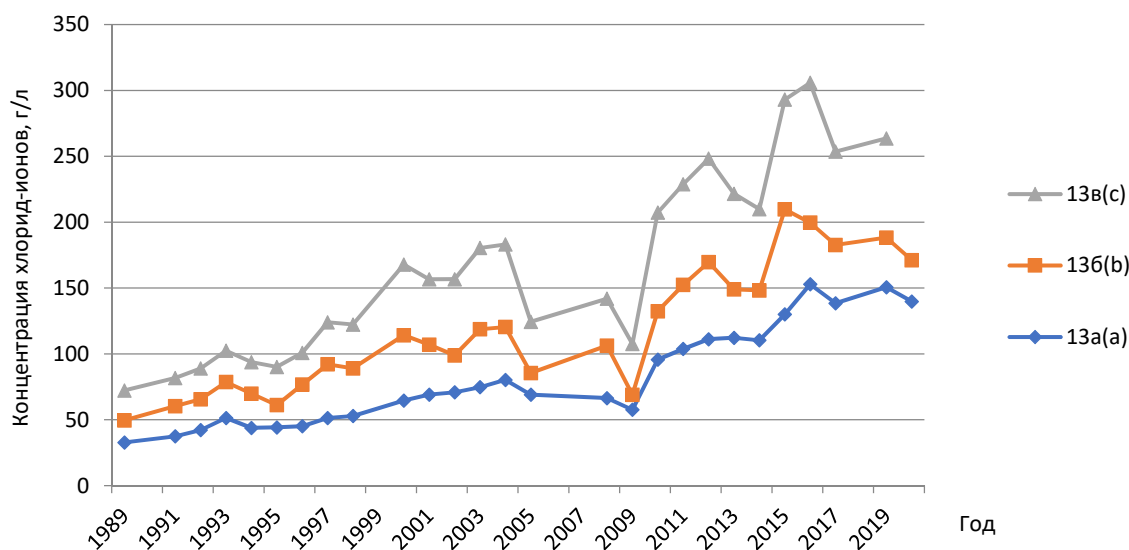
Fig. 1. Location of groundwater wells on the ground

Качественный состав воды из водозаборных скважин № 2 и 3, которые находились наиболее близко к зоне складирования галитовых отходов, соответствовал нормативам для питьевой воды (СанПиН 10-124 РБ 99) и в данной работе не рассматривался.

Для изучения изменения содержания хлоридов в засоленных почвах и в присутствии торфа различной степени разложения были отобраны пробы почвы вблизи солеотвала РУ № 2. Определение массовой концентрации хлорид-ионов в водных вытяжках проводилось потенциометрическим методом с использованием ион-селективного электрода. Для определения толерантности растений к засоленности почвы производили посев семян и учет всхожести по отношению к контролю (универсальный грунт ГОСТ 12071-2014), через 15 дней определяли биометрические показатели в среднем на одно растение: длину корней и длину надземной части.

**Результаты и их обсуждение.** Проанализировав качество подземных вод по минерализации и хлоридам каждого опробованного водоносного комплекса по скважинам относительно расположения солеотвалов, в первую очередь РУ № 2 как наиболее проблемного с точки зрения содержания хлорид-ионов, были выбраны наиболее характерные по степени засоления и динамики ее изменения во времени скважины, для которых были построены графики изменения содержания хлорид-ионов, приведенные на рис. 2–5. Предельно допустимая концентрация (ПДК) хлоридов в питьевой воде составляет 350 мг/л (согласно СанПиН 10-124 РБ 99).

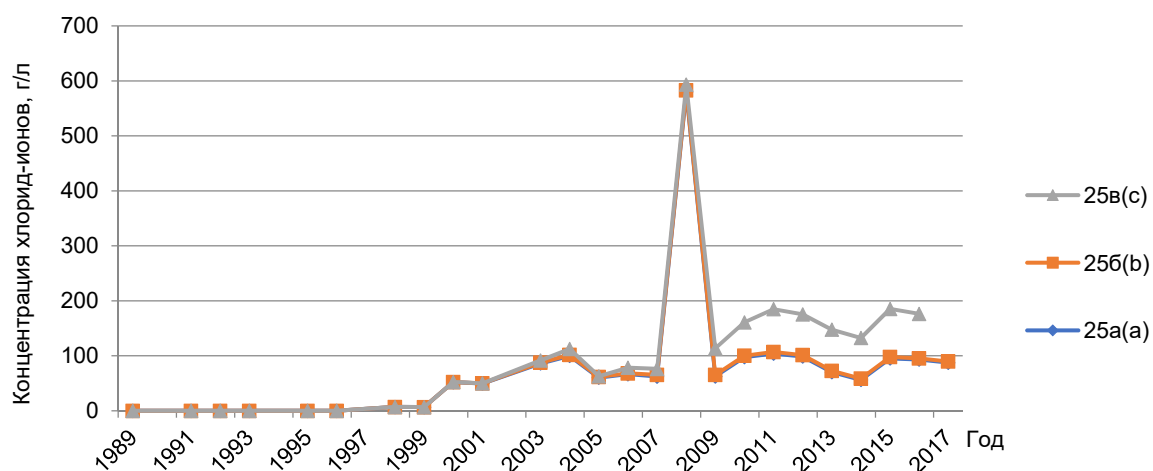
Данные по скважине № 13, находящейся на границе солеотвала в южном направлении, позволяют отнести подземные воды всех водоносных уровней к категории рассолов. Отмечается динамика засоления с увеличением содержания хлоридов до 150–300 г/л с аномальным понижением в 2009 г. (рис. 2).



**Рис. 2. Динамика концентрации хлорид-ионов в подземных водах скважины № 13:**  
13а – березинский днепровский водно-ледниковый комплекс; 13б – днепровский сожский водно-ледниковый комплекс; 13в – сеноманский карбонатно-терригенный горизонт

**Fig. 2. Dynamics of chloride ion concentration in groundwater of well № 13:**  
13a – Berezinsky Dneprovsky water-glacial complex; 13b – Dneprovsky Sozhsky water-glacial complex; 13c – Cenomanian carbonate-terrigenous horizon

Скважины № 18, 25 и 72 находятся в северной и северо-восточной части на удалении от террикона, данные изменения содержания хлорид-ионов представлены на рис. 3–5. В период наблюдений в первое десятилетие содержание хлоридов не превышало норму, однако начиная с 2000 г. (скважина № 25а, 25б, 25в) и 2009 г. (скважина № 18) количество хлорид-ионов превысило ГДК в 200–500 раз (№ 25) и 115–160 раз (№ 18).



**Рис. 3. Динамика концентрации хлорид-ионов в подземных водах скважины № 25:**  
25а – бриневский терригенный комплекс; 25б – днепровский сожский водно-ледниковый комплекс; 25в – киевский и харьковский терригенный комплекс

**Fig. 3. Chloride-ion content in groundwater of well № 25:**  
25a – Brinevsky terrigenous complex; 25b – Dnieper Sozh water-glacial complex; 25c – Kiev and Kharkov terrigenous complex

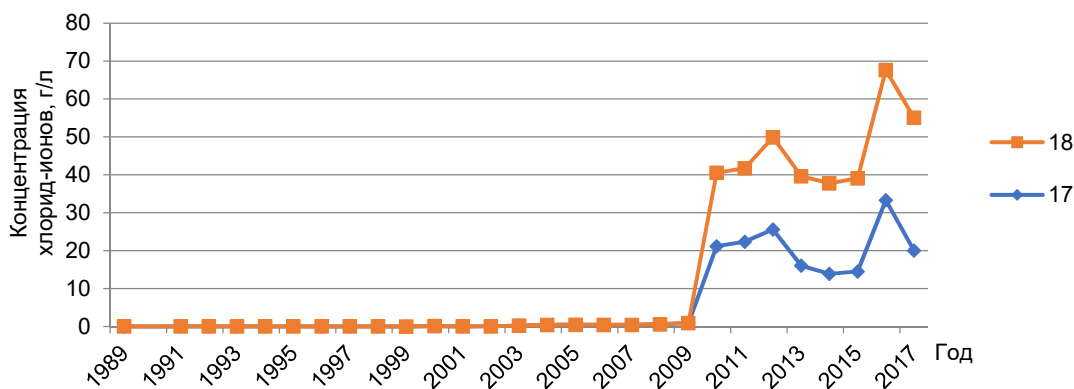


Рис. 4. Динамика концентрации хлорид-ионов в подземных водах скважин № 17 и 18 (бриневский терригенный комплекс)

Fig. 4. Dynamics of chloride ion concentration in groundwater of wells № 17 and 18 (Brinevsky terrigenous complex)

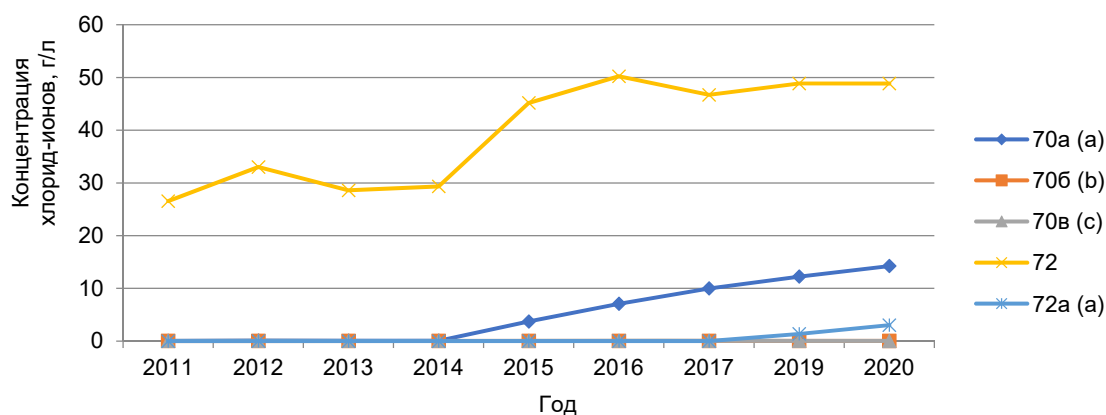


Рис. 5. Динамика концентрации хлорид-ионов в подземных водах скважин № 70, 72: 70а – киевский и харьковский терригенный комплекс; 70б – бриневский терригенный комплекс; 70в–72а – бриневский терригенный комплекс; 72б – киевский и харьковский терригенный комплекс

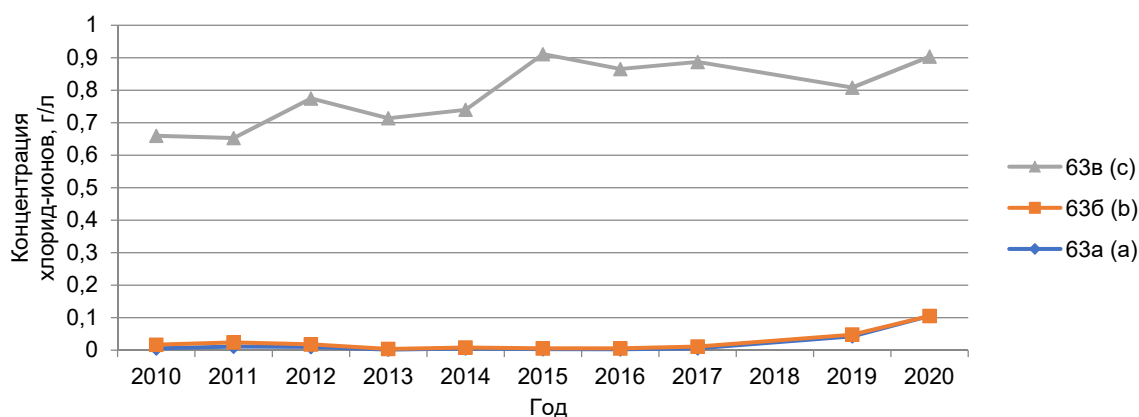
Fig. 5. Dynamics of chloride ion concentration in groundwater of wells № 70, 72: 70a – Kyiv and Kharkiv terrigenous complex; 70b – Brinevsky terrigenous complex; 70c–72a – Brinevsky terrigenous complex; 72b – Kyiv and Kharkiv terrigenous complex

Скважина № 72 заложена в 2011 г. и наиболее удалена от террикона, поэтому данные по содержанию хлоридов в этих подземных водах представляют особый интерес с точки зрения динамики засоления (рис. 5). Тем не менее уже с начала наблюдений уровень засоления воды в ней оказался высоким и составил 27–50 г/л хлоридов за период наблюдений.

Состояние подземных вод в северо-западной части от террикона представлено на рис. 5, на распространение засоления в этом направлении наибольшее влияние оказывает движение потока подземных вод в сторону рек Случь и Сивельга. В начальный период наблюдений содержание хлоридов не превышало норму, а начиная с 2015 г. составило 2–14 г/л, или 5–40 ПДК, что позволяет прогнозировать увеличение темпов засоления в ближайшие десятилетия и попадание в зону засоления ближайшего населенного пункта – деревни Брянцицы.

Наименьшими показателями по хлорид-иону отличалось состояние подземных вод в скважине № 63 (рис. 6). В начальном периоде наблюдений содержание хлоридов соответствовало нормативу во всех уровнях, это состояние сохраняется для вод березинско-днепровского и бриневского комплексов до настоящего времени, воды днепровско-сожского комплекса начиная с 2015 г. содержат 2–14 г/л хлорид-ионов, что соответствует 5–40 ПДК.

На южном направлении (скважина №17) также имеется тенденция к засолению подземных вод в последнее время. Как следует из рис. 4, в период до 2010 г. состояние вод по содержанию хлоридов соответствует норме, то за период 2011–2020 гг. количество хлоридов увеличилось до 21–32 г/л.

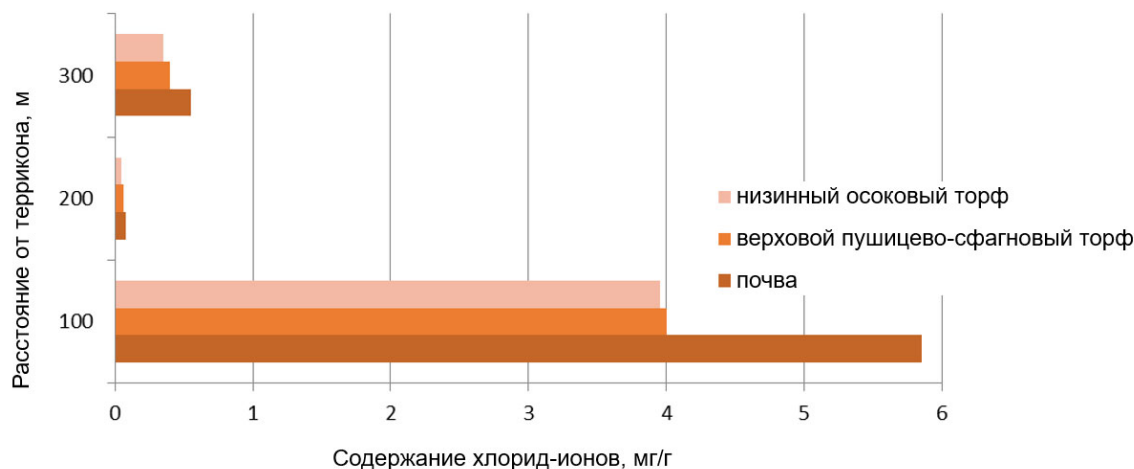


**Рис. 6. Динамика концентрации хлорид-ионов в подземных водах скважины № 63: 63а – бриневский терригенный комплекс; 63б – березинский днепровский водно-ледниковый комплекс; 63в – днепровский сожский водно-ледниковый комплекс**

**Fig. 6. Dynamics of chloride ion concentration in groundwater of well № 63: 63a – Brinevsky terrigenous complex; 63b – Berezinsky Dneprovsky water-glacial complex; 63c – Dneprovsky Sozhsky water-glacial complex**

По результатам анализа изменения загрязнения подземных вод в зоне воздействия складирования галитовых отходов нами были отобраны пробы почвы вблизи террикона РУ № 2 в районе скважин № 18 и 25, а также с учетом преимущественного направления ветровых потоков для данной местности [10]. Образцы отбирали с шагом 100 м (пробы 1, 2, 3) от террикона с таким расчетом, чтобы последняя проба почвы относилась уже к пахотным угодьям. На расстоянии 200 м были отобраны образцы почвы по глубине 0–15 см (проба 2.1), 15–30 см (проба 2.2), 30–45 см (проба 2.3), 45–60 см (проба 2.4).

На рис. 7 приведены результаты определения содержания хлоридов в отобранных пробах засоленной почвы и в этих пробах в присутствии торфа. Содержание хлоридов уменьшается при удалении от террикона, однако даже на расстоянии 300 м остается критически высокой 0,4 г/кг. Для изучения изменения содержания солей в присутствии торфа были проведены модельные опыты с образцами засоленной почвы, осоковым торфом низинного типа и пушицево-сфагновым торфом верхового типа. Внесение торфа различного генезиса и степени разложения в соотношении почва : торф 30 : 1 положительно сказывалось на агрохимических свойствах почвы. Результаты модельных опытов, приведенные на рис. 7 и 8, свидетельствуют о снижении концентрации хлорид-ионов в присутствии торфа на 27–37 %. При этом более значительное уменьшение содержания хлорид-ионов наблюдалось при добавлении к почве осокового торфа низинного типа.



**Рис. 7. Изменение содержания хлорид-ионов в засоленной почве при удалении от террикона**

**Fig. 7. Effect of peat on chloride ion content in saline soil at a distance from the heap**

Результаты модельных опытов с использованием торфа (рис. 8) показали положительную динамику уменьшения миграции катионов до 10–20 % по почвенному горизонту, при этом отмечалось изменение кислотности почвы с pH 8,1–9,0 до pH 6,5–7,5, что положительно сказывается на произрастании растений.

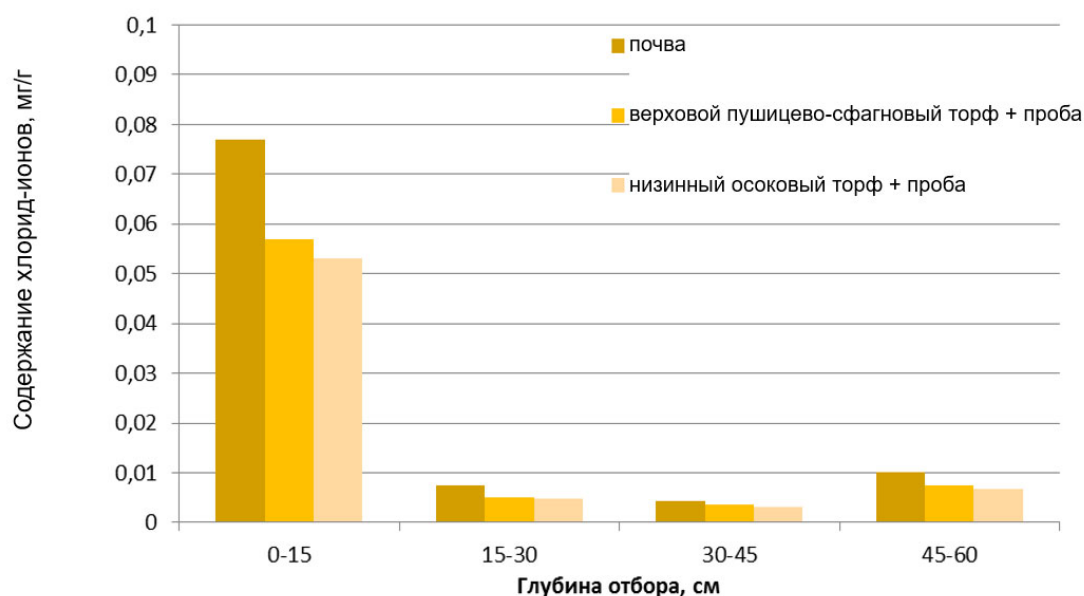


Рис. 8. Изменение содержания хлорид-ионов в засоленной почве по глубине почвенного горизонта

Fig. 8. Effect of peat on chloride ion content in saline soil by soil horizon depth

Для эксперимента по подбору культур для биологического этапа рекультивации засоленных земель и предпочтительного возделывания сельскохозяйственных культур на почвах, испытывающих воздействие галитовых отходов, были выбраны ячмень (зерновая культура), свекла (техническая культура), мятлик (компонент лугового травостоя) и распространенный медонос и сидерат – фацелия.

Результаты исследований всхожести и морфометрических показателей различных культур приведены в табл. 2.

Таблица 2. Влияние засоленности почвы на всхожесть и морфометрические показатели растений

Table 2. Effect of soil salinity on germination and morphometric indices of plants

Культура	Содержание хлоридов в почве, мг/кг								
	5,85			0,55			0,10		
	Всхожесть, % к контролю	Длина корней, см	Длина надземной части, см	Всхожесть, % к контролю	Длина корней, см	Длина надземной части, см	Всхожесть, % к контролю	Длина корней, см	Длина надземной части, см
Мятлик	76,9	2,8	4,6	80,7	3,5	5,8	80,7	5,1	6,2
Фацелия	71,5	2,6	4,0	78,2	3,1	4,4	75,0	4,7	5,0
Ячмень	75,0	2,7	4,2	79,0	3,7	6,4	89,3	5,7	6,8
Свекла	80,0	2,7	3,7	87,6	3,5	4,1	92,1	4,3	4,5
<i>НСР<sub>0,5</sub></i>	3,1	0,5	0,8	2,9	0,7	0,6	3,2	0,7	0,8

Как следует из данных табл. 2, всхожесть семян и морфометрические показатели растений находятся в прямой зависимости от степени засоления почвы. Наибольшую толерантность к содержанию хлоридов в почве показали свекла и ячмень (всхожесть 79,0–92,1 % к контролю – засоленная почва), достаточно высокая всхожесть семян отмечена у мятлика (до 80,0 %), наиболее чувствительной к засолению оказалась фацелия. причем как по уровню всхожести семян (71,5–78,2 %), так и по морфометрическим показателям.

**Заключение.** Установлена тенденция увеличения загрязнения подземных вод в зоне воздействия складирования галитовых отходов в течение времени хранения, при этом начиная с 2010 г. наблюдается значительный рост содержания хлоридов в воде, продолжающийся и в настоящее время. Область загрязнения вытянута в северном и восточном направлениях, что соответствует направлениям потоков подземных вод в сторону их дренажа – к рекам Сивельга и Случь.

Засоление почвы отмечено на значительном удалении от террикона (300 м) и составило 0,4 г/кг, при этом установлено проникновение хлорид-ионов на глубину до 0,6 м. Внесение торфа в соотношении почва : торф 30 : 1 приводит к снижению концентрации хлоридов на 27–37 % по сравнению с исходной засоленной почвой во всех диапазонах концентраций. При этом лучший эффект отмечается при использовании осокового торфа высокой степени разложения.

Среди протестированных растений-галофитов наиболее толерантными к засолению сельскохозяйственными культурами проявили себя свекла и ячмень, достаточно устойчив к присутствию в почве хлоридов мятлики. При увеличении нормы высева семян на 20 % эти культуры можно рекомендовать не только к возделыванию на слабо засоленных землях, но и для этапа биологической рекультивации почвы с высокой степенью засоления.

#### Список использованных источников

1. Обращение с отходами // Экологический бюллетень / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2023. – Гл. 4.4. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/2022/Sostojanie-prirodnoj-sredy-Belarusi-za-2022>. – Дата доступа: 12.04.2024.
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. Проведение оценки воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной деятельности по объекту «3 РУ. СОФ. Развитие солеотвала по линии ОШ № 3 и № 4» [Электронный ресурс] : отчет. – Режим доступа: <https://soligorsk.gov.by/uploads/files/18-05-2023-009.pdf>. – Дата доступа: 12.04.2024.
4. Анализ воздействия хранилищ отходов калийного производства на окружающую среду и подходы к выбору рационального способа их складирования [Электронный ресурс] / Т. А. Петрова [и др.] // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 3. – Режим доступа: <https://esj.today/PDF/11NZVN322.pdf>. – Дата доступа: 12.04.2024.
5. Метод биологической рекультивации территорий с высокой засоленностью почв на основе энергетических плантаций древесных растений / О. И. Родькин, Т. Volk, И. А. Басалай, Е. В. Черненко // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. по материалам V Междунар. науч. экол. конф. / Куб. гос. аграр. ун-т ; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар, 2017. – С. 409–414.
6. Головатый, С. Е. Влияние содержание натрия и хлора на урожайность яровых зерновых культур / С. Е. Головатый, З. С. Ковалевич, Н. К. Лукашенко // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 1. – С. 148–156.
7. Судник, А. В. О последствиях применения в качестве противогололедного реагента хлорида натрия на состояние насаждений вдоль улиц и дорог в г. Минске [Электронный ресурс] / А. В. Судник, А. П. Яковлев. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/270769>. – Дата доступа: 12.04.2024.
8. Демидова, М. И. Влияние галитовых отходов ОАО «Уралкалий» города Березники на почву и растительность / М. И. Демидова, Ю. Е. Лихарева, В. К. Лапшина // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 2. – С. 154–166.
9. Локальный мониторинг окружающей среды // Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://nsmos.by/sites/default/files/2023-08/11%20LOCAL%20Monitoring%202021.pdf>. – Дата доступа: 12.04.2024.
10. Средняя температура воздуха, осадки, скорости ветра и повторяемости направлений ветра за весь период наблюдений на метеостанции Случь. – Минск : Республиканский гидрометеорологический центр, 2018.

#### References

1. *Obrashchenie s otkhodami* [Waste Management]. *Ehkologicheskij byulleten' = Environmental Bulletin*. Ch. 4.4. Available at: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/2022/Sostojanie-prirodnoj-sredy-Belarusi-za-2022> (accessed April 12, 2024). (in Russian)
2. Shemet S. F., Kologrivko A. A. *Snizhenie geoehkologicheskikh posledstvij pri podzemnoj razrabotke kalijnykh mestorozhdenij* [Reduction of geoecological consequences in the underground development of potash deposits]. *Gornyj zhurnal = Mining Journal*, 2015, no. 5, pp. 100–105. (in Russian)
3. *Otchet "Provedenie ocenki vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu planiruemoj khozyajstvennoj deyatel'nosti ob"ektu "3 RU. SOF. Razvitie soleotvala po linii OSH № 3 i № 4"* [Report "Environmental impact assessment of the planned economic activity to the object "3 RU. SOF. Development of salt dump along the line of OSH No. 3 and No. 4"]. Available at: <https://soligorsk.gov.by/uploads/files/18-05-2023-009.pdf> (accessed April 12, 2024). (in Russian)

4. Petrova T. A., Astapenko T. S., Kologrivko A. A., Dolgikh A. S. *Analiz vozdeystviya khranilishch otkhodov kalijnogo proizvodstva na okruzhayushchuyu sredu i podkhody k vyboru racional'nogo sposoba ikh skladirovaniya* [Analysing the environmental impact of potash waste storage facilities and approaches to selecting a rational method of their storage]. *Vestnik evrazijskoj nauki = Bulletin of Eurasian Science*, 2022, vol. 14, no. 3. Available at: <https://esj.today/PDF/11NZVN322.pdf> (accessed April 12, 2024). (in Russian)
5. Rod'kin O. I., Volk T., Basalai I. A., Chernenok E. V. *Metod biologicheskoy rekul'tivacii territorij s vysokoj zasolenost'yu pochv na osnove ehnergeticheskikh plantacij drevesnykh rastenij* [Method of biological reclamation of territories with high soil salinity on the basis of energy plantations of woody plants]. *Problemy rekul'tivacii otkhodov byta, promyshlennogo i sel'skokhozyajstvennogo proizvodstva: sb. nauch. tr. po materialam V Mezhdunar. nauch. ehkol. konf* [Proc. of the V Int. sci. ecological conf. "Problems of reclamation of household waste, industrial and agricultural production"]. Krasnodar, 2017, pp. 409–414. (in Russian)
6. Golovatyj S. E., Kovalevich Z. S., Lukashenko N. K. *Vliyanie sodernzhanie natriya i khloro na urozhajnost' yarovykh zernovykh kul'tur* [Influence of sodium and chlorine content on the yield of spring grain crops]. *Pochvovedenie i agrokhimiya = Soil science and agrochemistry*, 2010, no. 1, pp. 148–156. (in Russian)
7. Sudnik A. V., Yakovlev A. P. *O posledstviyakh primeneniya v kachestve protivogolodnogo reagenta khlorida natriya na sostoyanie nasazhdenij vdol' ulic i dorog v g. Minske* [On the consequences of the use of sodium chloride as an anti-icing agent on the condition of plantings along streets and roads in Minsk]. Available at: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/270769> (accessed April 12, 2024). (in Russian)
8. Demidova M. I., Likhareva Yu. E., Lapshina V. K. *Vliyanie galitovykh otkhodov OAO "Uralkalij" goroda Berezniki na pochvu i rastitel'nost'* [Influence of halite wastes of JSC "Uralkali" of Berezniki on soil and vegetation]. *Vestnik PNIPU. Prikladnaya ehkologiya. Urbanistika = Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urban development*, 2014, no. 2, pp. 154–166. (in Russian)
9. *Lokal'nyj monitoring okruzhayushchej sredy. Nacional'naya sistema monitoringa okruzhayushchej sredy Respubliki Belarus'* [Local environmental monitoring. National system of environmental monitoring of the Republic of Belarus], Available at: <https://nsmos.by/sites/default/files/2023-08/11%20LOCAL%20Monitoring%202021.pdf> (accessed April 12, 2024). (in Russian)
10. *Srednyaya temperatura vozdukh, osadki, skorosti vetra i povtoryaemosti napravlenij vetra za ves' period nablyudenij na meteostancii Sluck* [Average air temperature, precipitation, wind speed and wind direction frequency of occurrence for the entire observation period at Slutsk weather station]. Minsk, Republican Hydrometeorological Centre, 2018. (in Russian)

#### Информация об авторах

*Хрипович Анна Александровна* – кандидат технических наук, доцент Белорусского национального технического университета (пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь). E-mail: [anna.hripovich@gmail.com](mailto:anna.hripovich@gmail.com)

*Тишковская Елизавета Александровна* – аспирант Белорусского национального технического университета (пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь). E-mail: [tishkovskaya@bntu.by](mailto:tishkovskaya@bntu.by)

#### Information about the authors

*Hanna A. Khripovich* – Ph. D. (Technical), Associate Professor, Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Av., 220013, Minsk, Belarus. E-mail: [anna.hripovich@gmail.com](mailto:anna.hripovich@gmail.com)

*Elizaveta A. Tsishkouskaya* – Graduate student, Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Av., 220013, Minsk, Belarus). E-mail: [tishkovskaya@bntu.by](mailto:tishkovskaya@bntu.by)