

УДК 631.445.52

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОСФОГИПСА ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**А. А. Цыганова¹, А. А. Хрипович², Е. В. Зеленуха³, И. В. Скуратович⁴**¹ К. с.-х. н., доцент, заведующий кафедрой инженерной экологии, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: cyganovaa@bntu.by² К. т. н., доцент кафедры инженерной экологии, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: ahripovich@bntu.by, anna.hripovich@gmail.com³ Старший преподаватель кафедры инженерной экологии, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: ezelenuha@bntu.by⁴ Старший преподаватель кафедры инженерной экологии, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: i.skuratovich@bntu.by**Реферат**

Деятельность ОАО «Беларускалий» оказывает трансформирующее воздействие на почвы Республики Беларусь. До 75 % массы добываемой сильвинитовой руды переходит в отходы, представляющие собой галит (хлорид натрия, содержащий также хлориды магния и кальция) или жидкие глинисто-солевые шламы. Ежегодно на предприятии образуется свыше 17 млн галитовых и около 2,0 млн глинисто-солевых шламов. Несмотря на высотное (сто и более метров) складирование галитовых отходов, оборудование дамбы и ложа солеотвалов противофильтрационными экранами, происходит засоление почв на значительных площадях за счет ветровой и дождевой эрозии солеотвалов. Внесение в засоленные почвы мелиорантов способствует улучшению агрохимических свойств, регулирует кислотность, уменьшает содержание натрия и общую засоленность, позволяет вернуть земли в сельскохозяйственный оборот. В работе исследована возможность использования фосфогипса из отвалов ОАО «Гомельский химический завод» в качестве мелиоранта и структуратора для улучшения свойств техногенно нарушенных засоленных почв, отобранных в зоне воздействия второго рудоуправления ОАО «Беларускалий» в радиальном направлении на расстоянии 200 метров от террикона. По результатам анализа физико-химических свойств проб почвы определен связно-песчаный состав, высокие показатели pH, общего содержания солей и содержания хлорид-ионов. Проведены модельные опыты по определению всхожести семян тест-растений сельскохозяйственных культур Беларуси, толерантных к присутствию солей в почве: пшеницы, свеклы, рапса с различным соотношением фосфогипс : засоленная почва. Проведен анализ динамики всхожести семян, определены морфометрические показатели растений при выращивании в засоленной почве с добавлением различного количества фосфогипса. Установлено, что внесение 5–10 масс.% фосфогипса в засоленную почву увеличивает всхожесть семян и стимулирует рост и развитие растений, что положительно сказывается на урожайности культур и состоянии нарушенных экосистем.

Ключевые слова: засоленная почва, фосфогипс, рекультивация, техногенно нарушенные земли, мелиорант, гранулометрический состав, кислотность почвы, растения-галофиты.

USE OF PHOSPHOGYPSUM IN RECLAMATION OF SALINE LANDS**H. A. Tsyhanava, H. A. Khrypovich, A. V. Zelianukha, I. V. Skuratovich****Abstract**

JSC "Belaruskali's" operations have a transformational impact on the soils of the Republic of Belarus. Up to 75 % of the mass of extracted sylvinit ore is converted into waste, which is halite (sodium chloride containing also magnesium and calcium chlorides) or liquid clay-salt sludge. The plant generates over 17 million halite slurries and about 2.0 million clay-salt slurries annually. In spite of high (one hundred meters and more) storage of halite waste, equipment of the dam and bed of salt dumps with impervious blankets, salinization of soils occurs on significant areas due to wind and rain erosion of salt dumps. Application of ameliorants to saline soils improves agrochemical properties, regulates acidity, reduces sodium content and total salinity, allows to return lands to agricultural turnover. In the work the possibility of using phosphogypsum from the dumps of JSC "Gomel Chemical Plant" as an ameliorant and stabilizer to improve the properties of technogenically disturbed saline soils sampled in the zone of impact of the second ore-dressing plant of JSC "Belaruskali" in the radial direction at a distance of 200 meters from the heap. According to the results of analysis of physical and chemical properties of soil samples, the cohesive-sandy composition, high pH, total salt content and chloride ion content were determined. Model experiments on determination of seed germination of test-plants of Belarusian agricultural crops tolerant to salt presence in soil: wheat, beet, rape with different ratio of phosphogypsum : saline soil were carried out. The dynamics of seed germination was analyzed, morphometric indices of plants were determined when growing in saline soil with the addition of different amounts of phosphogypsum. It has been established that application of 5-10 wt.% phosphogypsum to saline soil increases seed germination and stimulates plant growth and development, which has a positive effect on crop yields and the condition of disturbed ecosystems.

Keywords: saline soil, phosphogypsum, reclamation, technogenically disturbed lands, meliorant, granulometric composition, soil acidity, halophyte plants.

Введение

При получении калийных удобрений до 75 % сильвинитового сырья переходит в отходы, представляющие собой твердый галит (хлорид натрия, содержащий также хлориды магния и кальция), а также жидкие глинисто-солевые шламы [1]. Вид и объем образующихся отходов зависит от метода получения хлорида калия – флотационный или галургический, в целом по ОАО «Беларускалий» ежегодно образуется свыше 17 млн галитовых и около 2,0 млн глинисто-солевых шламов [2]. Складирование отходов организовано в солеотвалах и шламохранилищах, занимающих более чем 1,9 тыс. га, объем отходов превысил 1 млрд т [3]. Размещение отходов в

непосредственной близости от сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов (Малое Быково, Большое Быково, Пиваши, Малый Жабин, Чепели, Глядки находятся в радиусе 4 км, Брянчицы – менее 500 м) является основным фактором, определяющим техногенное воздействие на экосистемы Солигорского района. В последние годы на рудоуправлениях предприятия применяют интенсивные технологии складирования, позволяющие увеличить высоту террикона и за счет этого количество галитов, складываемых на единицу площади [3]. Эмиссия хлоридов из террикона происходит в основном ветровой эрозией, с помощью осадков и миграцией по почвенному профилю. Однако увеличение высоты террикона приво-

дит 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.

Складирование фосфогипса – твердого отхода, образующего на ОАО «Гомельский химический завод», – является еще одной нерешаемой в течение ряда лет проблемой Гомельской области. Фосфогипс, имеющий кислую реакцию среды, оказывает негативное воздействие не только на почву, но и подземные и поверхностные воды за счет размывания отвала атмосферными осадками. Однако наличие в составе фосфогипса фосфора, кальция, серы и других микроэлементов позволяет использовать его в качестве мелиоранта почвы. Кислая реакция среды в случае фосфогипса является достоинством при внесении его в засоленные почвы, поэтому использование данного отхода для биологической рекультивации засоленных земель представляет научный и практический интерес.

Особенности проведения рекультивации засоленных земель

В рекультивации техногенно нарушенных земель традиционно выделяют три основных этапа: подготовительный, техническая и биологическая рекультивация. В подготовительном этапе проводятся работы по оценке состояния экосистемы и степени ее нарушенности, необходимые расчеты и планирование рекультивационных мероприятий. Техническая рекультивация предполагает осуществление мероприятий по корректировке рельефа местности (выравнивание, удаление пней и валунов), изменение состава и структуры рекультивационного слоя (землевание, торфование, кольматаж, сооружение терпов), гидротехнические (осушение, орошение, организация поверхностного стока) и теплотехнические мероприятия (мульчирование, грядование, обогрев, применение утеплителей), а также применение химических веществ для улучшения физико-химических свойств почвы на следующем этапе. Основными задачами биологической рекультивации являются [4]:

- возобновление процесса почвообразования;
- повышение самоочищающей способности почвы;
- воспроизводство биоценозов.

Биологическую рекультивацию осуществляют в два этапа. На первом этапе выращивают пионерные (предварительные, авангардные) культуры, умеющие адаптироваться в существующих условиях и обладающие высокой восстановительной способностью. На втором этапе переходят к целевому использованию нарушенных земель. Длительность биологического этапа и подбор культур зависят от направления использования нарушенных земель.

Для успешной рекультивации засоленных земель на техническом этапе рекомендуется создание специального гидрологического режима экосистемы путем полива и промывки водой и дренажного обустройства территории. При высоких уровнях засоления либо недостатке влаги возможно использование мобильных дренажных устройств [5].

Избыток хлоридов щелочных и щелочно-земельных металлов приводит к ухудшению агрофизических свойств почвы. Под воздействием солей происходит значительное уплотнение поверхностного слоя почвы с образованием плотной корки с признаками кристаллизации [6]. Поэтому на технических этапах рекультивации наряду с работами по корректировке рельефа местности и гидрологических условий экосистемы в обязательном порядке проводится химическая рекультивация. К химическим техническим рекультивационным мероприятиям относят известкование, гипсование, кислование почвы и внесение сорбентов и структуров [4]. Гипсование и кислование почвы (внесение гипса; сульфатов железа, аммония и серной кислоты) осуществляют при рекультивации сильно засоленных почв – солонцов и солончаков с общей засоленностью до 30 %. Для умеренно засоленных почв (до 10 %) применяют известкование – внесение карбоната кальция. Этот прием позволяет повысить реакцию среды (рН) до 4,5–7,5 достаточную для формирования устойчивого фитоценоза на последующем этапе биологической рекультивации. Внесение химических мелиорантов (сорбенты или структуров почвы) стабилизирует почвенную структуру путем уменьшения плотности почвы и накопления в ней солей, при этом улучшается воздухо- и водопроницаемость почвы и ее агрегатный состав. По мнению [5],

для засоленных земель внесение минеральных кальцийсодержащих удобрений является обязательным этапом успешной биологической рекультивации, на которой возможно использование такой аборигенной солеустойчивой флоры, как ромашка непахучая. В качестве сорбента и структуров почвы в патенте [7] предлагается применять отработанный активный ил водочистки, а в качестве растений-галофитов – амарант и полынь.

Галиты способны оказывать влияние на жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, снижая функциональную активность почвенной биоты и ее способность к разнообразным биохимическим превращениям [8]. Почвенное дыхание является по мнению авторов [9] интегральным показателем всей биоты. Присутствие в почве хлоридов в концентрации 1,0 кг/кг почвы уменьшает каталазную активность почвы в 3–4 раза и выделение углекислого газа микробиоценозом в 1,8–2,2 раза по сравнению с незасоленной контрольной почвой [9].

Отрицательное воздействие избытка солей хлористого натрия заметно на самых начальных фазах роста и развития растений. В фазе набухания и активного прорастания семян наблюдается воздействие на процесс диффузии в клетках растений, заметно нарушается водный баланс и за счет этого растения подвергаются стрессу [10]. В связи с трансформацией физиологических процессов происходит увеличение периода появления начальной фазы всходов, существенно замедляются процессы дальнейшего развития растений в первой фазе вегетационного периода.

Ряд авторов [11, 12, 13] отмечают особенности в проявлении чувствительности органов растений по отношению к засолению почвы. Угнетающее действие хлоридов выражается в уменьшении роста и развития растений, особенно их корневой системы. При этом отмечалось уменьшение длины корней, их искривление и нарушение строения, а также усиленное развитие боковых корешков и деформация корневых волосков как реакция адаптивности к неблагоприятным условиям засоленности. Надземная часть растений менее чувствительна к засолению почвы. Однако наличие в почве галитов подавляет биосинтез ферментов и биологически активных соединений в листьях растений, что в итоге может привести к снижению активизации ростовых процессов либо полной гибели растений при концентрации солей порядка 0,5 г/кг. Присутствие хлоридов в почве приводит к ингибированию биосинтеза фотосинтетических пигментов, а следовательно, к снижению содержания хлорофилла, каротиноидов и аскорбиновой кислоты в листьях растений [9].

Одним из современных направлений рекультивации засоленных земель является применение растений – галофитов, то есть культур, обладающих высокой степенью устойчивости к присутствию солей в почвенном растворе. Комплекс мероприятий, направленных на перехват атмосферных осадков, включает формирование на солеотвале почвенно-растительного покрова с предварительной технической рекультивацией строительными отходами и вскрышными породами [14]. Среди видов травянистой растительности предлагается вейник наземный, овсяница луговая, лебеда раскидистая, марь сизая, донник белый, латук татарский [15]. Из культурных растений солеустойчивыми являются ячмень, кукуруза, сахарная свекла, сорго, хлопчатник, люцерна, подсолнечник [16–19].

Фосфогипс – это побочный продукт, образующийся при производстве фосфорных удобрений из фосфоритов. Его основной составляющей является гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Хотя он широко используется в строительной сфере, но большая часть фосфогипса размещается в отвалах на долгосрочное хранение. В Республике Беларусь наибольшее количество фосфогипса образуется после переработки апатитовой руды с целью получения фосфорных минеральных удобрений на ОАО «Гомельский химический завод».

В соответствии с информацией, представленной в экологических бюллетенях [20–23], на конец 2022 года в отвалах фосфогипса на территории г. Гомеля накоплено 24,85 млн тонн данного вида отходов. Данные по образованию отходов фосфогипса представлены на рисунке 1. В настоящее время фосфогипс не является часто используемым отходом производства и большая его часть отправляется на захоронение и отвалы. В рамках нашей работы мы предлагаем рассмотреть возможность его использования в качестве добавки для улучшения свойств техногенно нарушенных засоленных почв.

Методы и объекты исследования. Для исследований были отобраны образцы засоленной почвы в зоне воздействия второго рудоуправления ОАО «Беларускалий» в радиальном направлении на расстоянии 200 м от террикона, из отвалов ОАО «Гомельский химический завод» были отобраны образцы фосфогипса.

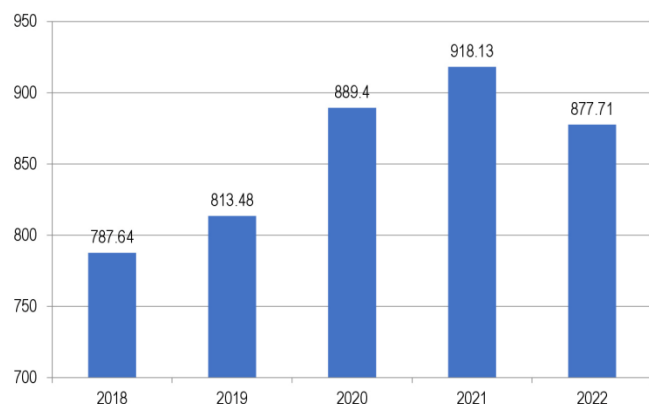


Рисунок 1 – Образование крупнотоннажных отходов фосфогипса в период с 2019 по 2022 гг., тыс. т

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». Определение общей засоленности почвы осуществляли гравиметрическим методом сухого остатка водной вытяжки согласно ГОСТ Р 59540-2021 «Грунты. Методы лабораторного определения степени засоленности». 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.

По результатам определения гранулометрического состава образца фосфогипса, большую фракцию составляют частицы размером 0,5–0,9 мм, на их долю приходится 27 % (рисунок 2).

Как следует из данных, приведенных на рисунке 3, гранулометрический состав засоленной почвы с преобладанием фракции средней крупности (размер частиц от 0,5 до 2 мм) и содержанием лишь 3 % мелкой глинистой фракции до 0,5 мм определяет связно-песчаный состав почвы по классификации Н. А. Качинского, тип почвы дерново-подзолистый.

Как следует из данных таблицы 1, отобранный образец засоленной почвы характеризуется высокими значениями pH, общего содержания солей и содержания хлорид-ионов, полученные данные коррелируют с результатами предыдущих исследований с учетом незначительных отличий, обусловленных условиями отбора образцов и метеорологическими условиями разных сезонов [16, 18].

Таблица 1 – Физико-химическая характеристика исследуемых образцов почвы и отходов

Образец	Влажность, %	pH	Содержание хлорид-ионов, мг/кг	Содержание солей, %
Почва	11,4	8,7	0,57	0,26
Фосфогипс	0,17	4,6	Ниже предела обнаружения	Не определялось

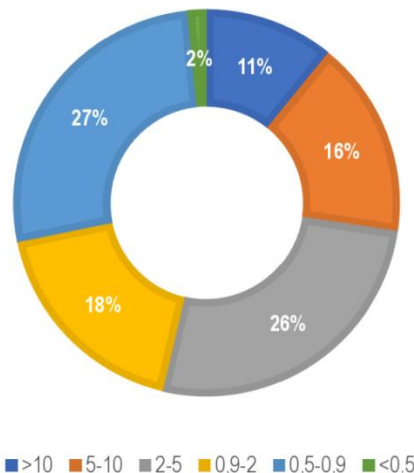


Рисунок 2 – Процентное соотношение фракций гранулометрического состава фосфогипса

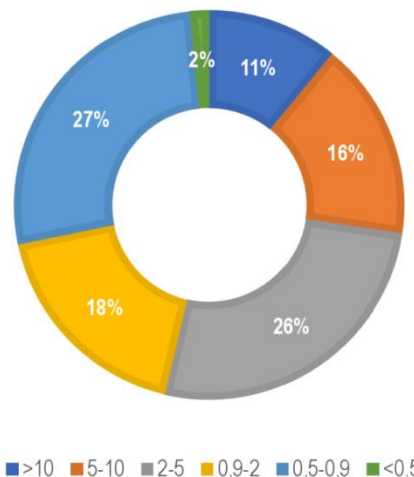


Рисунок 3 – Процентное соотношение фракций гранулометрического состава анализируемого образца почвы

С целью определения возможности применения фосфогипса в качестве мелиоранта и структуратора почвы на биологическом этапе рекультивации были заложены лабораторные опыты по определению всхожести семян с различным соотношением фосфогипса : засоленная почва. Опыт заложен в трёхкратной повторности, фосфогипс добавляли к засоленной почве в количестве 5, 10 и 20 масс.%, контролем служила засоленная почва. В качестве тест-растений были выбраны основные сельскохозяйственные культуры, широко используемые в растениеводстве Беларуси и достаточно толерантные к присутствию солей в почве, такие как пшеница, свекла, рапс. Всхожесть определяли как процентное соотношение всходов к общему количеству семян в сосуде, длительность наблюдений составила 10 суток. В течение всего эксперимента растения поливали водой по мере пересыхания верхнего слоя почвы, опыт проводили при естественном освещении.

Анализ динамики всхожести семян пшеницы (рисунок 4) в лабораторном опыте с добавлением различного количества фосфогипса показал, что всходы появлялись на 1–2 суток ранее, чем в контроле. Добавление к засоленной почве 5 и 10 % фосфогипса положительно сказывается на всхожести семян, при этом максимальная всхожесть (90 %) была отмечена на десятый день вегетации при добавлении к засоленной почве 10 % фосфогипса. Динамика роста показателя всхожести при добавлении 5 % фосфогипса была сравнима с вариантом опыта с добавлением 10 % фосфогипса и составила на 10 сутки более 80 %. Однако следует отметить, что увеличение доли фосфогипса до 20 % не дало существенного увеличения показателя всхожести в сравнении с контролем.

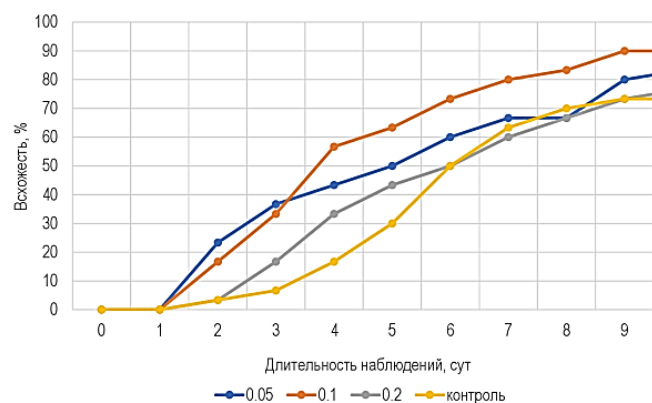


Рисунок 4 – Динамика всхожести семян пшеницы в лабораторном опыте с добавлением различного количества фосфогипса к засолённой почве

Аналогичная тенденция прослеживается при проращивании семян свеклы (рисунок 5). Отмечается задержка всхожести семян на 1–2 суток в контроле и при добавлении к засолённой почве 20 % фосфогипса. На 8 сутки наблюдений количество всходов увеличивается во всех вариантах опыта, однако разница с контролем более существенная и к концу периода наблюдений (10 суток) составила 80 % при добавлении 5 % фосфогипса и 93 % при добавлении 10 % фосфогипса, в то время как в засолённой почве (контроль) всхожесть составила 66 %.

В случае семян рапса (рисунок 6), максимальная всхожесть (90 %) на десятый день вегетации наблюдалась при соотношении засолённая почва : фосфогипс (95:5). Положительный результат также отмечается при внесении 10 % фосфогипса, так как всхожесть семян рапса составляет 86 % по сравнению с контролем 63 %. Как следует из анализа всхожести (рисунки 4, 5, 6), для всех исследуемых тест-культур – пшеница, свекла, рапс – добавление 20 % фосфогипса не даёт существенного увеличения показателя всхожести.

По окончании периода наблюдений (10 суток) были определены морфометрические показатели корневой и надземной части растений, результаты измерений которых представлены в таблице 2.

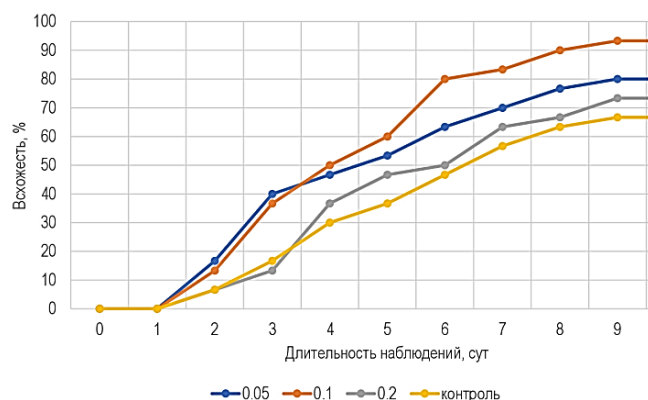


Рисунок 5 – Динамика всхожести семян свеклы в лабораторном опыте с добавлением различного количества фосфогипса к засолённой почве

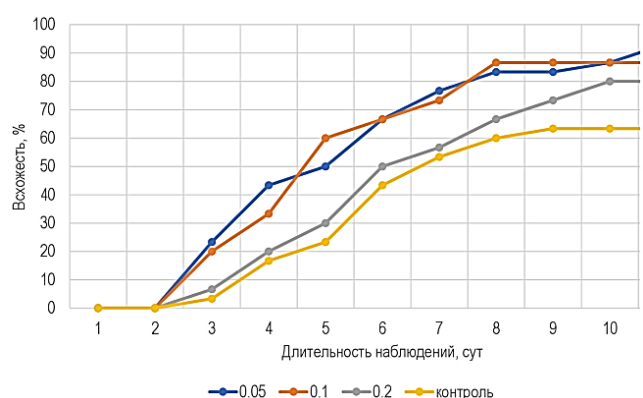


Рисунок 6 – Динамика всхожести семян рапса в лабораторном опыте с добавлением различного количества фосфогипса к засолённой почве

Таблица 2 – Морфометрические показатели растений при выращивании в засолённой почве с добавлением различного количества фосфогипса

Культура	Засолённая почва + 5 % фосфогипса		Засолённая почва + 10 % фосфогипса		Засолённая почва + 20 % фосфогипса		Засолённая почва – контроль	
	длина корневой, см	длина надземной части, см	длина корневой, см	длина надземной части, см	длина корневой, см	длина надземной части, см	длина корневой, см	длина надземной части, см
Пшеница	7,8	8,6	7,2	8,5	6,7	8,4	5,9	6,9
Свекла	4,4	5,2	4,3	4,9	3,9	4,8	3,6	4,1
Рапс	6,0	4,4	5,7	4,3	5,3	3,9	4,8	3,6
НСР ₀₅	0,5	0,6	0,6	0,4	0,7	0,6	0,5	0,4

Тенденция угнетения роста и развития корневой системы растений по сравнению с надземной частью полностью прослеживается из данных таблицы 2. При этом наибольшая разница в длине корней и надземной части растений пшеницы, свеклы и рапса с контролем (засолённая почва) установлена в варианте опыта с добавлением 5 % фосфогипса к почве, что полностью коррелирует с данными по всхожести семян (рисунки 4, 5, 6).

Заключение

Установлено, что одним из экологических и экономически выгодных методов рекультивации техногенно нарушенных засолённых почв в районах деятельности калийного производства является внесение фосфогипса в качестве мелиоранта и структуратора. По результатам тестирования технических и злаковых культур на засолённых почвах с добавлением фосфогипса лучшие результаты показало внесение в почву мелиоранта 5–10 масс. %.

Всхожесть семян пшеницы увеличивается на 10–17 %, свеклы на 14–27 % и рапса на 20–31 % по сравнению с засолённой почвой при внесении в нее от 5 до 10 масс. % фосфогипса. Добавление к засолённой почве 5 масс. % фосфогипса улучшает морфометрические показатели растений пшеницы, свеклы и рапса, за счет ускорения развития корневой системы и роста надземной части, что позволяет сформировать устойчивый фитоценоз и стимулировать урожайность сельскохозяйственных культур в условиях засолённой почвы. Внесение фосфогипса может применяться как на биологическом этапе рекультивации засолённых земель, так и при возделывании сельскохозяйственных культур на почвах, прошедших рекультивацию либо имеющих невысокую степень засолённости, тем не менее оказывающую негативное воздействие на структуру урожая. Использование фосфогипса позволяет не только решить проблему засолённости почвы, но и утилизировать отход, засоряющий литосферу.

Список цитированных источников

1. Rauche, H. Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert / H. Rauche. – Germany : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. – 580 p. – DOI: 10.1007/978-3-662-46834-0.
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. – DOI: 10.17580/gzh.2015.05.21.
3. Анализ воздействия хранилищ отходов калийного производства на окружающую среду и подходы к выбору рационального способа их складирования / Т. А. Петрова, Т. С. Астапенко, А. А. Кологривко, А. С. Долгих // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 3. – URL: <https://esj.today/PDF/11NZVN322.pdf> (дата обращения 12.01.2025).
4. Желязко, В. И. Рекультивация и охрана земель: учебно-методическое пособие / В. И. Желязко. – Горки : БГСХА, 2021. – 190 с. – URL: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/3023> (дата обращения 14.01.2025).
5. 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.
6. Судник, А. В. О последствиях применения в качестве противогололедного реагента хлорида натрия на состояние насаждений вдоль улиц и дорог в г. Минске / А. В. Судник, А. П. Яковлев. – URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/270769> (дата обращения 14.01.2025).
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. – опубл. 27.08.2012.
8. Двуреченская, Е. Б. Техногенный галогенез в торфяных болотных верховых почвах средней тайги Западной Сибири / Е. Б. Двуреченская // Географический вестник = Geographical Bulletin, № 3. – 2020. – С.148–158. – DOI: 10.17072/2079-7877-2020-3-148-158.
9. Демидова, М. И. Влияние галитовых отходов ОАО «Уралкалий» города Березники на почву и растительность / М. И. Демидова, Ю. Е. Лихарева, В. К. Лапина // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 2. – С. 154–166.
10. 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.
11. Метод биологической рекультивации территорий с высокой засоленностью почв на основе энергетических плантаций древесных растений / О. И. Родькин, Т. Волк, 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.
12. Четина, О. А. Накопление низкомолекулярных соединений как ответная реакция растений на техногенное засоление / О. А. Четина, О. З. Еремченко, И. В. Пахорук // Экология. – 2023. – № 2. – С. 94–102. – DOI: 10.31857/S036705972302004X.
13. Почвенно-геохимическая оценка засоления территории, прилегающей к Кучукскому месторождению солей (Алтайский край) / Ю. В. Симонова, О. Р. Жунусова, М. В. Чарыкова, Г. А. Касаткина // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2024. – Т. 69, № 1. – DOI: 10.21638/spbu07.2024.110.
14. Хайрулина, Е. А. Проблемы рекультивации солеотвалов калийных предприятий / Е. А. Хайрулина, О. С. Кудряшова, Л. В. Новоселова // Горный журнал. – 2019. – № 5. – С. 90–95. – DOI: 10.17580/gzh.2019.05.18.
15. Носова, М. В. Опыт проведения локальных рекультивационных мероприятий по восстановлению техногенно-засоленных почв / М. В. Носова, В. П. Середина, С. А. Стовбунин // Принципы экологии. – 2024. – № 3. – С. 61–71. – DOI: 10.15393/j1.art.2024.14964.
16. Хрипович, А. А. Использование природных каустобиолитов для минимизации засоления почвы в техногенно нарушенных экосистемах / А. А. Хрипович, А. А. Цыганова, Е. А. Тишкова // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. – № 2. – С. 108–111. – DOI: 10.36773/1818-1112-2024-134-2-108-111.
17. Хрипович, А. А. Геоэкологические факторы загрязнения хлоридами почвы и подземных вод в зоне воздействия складирования галитовых отходов / А. А. Хрипович, Е. А. Тишкова // Природопользование. – 2024. – № 1. – С. 78–87. – DOI: 10.47612/2079-3928-2024-1-78-87.
18. Перспективы выращивания растений на засоленных землях для энергетических целей / Е. В. Зеленуха, И. В. Скуратович, С. А. Лаптенко [и др.] // Научные горизонты. – 2023. – № 10 (74). – С. 61–70.
19. Фитомелиорация территорий в зонах добычи калийных удобрений / И. В. Скуратович, Е. В. Зеленуха, С. А. Лаптенко [и др.] // Научные горизонты. – 2023. – № 4 (68). – С. 35–48.
20. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Е. И. Громадская, Д. В. Баканова, М. В. Водейко [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Громадской. – Минск : РУП «ЦНИИКИВР», 2022. – 145 с.
21. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Е. И. Громадская, С. А. Дубенок, С. В. Сушко [и др.] ; под общ. ред. С. А. Дубенок. – Минск : РУП «ЦНИИКИВР», 2021. – 150 с.
22. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Е. И. Громадская, Д. В. Цубленок, М. В. Водейко [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Громадской. – Минск : РУП «ЦНИИКИВР», 2023. – 151 с.
23. Состояние природной среды Беларуси: ежегодное информационно-аналитическое издание / Р. В. Михалевич, В. М. Бурак, С. А. Дубенок [и др.] ; под общ. ред. М. А. Ереско. – Минск : РУП «Бел НИЦ «Экология», 2020. – 101 с.

References

1. Rauche, H. Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert / H. Rauche. – Germany : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. – 580 p. – DOI: 10.1007/978-3-662-46834-0.
2. SHemet, S. F. Snizhenie geoeologicheskikh posledstvij pri podzemnoj razrabotke kaliynih mestorozhdenij / S. F. SHemet, A. A. Kologrivko // Gornyj zhurnal. – 2015. – № 5. – S. 100–105. – DOI: 10.17580/gzh.2015.05.21.
3. Analiz vozdeystviya hranilishch othodov kaliynogo proizvodstva na okruzhayushchuyu sredu i podhody k vyboru racional'nogo sposoba ih skladirovaniya / T. A. Petrova, T. S. Astapenko, A. A. Kologrivko, A. S. Dolgih // Vestnik evrazijskoj nauki. – 2022. – T. 14, № 3. – URL: <https://esj.today/PDF/11NZVN322.pdf> (data obrashcheniya 12.01.2025).
4. ZHelyazko, V. I. Rekul'tivaciya i ohrana zemel': uchebno-metodicheskoe posobie / V. I. ZHelyazko. – Gorki : BGSKHA, 2021. – 190 s. – URL: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/3023> (data obrashcheniya 14.01.2025).
5. Fominyh, D. E. Tekhnogennoe zasolenie pochv kak geoeologicheskij faktor pri razrabotke nefyanyh mestorozhdenij srednego Priob'ya : dis. ... kand. geol.-min. nauk, 25.00.36 / D. E. Fominyh ; NI TPU. – Tomsk, 2013. – 22 s.
6. Sudnik, A. V. O posledstviyah primeneniya v kachestve protivogolodnogo reagenta hlorida natriya na sostoyanie nasazhdenij vdol' ulic i dorog v g. Minske / A. V. Sudnik, A. P. YAKovlev. – URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/270769> (data obrashcheniya 14.01.2025).
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.
8. Dvurechenskaya, E. B. Tekhnogennyy galogenez v torfanyh bolotnyh verkhovyh pochvah srednej tajgi Zapadnoj Sibiri / E. B. Dvurechenskaya // Geograficheskij vestnik = Geographical Bulletin, № 3. – 2020. – S.148–158. – DOI: 10.17072/2079-7877-2020-3-148-158.

9. Demidova, M. I. Vliyaniye galitovykh othodov OAO «Uralkalij» goroda Berezniki na pochvu i rastitel'nost' / M. I. Demidova, YU. E. Lihareva, V. K. Lapshina // Vestnik PNIPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. – 2014. – № 2. – S. 154–166.
10. Golovatyj, S. E. Vliyaniye sodержaniye natriya i hlora na urozhajnost' yarovykh zemovykh kul'tur / S. E. Golovatyj, Z. S. Kovalevich, N. K. Lukashenko // Pochvovedenie i agrokimiya. – 2010. – № 1. – S. 148–156.
11. Metod biologicheskoy rekul'tivatsii territorij s vysokoy zasolennost'yu pochv na osnove energeticheskikh plantacij drevesnykh rastenij / O. I. Rod'kin, T. Volk, I. A. Basalaj, E. V. CHernenok // Problemy rekul'tivatsii othodov byta, promyshlennogo i sel'skohozyajstvennogo proizvodstva : sb. nauch. tr. po materialam V Mezhdunar. nauch. ekol. konf. / Kub. gos. agrar. un-t ; pod red. I. S. Belyuchenko. – Krasnodar, 2017. – С. 409–414.
12. CHetina, O. A. Nakopleniye nizkomolekulyarnykh soedinenij kak otvetnaya reakciya rastenij na tekhnogennoe zasoleniye / O. A. CHetina, O. Z. Eremchenko, I. V. Pahorukov // Ekologiya. – 2023. – № 2. – S. 94–102. – DOI: 10.31857/S036705972302004X.
13. Pochvenno-geohimicheskaya ocenka zasoleniya territorij, prilgayushchej k Kuchuksskomu mestorozhdeniyu solej (Altajskij kraj) / YU. V. Simonova, O. R. ZHunusova, M. V. CHarykova, G. A. Kasatkina // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle. – 2024. – T. 69, № 1. – DOI: 10.21638/spbu07.2024.110.
14. Hajrulina, E. A. Problemy rekul'tivatsii soleotvalov kalijnykh predpriyatij / E. A. Hajrulina, O. S. Kudryashova, L. V. Novoselova // Gornyj zhurnal. – 2019. – № 5. – С. 90–95. – DOI: 10.17580/gzh.2019.05.18.
15. Nosova, M. V. Opyt provedeniya lokal'nykh rekul'tivacionnykh meropriyatij po vosstanovleniyu tekhnogenno-zasolennykh pochv / M. V. Nosova, V. P. Seredina, S. A. Stovbunik // Principy ekologii. – 2024. – № 3. – S. 61–71. – DOI: 10.15393/j1.art.2024.14964.
16. Hripovich, A. A. Ispolzovanie prirodnykh kaustobiolitov dlya minimizatsii zasoleniya pochvy v tekhnogenno narushennykh ekosistemah / A. A. Hripovich, A. A. Cyganova, E. A. Tishkovskaya // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2024. – № 2. – S. 108–111. – DOI: 10.36773/1818-1112-2024-134-2-108-111.
17. Hripovich, A. A. Geoekologicheskie faktory zagryazneniya hlорidami pochvy i podzemnykh vod v zone vozdejstviya skladirovaniya galitovykh othodov / A. A. Hripovich, E. A. Tishkovskaya // Prirodopol'zovanie. – 2024. – № 1 – S. 78–87. – DOI: 10.47612/2079-3928-2024-1-78-87.
18. Perspektivy vyrashchivaniya rastenij na zasolennykh zemlyah dlya energeticheskikh celej / E. V. Zelenuho, I. V. Skuratovich, S. A. Laptенok [i dr.] // Nauchnye gorizonty. – 2023. – № 10 (74). – S. 61–70.
19. Fitomelioratsiya territorij v zonah dobychi kalijnykh udobrenij / I. V. Skuratovich, E. V. Zelenuho, S. A. Laptенok [i dr.] // Nauchnye gorizonty. – 2023. – № 4 (68). – S. 35–48.
20. Sostoyaniye prirodnoj sredy Belarusi: ekologicheskij byulleten' / E. I. Gromadskaya, D. V. Bakanova, M. V. Vodejko [i dr.] ; pod obshch. red. E. I. Gromadskoj. – Minsk : RUP «CNIKIVR», 2022. – 145 s.
21. Sostoyaniye prirodnoj sredy Belarusi: ekologicheskij byulleten' / E. I. Gromadskaya, S. A. Dubenok, S. V. Sushko [i dr.] ; pod obshch. red. S. A. Dubenok. – Minsk : RUP «CNIKIVR», 2021. – 150 s.
22. Sostoyaniye prirodnoj sredy Belarusi: ekologicheskij byulleten' / E. I. Gromadskaya, D. V. Cublenok, M. V. Vodejko [i dr.] ; pod obshch. red. E. I. Gromadskoj. – Minsk : RUP «CNIKIVR», 2023. – 151 s.
23. Sostoyaniye prirodnoj sredy Belarusi: ezhegodnoe informacionno-analiticheskoe izdanie / R. V. Mihalevich, V. M. Burak, S. A. Dubenok [i dr.] ; pod obshch. red. M. A. Eres'ko. – Minsk : RUP «Bel NIC «Ekologiya», 2020. – 101 s.

Материал поступил 22.01.2025, одобрен 27.02.2025,
принят к публикации 28.02.2025