

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы: пәнаралық = Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина: междисциплинарный. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2025. -№ 3 (127). - Р.81-95. - ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

doi.org/10.51452/kazatu.2025.3(127).1997

УДК 504.53.062.4

Исследовательская статья

Влияние диатомита на физико-химические характеристики засоленных каштановых солонцеватых почв Северного Казахстана

Алсар Ж.¹ , Дускинова Б.² , Гаджимурадова А.³ , Киргизова И.⁴ ,
Жагипар Ф.³ , Инсепов З.^{2,5} 

¹Nazarbayev University, Астана, Казахстан

²ТОО «Everest Consulting», Астана, Казахстан

³Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,

⁴ТОО «Макинская Птицефабрика», Макинск, Северо-Западная промышленная зона
⁵Школа ядерной инженерии, Purdue University, West Lafayette, IN, США

Автор-корреспондент: Жагипар Ф.: zhagipar.fariza@gmail.com

Соавторы: (1: ЖА) j.alsar.979@gmail.com; (2: БД) bagdatduskinova@gmail.com;

(3: АГ) aisarat3878@mail.ru; (4: ИК) irina.kz-89@mail.ru; (5: ЗИ) zinsepov@purdue.edu

Получено: 01.07.2025 Принято: 29.09.2025 Опубликовано: 30.09.2025

Аннотация

Предпосылки и цель. Засоление почвы является основным ограничительным фактором для сельского хозяйства, который изменяет состав почвенной микробиоты, а также усугубляет опустынивание земель и потерю биоразнообразия, особенно в условиях изменения климата. Целью эксперимента является изучение физико-химических свойств диатомита в качестве добавки (мелиоранта) в исходно засоленных почвах для улучшения их химических свойств и плодородия.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись образцы суглинистых солонцеватых каштановых почв (верхние горизонты 0-20 см и 20-30 см) Нуринского района Карагандинской области и диатомит Жалпакского месторождения Западно-Казахстанской области, использованный в качестве мелиоранта. Основные методы исследования включали физико-химические, химические и биологические методы. Изучения проводили в трехкратной повторности.

Результаты. В результате эксперимента было выявлено положительное влияние добавок природного диатомита на свойства солонцовых почв. Благодаря адсорбирующими свойствам диатомита происходит сорбция легкорастворимых солей, по всей исследуемой глубине, особенно токсичных ионов хлора. Наблюдалось уменьшение Na^+ в почвенном поглощающем комплексе (ППК) и как следствие улучшение структуры исходно слитой плотной почвы. Эксперимент показал максимальное улучшение структуры исходно очень плотной и твердой почвы при внесении максимальной дозы диатомита 12%. Так мы можем предположить, что улучшение структуры почвы под влиянием диатомита связано с изменением состава обменных катионов в ППК.

Заключение. Выявлено уменьшение легкорастворимых солей (ЛРС) в почвах, а также улучшение структуры почв в присутствии диатомита, позволяющее использовать этот минерал в целях введения засоленных земель в севооборот. Уменьшение Na^+ в ППК даст возможность использовать диатомит для улучшения плодородных свойств солонцов.

Ключевые слова: диатомит; засоление; мелиорация; натрий; хлорид.

Введение

Последствия глобального потепления все чаще приводят к разрушительным экологическим стрессам, таким как жара, засоление и засуха. Засоление почв является серьезной экологической проблемой и приводит к пагубному абиотическому стрессу, затрагивая 7% площади земель и 33% орошаемых земель во всем мире [1]. Засоленные почвы в основном содержат растворимые солевые компоненты, включая кальций (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}), натрий (Na^+), калий (K^+), хлорид (Cl^-), бикарбонат (HCO_3^-) или сульфат (SO_4^{2-}) [2]. Засоленная натриевая почва с высоким накоплением соли препятствует росту сельскохозяйственных культур. Другие недостатки включают нарушение и дисбаланс в усвоении воды и питательных веществ и неблагоприятные физические свойства [3].

Засоленные почвы с высокой концентрацией соли приводят к неблагоприятным физическим, химическим и биологическим свойствам [4]. Засоленные почвы содержат высокие уровни ионов Na^+ в поглощающем комплексе почвы, что приводит к нарушению и дисбалансу в поглощении воды и питательных веществ для сельскохозяйственных культур и ухудшению физических свойств почвы [5]. Засоление почвы может также косвенно влиять на сельскохозяйственные культуры, вызывая дефицит питательных веществ или дисбаланс питательных веществ в растениях, такой как дисбаланс в соотношении $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ [6] или напрямую оказывать токсичность на растения за счет чрезмерного поглощения ионов, таких как Na^+ , Cl^- , B^+ и SO_4^{2-} [7]. На сельскохозяйственных землях засоление препятствует взаимодействию воды и растений, внося избыток соли в корни, что уменьшает количество воды, доступной растению, и заставляет растение использовать больше энергии для удаления соли и поглощения воды. Стресс засоления определяется как накопление солей в ризосфере, преимущественно ионов натрия (Na^+) и хлорида (Cl^-). Обычно почва считается засоленной, когда электропроводность насыщенной вытяжки в корневой зоне превышает 40 мМ при 25 °C, с 15% несвязанных ионов Na^+ [8]. По данным Министерства сельского хозяйства США, почва считается засоленной, когда электропроводность (ЕС) насыщенной почвенной вытяжки (насыщение ЕС) превышает 4 дСм м⁻¹ при 25 °C. Следовательно, более высокое содержание растворенных солей в почве приведет к более высокой электропроводности [9].

Засоленные почвы в основном распространены в Средней Азии и Казахстане, встречаются они также в Западной Сибири и Западном Китае. Большая часть засоленных почв сосредоточена в Казахстане. На территории Казахстана 111,5 млн га или 41% площади республики занимают засоленные земли, особенно в северной и центральной частях распространены солонцы и солонцовые почвы [10].

На протяжении многих десятилетий учеными и исследователями проводится большая работа по изучению и динамике свойств засоленных почв Казахстана. Знания свойств засоленных почв и процессов, протекающих в них, позволяют выбрать оптимальные методы обессоливания почв с целью улучшения их плодородия и эффективного использования в севообороте [11].

На сегодняшний день известны различные подходы в борьбе с засолением земель, имеется три основных метода ее мелиорации: удаление солей, накопившихся на поверхности почвы, механическими средствами; смывание поверхностных накопленных солей путем промывки поверхности водой; выщелачивание, чаще всего осуществляется путем накопления пресной воды на поверхности почвы и ее просачивания [12]. Наиболее современные методы включают биобезопасные агенты, и применяют комплексный подход, так, например, китайские ученые изучали влияние биоугля, фульвокислоты и *Bacillus subtilis* на свойства почвы и рост сельскохозяйственных культур в прибрежной засоленной почве. Результаты показали, что внесение большого количества биоугля в 1,75 раз повышают урожайность кукурузы и снижают негативные последствия засоления [13]. Применение штамма *Trichoderma harzianum* ST02 позволило увеличить урожайность сладкого сорго в засоленной почве, за счет повышения доступности питательных веществ для растений, а также изменить состав ризосферного сообщества, повысив обилие *Actinobacter* [14].

Также, особое внимание привлекает кремний, в качестве смягчения засоления и увеличения роста растений и биомассы, что может быть связано с повышенным поглощением и транслокацией K^+ и снижением свободного Na^+ в растениях [15]. Поиск энергосберегающих, доступных, экономически целесообразных и экологически безопасных технологий для обессоливания и ремедиации почв требует новых подходов и решений в данном вопросе.

Диатомиты представляют собой природные структуры, которые имеют 80-90% пористости. Диатомиты представляют собой бесцветные минералы кремнеземного цемента, которые образуются из микроокаменелостей одноклеточных водорослей, называемых диатомовыми, и обычно содержат 86-94% кремнезема [16]. Многие ученые использовали диатомит в качестве адсорбента для удаления цвета из сточных вод и поглощения тяжелых металлов. Также было показано, что функциональная группа SH-SiO₂ может эффективно удалять из окружающей среды тяжелые металлы свинец, никель и ртуть. Многие исследователи считают, что удельная площадь поверхности и размер пор материалов на основе кремния являются эффективными в их способности поглощать металлы. Природный диатомит имеет высокую удельную поверхность, что свидетельствует об их высокой адсорбционной и химической абсорбционной способности. Адсорбционная способность диатомита увеличивается за счет модификации поверхностных слоев и улучшает адсорбционную эффективность диатомита [9]. Диатомит используется как экономически эффективный адсорбент для удаления металлов из сточных вод [17]. Его эффективность в адсорбции ионов металлов обусловлена его отличительными физическими и химическими характеристиками, включая высокопористую структуру, низкую теплопроводность, эффективную сорбционную емкость, инертность, низкую плотность и большую площадь поверхности [18]. Кроме того, диатомит успешно иммобилизовал тяжелые металлы в загрязненных кислых почвах. Значения индекса биодоступности (BI) таких металлов, как Zn, Cu, Cr и Ni, были снижены в кислых почвах, загрязненных тяжелыми металлами, благодаря внесению сепиолита, цеолита и диатомита [13]. Кроме того, модифицированный диатомит может быть эффективным в иммобилизации некоторых металлов в загрязненных почвах [19].

Наши ранние исследования физико-химических свойств диатомита в адсорбции ионов натрия и хлора из водных растворов показали, что максимальная адсорбция составила 50,2 мг/г, а максимальная степень извлечения, соответствующая диапазону концентраций 5-100 мг/л, составила 53,9%. Наблюдаемый эффект применим также для повышения устойчивости растений к солевому стрессу, улучшения прорастания и роста образцов пшеницы [20]. Диатомит используется для снижения максимальной сухой насыпной плотности, а также увеличения оптимального содержания влаги. Исследования показали, что в почвах самая низкая насыпная плотность 9,0% и самое высокое содержание влаги 49,1% достигалось при дозе внесения диатомита в 30% [21].

В данном исследовании изучено влияние диатомита на химические процессы в почвах, в том числе, на содержание легкорастворимых солей и на состав обменных оснований, которое ранее не было исследовано. Положительное влияние диатомита на химические показатели почв позволит использовать этот минерал в качестве недорогого, доступного, эффективного мелиоранта для обессоливания и улучшения качества засоленных почв.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях коллективного пользования Назарбаев Университета в период 2022-2023 гг.

Объектами исследования стали верхние горизонты 0-20 см и 20-30 см суглинистых солонцеватых каштановых почв Нуринского района Карагандинской области и природный диатомит с Жалпакского месторождения Западно-Казахстанской области. Образцы почв были отобраны из 4-х разрезов солонцеватых каштановых почв [22]. Для максимальной достоверности результатов все анализы проводились в 4-х повторностях.

Описание почвы. По геологическому строению исследуемый район реки Нура, а значительная часть стока Нуры относится к внутреннему бессточному бассейну, представлен третичными отложениями, представленные песками и глинами, содержащими гипс. Распространены по всей территории района также каменистые суглинки, образовавшиеся в результате выветривания различных изверженных и метаморфических горных пород. Легкие суглинки. pH почвы на момент закладки на глубине 0-20 см составляла 7,46, 20-30 см – 7,55. Средним содержанием обменных соединений кальция (4,8 мг-экв./100 г) и магния (0,7 мг-экв./100 г) [23], низким содержанием гумуса (1,21%), средней обеспеченностью подвижными соединениями фосфора (1,49 мг/кг) и калия (3,08 мг/кг) – по Кирсанову [24], а также средним уровнем соединений кремния – 80% – по Матыченкову [25].

Диатомит, применяемый в экспериментах, добывали на Жалпакском месторождении Актюбинской области, проведено исследование его химического состава: SiO_2 – 71,48-78,14%, Al_2O_3 – 10,01-15,44%, MgO – 1,32-1,78%, Fe_2O_3 – 2,52-3,98%, K_2O – 1,20-1,36%, CaO – 0,41-0,50%, Na_2O – 1,13-0,26%, MnO – 0,03-0,04%, P_2O_5 – 0,11-0,15%, TiO_2 – 0,54-0,65%.

pH водной вытяжки определяли потенциометрическим методом (ГОСТ 17.5.4.01-84) [26] на приборах pH метр SevenEasyMettlerToledo. Вкратце, метод основан на измерении величины pH водной вытяжки пород электродной системой, состоящей из индикаторного стеклянного электрода, потенциал которого определяется активностью водородных ионов в растворе, и вспомогательного проточного электрода сравнения с известным потенциалом [27].

Электропроводность определяли с помощью кондуктометра OmniCon (ГОСТ 26423-85). Для этого пробы почвы массой 30 г помещали в емкости в конические колбы. К пробам приливали по 150 см³ дистиллированной воды. Почву с водой перемешивали в течение 3 мин на мешалки и отставали 5 мин. После этого с помощью кондуктометра определяли электропроводность подготовленных образцов [27].

Подготовка образцов почв. Образцы почвы верхних горизонтов были высушены, измельчены и просеяны через сито диаметром 4 мм. Высущенный диатомит просеивали через сито 2 мм. Почва с диатомитом тщательно перемешиваются. В образцы почвы добавляли диатомит в размере 1%, 3%, 6%, 9%, 12% по массе. Навески почвы, диатомита и почвы+диатомита массой 200 г помещали в пластиковые контейнеры, тщательно перемешивались, и инкубировали в течение 3 месяцев. В первый день опыта, почву увлажняли чистой водой до полного увлажнения, перемешивали, и контейнер закрывали на 1 неделю (количество влаги рассчитывали из среднегодового количества осадков на территории отбора проб почв). Затем контейнер открывали и почву высушивали. Через 3 недели почву снова увлажняли. Такой цикл увлажнения/высушивания повторяли 3 раза.

Состав и количество легкорастворимых солей (Cl^- , SO_4^{2-} , Ca , Mg , Na^+ , K^+) в водной вытяжке почвы изучали методом ионной хроматографии на приборе Dionex ICS 6000/ Aquion+PneumaticControl. Данным методом проводили последовательное определение анионов хлорида (ClG), фторида (FG), бромида (BrG), нитрата (NO3G), нитрита (NO2G), фосфата (PO4)3G и сульфата (SO4)2G в водных образцах. Для этого образцы почвы гомогенизировали и высушивали перед экстракцией в ультразвуковой ванне Ultrasons-H (P-Selecta, Испания) с рабочей частотой 40 кГц (1000 Вт). Затем раствор фильтровали через фильтры с размером пор 0,45 мкм (ПВДФ, OlimPeak) и немедленно измеряли [28].

Статистический анализ. Среднее значение и стандартное отклонение рассчитывали с помощью программы Microsoft Excel 2010. Для каждого значения мы рассчитывали t критерий Стьюдента, $p<0,05$ принимали за достоверное значение [29].

Результаты и обсуждение

Значение pH и электропроводности засоленной почвы. Исследуемые каштановые почвы сформированы в регионе с дефицитом атмосферных осадков, где ограничен вынос из почв и почвообразующих пород продуктов выветривания и почвообразования и характеризуются слабощелочной реакцией среды, особенно высокой щёлочностью отличается верхний горизонт 0-20 см, показатель pH здесь 8,5. Значения pH и электропроводности в исследуемых почвах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения pH и электропроводности в исследуемых каштановых почвах

Глубина (см)	pH	T, °C	Cond., $\mu\text{S}/\text{sm}$
0-20	$8,52 \pm 1,1^{***}$	21,50	$720,00 \pm 1,4^{***}$
20-30	$7,75 \pm 0,7$	21,50	$2400,00 \pm 1,1$
30-40	$7,68 \pm 0,9$	21,50	$2580,00 \pm 0,7$
40-50	$7,66 \pm 0,3$	21,50	$2981,00 \pm 0,4$

*** $p<0,001$

Из таблицы 1 видно, на поверхности почвы электропроводность минимальна, поскольку в верхнем горизонте обычно меньше легкорастворимых солей – они вымываются вниз при инфильтрации влаги и поглощаются растительностью. На глубине 20-30 см происходит резкое увеличение электропроводности (на 233%) из-за накопления солей, мигрирующих из верхних слоёв. Ещё более высокие значения на 40-50 см (рост на 314 %) отражают максимальную зону аккумуляции этих солей. Параллельно с этим pH на поверхности выше (почва более щелочная), что часто связано с присутствием карбонатов и влиянием растительных остатков. С глубины 20-30 см pH снижается на 9 % и стабилизируется до 40-50 см, что указывает на переход к более нейтральным условиям в зонах аккумуляции солей, где карбонаты уже частично растворены или замещены другими ионами. Снижение pH с глубиной обусловлено вытеснением ионов H^+ из почвенного поглощающего комплекса катионами Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ и Na^+ , мигрирующими в нижние горизонты. В верхнем слое pH выше за счёт наличия карбонатов и органических остатков, а в зоне соленакопления преобладание катионов оснований нейтрализует кислотность, что приводит к более нейтральным значениям pH [30].

Влияние внесения различного процентного содержания диатомита на реакцию среды и электропроводность почв, выражены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения pH и электропроводности после проведения эксперимента

Количество диатомита, %	pH	EC μ S/cm	pH	EC μ S/cm	
%	0-20			20-30	
0%	7,46±0,4	822±1,8	7,55±1,1	509±2,7	
1%	7,28±0,9	282±1,3***	7,7±0,8	247±1,4***	
3%	7,33±1,1	220±1,6***	7,36±1,4	291±1,1***	
6%	7,11±0,6	258±1,2***	7,34±0,9	264±0,6***	
9%	7,42±0,3	272±1,9***	7,43±0,7	280±1,3***	
12%	7,41±1,2	557±0,9***	7,31±1,2	270±0,9**	
Диатомит	4,17±0,6	1935±0,5***	4,91±0,9***	1910±1,1***	

***p<0,001, **p<0,01

В таблице 2 следует отметить влияние внесения различных концентраций диатомита на реакцию среды и электропроводность. В верхнем горизонте почвы на глубине 10-20 см наблюдаем слабощелочную реакцию, при внесении 1% и 6% диатомита щелочность значительно снижается до 7,28 и 7,11 единиц соответственно, электропроводность уменьшается с 822 до 282 при 1% внесении диатомита, при 3% резко снижается до 220, затем плавно возрастает с увеличением концентрации диатомита. В почвенном горизонте на глубине 20-30 см наблюдаем иную картину, при внесении 1% диатомита щелочность почвы увеличилась на несколько порядков, хотя электропроводность снизилась вдвое, в отличие от контроля. 3% и 6% диатомит значительно снизил щелочность почвы, аналогично и электропроводность. Снижение pH при внесении диатомита можно объяснить его химико-минералогическим составом и сорбционными свойствами [31]. Так как, диатомит состоит преимущественно из аморфного диоксида кремния ($SiO_2 \cdot nH_2O$) с развитой пористой структурой, способной активно поглощать катионы-основания (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) из почвенного раствора. Когда эти катионы связываются, их места в почвенном поглощающем комплексе занимают ионы водорода (H^+) или алюминия (Al^{3+}), что повышает кислотность и, соответственно, снижает pH [32].

Кроме того, диатомит может содержать небольшие количества кислотных функциональных групп на поверхности (Si-OH), которые при гидратации частично диссоциируют, выделяя H^+ в почвенный раствор. Это дополнительно способствует сдвигу реакции среды в кислую сторону.

Таким образом, снижение pH в вашем эксперименте связано с ионообменом и поверхностной кислотностью диатомита, а также с его способностью удалять из раствора основания, поддерживавшие щёлочную реакцию.

Анализ водной вытяжки. Почвенные растворы различных типов почв содержат, преимущественно, легкорастворимые соединения [33]. Плодородие почвы для растений в основном регулируется катионообменной способностью почвы. Соответствующее количество основных катионов, удерживаемых почвой, регулирует щелочной статус почвы. Почва будет иметь низкий щелочной статус и будет менее плодородной, когда коллоиды почвы содержат небольшой запас оснований. Содержание анионов и катионов в водной вытяжке исследуемых почв представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание анионов и катионов в водной вытяжке почвенных образцов

Глубина (см)	Анионы, Ммоль-экв/100 г почвы				Катионы, Ммоль-экв/100 г почвы			
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
0-20	31,2±0,4	0,11±0,9	2,82±0,6	2,55±1,4	1,82±0,2	0,85±0,4	32,75±1,5	0,02±1,3
20-30	18,15±0,7	1,69±0,3	4,32±0,4	1,45±0,8	2,90±0,7	2,22±0,9	19,35±0,9	0,05±1,1
30-40	18,76±0,2	1,79±1,3	4,41±0,1	1,43±0,2	2,97±0,5	2,47±0,3	19,26±0,6	0,05±0,6
40-50	24,35±1,1	1,71±0,7	1,71±0,9	0,91±0,5	3,55±0,2	2,79±0,5	21,69±1,1	0,05±0,9

С глубиной (20–50 см) прослеживается зона интенсивного накопления солей, что свойственно солонцам, в которых подзона солевого максимума формируется за счёт миграции и осаждения солей из вышележащих горизонтов. Резкое возрастание концентрации сульфатионов (SO₄²⁻) на глубине 20–30 см и далее вниз указывает на их накопление в зоне пониженной промывки и возможное присутствие гипса или мирабилита. Среди анионов доминируют хлориды, затем карбонаты, что отражает преимущественное поступление солей натрия хлоридного типа. Максимум карбонатных и гидрокарбонатных ионов в верхнем горизонте (0–20 см) связан с поверхностным накоплением карбонатов при испарении влаги и их последующим растворением и выносом в нижние горизонты, что объясняет их уменьшение с глубиной. Наличие легкорастворимых солей (ЛРС) с поверхности указывает на засолённый тип почвы, что характерно для солончаков, где соли выносятся к верхним горизонтам за счёт капиллярного поднятия влаги и испарения. Явное накопление хлорида натрия в верхнем горизонте связано с его высокой растворимостью и подвижностью в почвенно-влаговом потоке.

Высокое содержание хлорид-ионов (31,2 мг-экв/100 г) в верхнем горизонте обусловлено их накоплением за счёт капиллярного подъёма влаги из грунтовых вод и испарения, что характерно для засоленных почв аридных и полуаридных зон. При инфильтрации осадков или поливной воды часть Cl⁻ вымывается в нижележащие горизонты, что приводит к снижению их концентрации на глубине 20–30 см (20,45 мг-экв/100 г). На глубине 40–50 см фиксируется вторичное увеличение содержания (24,25 мг-экв/100 г), что объясняется зоной соленакопления, где скорость фильтрации влаги снижается из-за более плотной структуры горизонта или повышенного содержания глинистых частиц. Хлориды задерживаются в этих слоях, формируя солевой максимум.

Такое стратифицированное распределение солей характерно для почв с хлоридным типом засоления и испарительным режимом воды, где процессы миграции и осаждения ионов зависят от сезона, глубины залегания грунтовых вод и механического состава почвенного профиля. Содержание сульфат ионов также значительно увеличивается с глубиной, со скачком на глубине 20-30 см, на этой глубине количество сульфат ионов превышают принятый порог токсичности для этого аниона, но содержание SO₄²⁻ ионов в более чем в десять раз меньше хлорид ионов. Увеличение концентрации сульфат ионов вероятно связано с деятельностью аэробных серобактерий, которые разлагают органику до сульфатов, а затем сульфатредуцирующие анаэробы окисляют сульфиды до сульфатов, и вымывания из верхних горизонтов. Увеличение концентрации Ca и Mg так же связана с вымыванием ионов из верхних слоев почвы.

Порог токсичности для Cl⁻ 0,01% (0,3 мг-экв), для SO₄²⁻-иона - 0,08% (1,7 мг-экв) [34]. В исследуемых почвах концентрации всех анионов (CO₃²⁻, HCO₃⁻, C) превышают порог токсичности во всей толще 0-50 см, концентрация SO₄²⁻ ионов не превышает порог токсичности только в верхнем горизонте 0-20 см. Среди катионов с глубины 20-30 см резко возрастает содержание катионов Na⁺, Ca²⁺, менее значительное, но все же заметное увеличение катионов

Mg^{2+} . Во всей исследуемой толще почвы преобладают катионы Na^+ , и анионы Cl^- , такое их преобладание характерно в почвах содово-хлоридного типа засоления. Учитывая высокое содержание CO_3^{2-} , HCO_3^- ионов, тип засоления исследуемых почв мы можем охарактеризовать как хлоридно-натриевое с участием соды. При слабой водопроницаемости (например, в солонце) почти все соли Na остаются на месте, их миграция осуществляется только путём диффузии. При хорошей водопроницаемости, но малом количестве инфильтрационных вод в грунтовый водоносный горизонт проникают только хорошо растворимые хлоридные и сульфатные соли, а сульфаты кальция и карбонаты щелочноземельных металлов остаются в зоне аэрации почв.

По результатам ионно-хроматографического исследования почвенных вытяжек наблюдается следующая картина. В обоих исследуемых верхних горизонтах после взаимодействия с диатомитом заметно уменьшается содержание токсичных ионов Na^+ и Cl^- , причем уменьшение их в верхнем горизонте 0-20 см происходит более, чем в 10 раз. Интересно, что максимальное уменьшение ионов Na^+ и Cl^- наблюдается в образцах почвы с 1% и 3% диатомита. Отсюда можно сделать предположение, что внесения диатомита в количестве 1-3% достаточной для уменьшения токсичных солей $NaCl$ в засоленных почвах.

Такая же закономерность характерна и для сульфат-ионов, в первом горизонте 0-20 см (с максимальным содержанием солей), минимальная концентрация SO_4^{2-} ионов в почвенной вытяжке в образцах почвы с 1% и 3% диатомита. Данные исследований представлены в таблицах 4-5.

Таблица 4 – Изменение содержания анионов и катионов в горизонте 0-20 см исследуемой почвы под влиянием внесенных доз диатомита в количестве 1%, 3%, 6%, 9%, 12% по результатам ионно-хроматографического анализа водных вытяжек

Количество диатомита, %	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
%	Ммоль-экв/100г почвы						
0%	30,47±5,2	2,03±3,7	0,05±2,6	33,35±1,5	0,12±1,6	0,52±0,8	1,19±1,4
1%	0,92±4,1***	0,73±1,9***	0,25±2,3*	1,37±1,2***	0,06±1,3	0,16±1,2	1,71±1,5
3%	1,08±2,6	0,55±1,2	0,01±3,1*	1,3±1,6	0,05±1,1	0,14±1,3	0,55±1,2
6%	1,35±3,1	1,03±0,9*	0,01±1,9	1,36±0,9	0,05±0,6	0,13±0,9	0,47±0,7
9%	1,61±1,9	1,18±0,6	0,01±2,1	1,53±0,4	0,05±0,9	0,13±1,1	0,47±0,8
12%	1,67±1,2	1,1±0,2	0,02±0,7	1,48±0,2	0,40±0,3	0,13±0,7	0,50±0,4
Д	6,09±0,2***	6,53±0,4***	0,04±0,3	4,52±0,5***	0,30±0,6	0,77±0,2	0,50±0,3

Таблица 5 – Изменение содержания анионов в водной вытяжке почвы в слое 20-30 см под влиянием внесенных доз диатомита в количестве 1%, 3%, 6%, 9%, 12% по результатам ионно-хроматографического анализа водных вытяжек

Количество диатомита, %	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
%	Ммоль-экв/100г почвы						
0	16,3±3,5	0,94±2,6	0,02±1,9	10,38±1,6	0,05±1,3	0,16±0,8	0,61±1,2
1%	14,07±1,7	2,45±2,3**	0,01±2,1	9,25±0,9	0,09±1,7	0,61±0,6	1,35±0,7
3%	13,98±2,8	2,44±1,4	0,01±3,5	7,78±1,1*	0,07±1,1	0,59±1,2	1,31±0,9
6%	13,63±3,1	2,46±2,6	0,02±2,3	7,54±0,7	0,11±0,9	0,57±0,5	1,29±0,5
9%	11,53±1,2*	1,34±1,5*	0,05±1,2	3,81±0,3**	0,08±1,2	0,29±1,1	0,66±0,2
12%	12,14±2,3	2,92±0,9	0,05±0,4	7,00±0,2**	0,08±0,6	0,51±0,9	1,22±0,7
Д	6,09±0,8***	6,53±0,5***	0,04±0,2	4,52±0,5**	0,30±0,3	0,77±0,5	0,50±0,2

Из таблиц 4 и 5 видим, что динамика ионов Са в почвенной вытяжке менее выражена, и в целом наблюдается увеличение кальция с внесением диатомита максимально в 2 раза в горизонте 20-30 см, причем это увеличение наблюдается уже при внесении 1% диатомита и показатели концентрации максимальные и одинаковые при внесении 1%, 3%, 6% диатомита, в первом же горизонте 0-20 см при максимальных дозах диатомита (6%, 9%, 12%) количество Са уменьшается в 2 раза, что вероятно связано со сложными процессами взаимодействия почвы с диатомитом. Остаток Ca^{2+} в горизонте 20–30 см при внесении диатомита связан с его высвобождением из структуры и примесей диатомита и последующей миграцией вниз, где ионы накапливаются из-за замедленной фильтрации. Плато концентраций при 1-6% указывает на насыщение раствора кальцием. Снижение Ca^{2+} в верхнем горизонте при высоких дозах (6-12%) обусловлено ионообменом с другими катионами и фиксацией кальция на поверхности диатомита в виде труднорастворимых соединений.

При внесении диатомита отмечено снижение концентрации хлорид ионов и Na в почве с глубиной, что связано с их вымыванием в нижние горизонты. При внесении диатомита в засоленную почву отмечено увеличение содержания ионов SO_4^{2-} , NO_3^- , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , что вероятно связано с тем, что диатомит переводит эти вещества в поглощённое состояние, что уменьшает их потери из пахотного слоя на 30-40%. Так же модифицированный диатомит обеспечивает достаточную поверхность для адсорбции тяжёлых металлов, что снижает их концентрацию в почвенном растворе.

Содержание магния Mg в горизонте 0-20 незначительно уменьшается с внесением диатомита, и остается в пределах одних и тех же значений в образцах с разными дозами диатомита, в горизонте же 20-30 незначительно (в 2-3 раза) увеличивается с внесением диатомита, и концентрация его в водной вытяжке остается в пределах одних и тех же значений в образцах с разной долей диатомита. В случае с ионами K^+ в водной вытяжке наблюдается незначительное уменьшение ионов K^+ с добавлением диатомита в горизонте 0-20, и незначительное увеличение концентрации в горизонте 20-30. Причем максимальное увеличение ионов K^+ (в 2 раза) наблюдалось в образце с 6% диатомита.

Воздействия засоления почвы несут широкий спектр проблем как для сельского хозяйства, так и для дикой флоры и фауны, как результат низкая экономическая отдача пахотных и пастбищных земель, истощение почвы, эрозия и др. Эффекты засоления являются результатом сложных взаимодействий между морфологическими, физиологическими и биохимическими процессами, включая прорастание семян, рост растений и поглощение воды и питательных веществ [32]. Засоление влияет почти на все аспекты развития растений, включая: прорастание, вегетативный рост и репродуктивное развитие. Засоление почвы вызывает ионную токсичность, осмотический стресс, дефицит питательных веществ (N, Ca, K, P, Fe, Zn) и окислительный стресс для растений и, таким образом, ограничивает поглощение воды из почвы [33].

Исследователи А.В. Козлов и Н.Н. Копосова [34] установили в рамках лабораторных опытов, что водная вытяжка диатомита, независимо от его соотношения с водой, обладала слабощелочной реакцией. Такое явление, авторы объясняют наличием в составе диатомитовой породы около 50 мг-экв. ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , способных к обменным реакциям, а также амфотерными свойствами кремния, входящего в состав диатомита в большом количестве. Например, такие катионы как Al^{3+} и Fe^{3+} , содержание веществ которых в диатомовой агроруде превышает соответственно 5 % и 2 %, способны образовывать в растворе соединения кислотного характера, которые и подкисляют среду. В итоге выделяющиеся из диатомита катионы способствуют незначительному увеличению кислотности суспензии и, как следствие, снижению ее pH. Исследованная почва с Северного Казахстана согласно результатам водной вытяжки почвенных образцов соответствует натриево-хлоридному засолению по всему профилю, что характерно для солончаковых почв. Сумма легкорастворимых солей максимально в верхнем горизонте, что соответствует 72,12 единиц, снижается к горизонту 20-30 единиц и затем плавно увеличивается в нижних горизонтах, что возможно связано с вторичным засолением грунтовыми водами. Согласно результатам гранулометрического состава, почва на глубине 0-20 см и 20-30 см представлена физическим песком с размером частиц 0,25 мм-0,05 мм, в нижних горизонтах, 30-40 и 40-50 см, заметно преобладание физической глины, что говорит об уплотнении горизонтов. Значение реакции

среды в горизонте 0-20 см соответствует щелочной реакции, затем снижается до слабощелочной, электропроводность напротив же, повышается в нижних горизонтах, такое увеличение электропроводности закономерно коррелирует с увеличением содержания легкорастворимых солей на этих глубинах.

Диатомит привлекает внимание как перспективная среда для адсорбции тяжелых металлов, радиоактивных изотопов, пестицидов, а также солей в почве и воде. Уникальные свойства диатомита, включая высокую пористость, низкую плотность и большую площадь поверхности, делают его ценным материалом для различных промышленных применений, в том числе делает его пригодным для таких применений, как фильтрующие среды, адсорбенты и носители катализаторов [35].

В исследовании применяли диатомит казахстанского происхождения (месторождение Жалпак, ЗКО), который оказал благоприятное влияние на физические свойства почв при внесении 6 и 9%, что привело к снижению твердости почв, а при внесении 12% диатомита почва приобретала более мягкое физическое состояние. Согласно данным в верхних горизонтах почвы наблюдали слабощелочную реакцию, при внесении 1 и 6% диатомита щелочность значительно снижается до 7,28 и 7,11 единиц, соответственно. Электропроводность уменьшается с 822 до 282 при 1% внесении диатомита, при 3% резко снижается до 220, затем плавно возрастает с увеличением концентрации диатомита. Без внесения диатомита водная вытяжка свидетельствовала о наличии легкорастворимых солей и имела хлоридно-натриевое засоление, при внесении различных концентраций диатомита, снижаются легко-растворимые соли, что связано с их адсорбцией.

Заключение

В результате исследования установлено, что казахстанский диатомит эффективно снижает засолённость почв Северного Казахстана за счёт сорбционно-ионнообменных процессов, связывания легкорастворимых солей (Cl^- , SO_4^{2-}), оптимизации катионного состава и улучшения физической структуры. Оптимальный эффект при внесении 6–9% минерала, когда наблюдается максимальное снижение электропроводности и солевого света без значительного перерасхода материала. Применение 12% не дает существенного дополнительного результата по сравнению с 9%, но увеличивает затраты на мелиорацию, что делает продление дальнейшего уточнения дозировок с учётом типа земли, уровня её засоления и экономической поддержки. Таким образом, диатомит как компонент для улучшения почвы и снижения уровня засоления показал отличные результаты на примере засоленной почвы из Северного Казахстана. Казахстанский диатомит имеет широкие перспективы для использования в районах с высоким засолением почв.

Список литературы

- 1 Chele, KH, Tinte, MM, Piater, LA, Dubery, IA, Tugizimana, F. (2021). Soil Salinity, a Serious Environmental Issue and Plant Responses: A Metabolomics Perspective. *Metabolites*, 11(11), 724. DOI: 10.3390/metabo11110724.
- 2 Ma, Z., Ge, Y., Pang, B., Liang, W., Ruze, T. (2024). Characteristics of soil salinity and water-salt transport in the vadose zone of salt-impacted regions with variable permeability. *Environmental geochemistry and health*, 46(11), 442. DOI: 10.1007/s10653-024-02223-9.
- 3 El-Ramady, H., Prokisch, J., Mansour, H., Bayoumi, YA, Shalaby, TA, Veres, S., Brevik, EC. (2024). Review of Crop Response to Soil Salinity Stress: Possible Approaches from Leaching to NanoManagement. *Soil Systems*, 8(1), 11. DOI: 10.3390/soilsystems8010011.
- 4 Pan, J., Xue, X., Huang, CH, You, QG, Guo, PL, Yang, RQ, Da, FW, Duan, ZW, Peng, F. (2024). Effect of salinization on soil properties and mechanisms beneficial to microorganisms in salinized soil remediation a review. *Research in Cold and Arid Regions*, 16(3), 121-128, DOI: 10.1016/j.rcar.2024.07.001.
- 5 Van Tan, L., Thanh, T. (2021). The effects of salinity on changes in characteristics of soils collected in a saline region of the Mekong Delta, Vietnam. *Open Chemistry*, 19(1), 471-480. DOI: 10.1515/chem-2021-0037.

- 6 Atta, K., Mondal, S., Gorai, S., Singh, AP, Kumari, A., Ghosh, T., Roy, A., Hembram, S., Gaikwad, DJ, Mondal, S., Bhattacharya, S., Jha, UC, Jespersen, D. (2023). Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Frontiers in plant science*, 14, 1241736. DOI: 10.3389/fpls.2023.1241736.
- 7 Niste, M., Vidican, R., Rotar, I., Stoian, V., Pop, R., Miclea, R. (2014). Plant nutrition affected by soil salinity and response of rhizobium regarding the nutrients accumulation. *ProEnvironment Promediu*, 7, 71-75.
- 8 Acosta-Motos, JR, Ortuño, MF, Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, MJ, Hernandez, JA. (2017). Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18. DOI: 10.3390/agronomy7010018.
- 9 Ismayilov, AI, Mamedov, AI, Fujimaki, H., Tsunekawa, A., Levy, GJ. (2021). Soil Salinity Type Effects on the Relationship between the Electrical Conductivity and Salt Content for 1:5 Soil-to-Water Extract. *Sustainability*, 13(6), 3395. DOI: 10.3390/su13063395.
- 10 Pachebskij, YaA, Mironenko, EV, Morgun, EG, Ponizovskij, AA. (1980). *Modelirovaniye processov zasoleniya i osoloncevaniya pochv*. M.: Nauka, 12-14. [in Russ].
- 11 Khan, M., Azom, M., Sultan, M., Sultan, M., Mandal, S., Islam, M., Khatun, R., Billah, S., Ali, A. (2019). Amelioration of Saline Soil by the Application of Gypsum, Calcium Chloride, Rice Husk and Cow Dung. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 8, 78-91. DOI: 10.4236/jacen.2019.82007.
- 12 Mishra, AK, Das, R., George Kerry, R., Biswal, B., Sinha, T., Sharma, S., Arora, P., Kumar, M., (2023). Promising management strategies to improve crop sustainability and to amend soil salinity. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 962581. DOI: 10.3389/fenvs.2022.962581.
- 13 Sun, Y., Chen, X., Yang, J., Luo, Y., Yao, R., Wang, X., Xie, W., Zhang, X. (2022). Coastal Soil Salinity Amelioration and Crop Yield Improvement by Biomaterial Addition in East China. *Water*, 14, 3266. DOI: 10.3390/w14203266.
- 14 Wei, Y., Yang, H., Hu, J., Li, H., Zhao, Z., Wu, Y., Li, J., Zhou, Y., Yang, K., Yang, H. (2023). Trichoderma harzianum inoculation promotes sweet sorghum growth in the saline soil by modulating rhizosphere available nutrients and bacterial community. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1258131. DOI: 10.3389/fpls.2023.1258131.
- 15 Adil, M., Shah, AN, Khan, AN, Younas, T., Mehmood, MS, Mahmood, A., Asghar, RMA, Javed, MS. (2023). Amelioration of harmful effects of soil salinity in plants through silicon application: A review. *Pakistan Journal of Botany*, 55(1), 9-18. DOI: 10.30848/PJB2023-1(24).
- 16 Ibrahim, SS, Selim, AQ. (2011). Evaluation of Egyptian diatomite for filter aid applications. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 47(1), 113-122.
- 17 Samani, M., Ahlawat, YK, Golchin, A., Alikhani, HA, Baybordi, A., Mishra, S. (2024). Modified diatomite for soil remediation and its implications for heavy metal absorption in Calendula officinalis. *BMC plant biology*, 24(1), 357. DOI: 10.1186/s12870-024-05068-7.
- 18 Osman, AI, Abd El-Monaem, EM, Elgarahy, AM, Aniagor, CO, Hosny, M., Farghali, M., Rashad, E., Ejimofor, MI, López-Maldonado, EA, Ihara, I., Yap, P-S, Rooney, DW, Eltaweil, AS. (2023). Methods to prepare biosorbents and magnetic sorbents for water treatment: a review. *Environmental Chemistry Letters*. Advance online publication, 21, 2337-2398. DOI: 10.1007/s10311-023-01603-4.
- 19 Chaiyaraksa, C., Tumtong, M. (2019). Acid soil amendment by zeolite, sepiolite and diatomite. *ScienceAsia*, 45, 253-259 DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.2019.45.253.
- 20 Alsar Zh., Duskinova, B., Insepov, Z. (2020). New Sorption Properties of Diatomaceous Earth for Water Desalination and Reducing Salt Stress of Plants. *Eurasian Chemico-Technological Journal*, 22, 89-97. DOI: 10.18321/ectj955.
- 21 Aksakal EL, Angin, I., Oztas, T. (2013). Effects of diatomite on soil consistency limits and soil compactibility. *Catena*, 101, 157-163. DOI: 10.1016/j.catena.2012.09.001.
- 22 Межгосударственный стандарт ГОСТ 28168-89 – Почвы. Отбор проб. Введен в действие от 1989-06-26. (1990).
- 23 Межгосударственный стандарт ГОСТ 26213-2021 – Почвы. Методы определения органического вещества. Введён в действие от 2022-06-06. (2022).
- 24 Межгосударственный стандарт ГОСТ 26207-91 – Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. (1992).

- 25 Матыченков, ВВ, Бочарникова, ЕА, Аммосова, ЯМ. (2002). Влияние кремниевых удобрений на растения и почву. *Агрохимия*, 2, 86-93.
- 26 Межгосударственный стандарт ГОСТ 17.5.4.01-84 – Охрана природы. Рекультивация земель Метод определения рН водной вытяжки вскрышных и вмещающих пород. Введён в действие от 1985-07-01. (1984).
- 27 Piasecki, W., Lament, K. (2024). Application of potentiometric and electrophoretic measurements to evaluate the reversibility of adsorption of divalent ions from a solution on titanium dioxide. *Molecules*, 29(3), 555. DOI: 10.3390/molecules29030555.
- 28 Sarah, P. (2001). Soluble salts dynamics in the soil under different climatic conditions. *Catena*, 43(4), 307-321. DOI: 10.1016/S0341-8162(00)00130-2.
- 29 Kumar, MD. (2023). A Study on Importance of Microsoft Excel Data Analysis Statistical Tools in Research Works. *Journal of Management & Educational Research Innovation*, 1, 76-83. DOI: 10.5281/zenodo.10449150.
- 30 Bolan, NS, Adriano, DC, Curtin, D. (2003). Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. *Advances in Agronomy*, 78, 215-272. DOI: 10.1016/S0065-2113(02)78006-1.
- 31 Gumarova, ZM, Sungatkyzy, S., Sharafiyeva, ZR, Bulekova, AA, Uxikbayeva, MK. (2024). Using the sorption properties of diatomite from the Aktobe deposit in improving the quality of drinking water in Western Kazakhstan. In *E3S Web of Conferences*, 539, 01007. EDP Sciences. DOI:10.1051/e3sconf/202453901007.
- 32 Li, W., Johnson, C. (2016). Relationships among pH, aluminum solubility and aluminum complexation with organic matter in acid forest soils of the Northeastern United States. *Geoderma*, 271, 234-242. DOI: 0.1016/j.geoderma.2016.02.030.
- 33 Valenciano, MN, de Morais, EG, Rosa, SD, Silva, CA. (2024). Soil Solution Properties of Tropical Soils and Brachiaria Growth as Affected by Humic Acid Concentration. *Soil Systems*, 8(3), 86. DOI: 10.3390/soilsystems8030086.
- 34 Araujo, AM, Lessa, JHDL, Chanavat, LG, Curi, N., Guilherme, LRG, Lopes, G. (2020). How sulfate content and soil depth affect the adsorption/desorption of selenate and selenite in tropical soils? *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 44, e0200087. DOI: 10.36783/18069657rbcs20200087.
- 32 Akbarimoghaddam, H., Galavi, M., Ghanbari, A., Panjehkeh, N. (2011). Salinity effects on seed germination and seedling growth of bread wheat cultivars. *Trakia Journal of Sciences*, 9, 43-50. DOI:10.29278/azd.476365.
- 33 Sparks, DL. (2003). 10 - The Chemistry of Saline and Sodic Soils. Environmental Soil Chemistry (Second Edition), Academic Press, 285-300. DOI: 10.1016/B978-012656446-4/50010-4.
- 34 Козлов, АВ, Копосова, НН. (2015). Изучение кислотно-основных свойств диатомита и обработанной им почвы в условиях лабораторного эксперимента. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 242-245.
- 35 Hu, Z., Zheng, S., Li, J., Zhang, S., Liu, M., Wang, Z., Li, J., Sun, H. (2022). Pore structure and surface properties of diatomite with mechanical grinding and its influence on humidity control. *Physicochemical problems of mineral processing*, 58(6), 153509. DOI:10.37190/ppmp/153509.

References

- 1 Chele, KH, Tinte, MM, Piater, LA, Dubery, IA, Tugizimana, F. (2021). Soil Salinity, a Serious Environmental Issue and Plant Responses: A Metabolomics Perspective. *Metabolites*, 11(11), 724. DOI: 10.3390/metabo11110724.
- 2 Ma, Z., Ge, Y., Pang, B., Liang, W., Ruze, T. (2024). Characteristics of soil salinity and water-salt transport in the vadose zone of salt-impacted regions with variable permeability. *Environmental geochemistry and health*, 46(11), 442. DOI: 10.1007/s10653-024-02223-9.
- 3 El-Ramady, H., Prokisch, J., Mansour, H., Bayoumi, YA, Shalaby, TA, Veres, S., Brevik, EC. (2024). Review of Crop Response to Soil Salinity Stress: Possible Approaches from Leaching to NanoManagement. *Soil Systems*, 8(1), 11. DOI: 10.3390/soilsystems8010011.

4 Pan, J., Xue, X., Huang, CH, You, QG, Guo, PL, Yang, RQ, Da, FW, Duan, ZW, Peng, F. (2024). Effect of salinization on soil properties and mechanisms beneficial to microorganisms in salinized soil remediation a review. *Research in Cold and Arid Regions*, 16(3), 121-128, DOI: 10.1016/j.rcar.2024.07.001.

5 Van Tan, L., Thanh, T. (2021). The effects of salinity on changes in characteristics of soils collected in a saline region of the Mekong Delta, Vietnam. *Open Chemistry*, 19(1), 471-480. DOI: 10.1515/chem-2021-0037.

6 Atta, K., Mondal, S., Gorai, S., Singh, AP, Kumari, A., Ghosh, T., Roy, A., Hembram, S., Gaikwad, DJ, Mondal, S., Bhattacharya, S., Jha, UC, Jespersen, D. (2023). Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Frontiers in plant science*, 14, 1241736. DOI: 10.3389/fpls.2023.1241736.

7 Niste, M., Vidican, R., Rotar, I., Stoian, V., Pop, R., Miclea, R. (2014). Plant nutrition affected by soil salinity and response of rhizobium regarding the nutrients accumulation. *ProEnvironment Promediu*, 7, 71-75.

8 Acosta-Motos, JR, Ortuño, MF, Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, MJ, Hernandez, JA. (2017). Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18. DOI: 10.3390/agronomy7010018.

9 Ismayilov, AI, Mamedov, AI, Fujimaki, H., Tsunekawa, A., Levy, GJ. (2021). Soil Salinity Type Effects on the Relationship between the Electrical Conductivity and Salt Content for 1:5 Soil to Water Extract. *Sustainability*, 13(6), 3395. DOI: 10.3390/su13063395.

10 Pachebskij, YaA, Mironenko, EV, Morgun, EG, Ponizovskij, AA. (1980). *Modelirovaniye processov zasoleniya i osoloncenvaniya pochv*. M.: Nauka, 12-14. [in Russ].

11 Khan, M., Azom, M., Sultan, M., Mandal, S., Islam, M., Khatun, R., Billah, S., Ali, A. (2019). Amelioration of Saline Soil by the Application of Gypsum, Calcium Chloride, Rice Husk and Cow Dung. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 8, 78-91. DOI: 10.4236/jacen.2019.82007.

12 Mishra, AK, Das, R., George Kerry, R., Biswal, B., Sinha, T., Sharma, S., Arora, P., Kumar, M., (2023). Promising management strategies to improve crop sustainability and to amend soil salinity. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 962581. DOI: 10.3389/fenvs.2022.962581.

13 Sun, Y., Chen, X., Yang, J., Luo, Y., Yao, R., Wang, X., Xie, W., Zhang, X. (2022). Coastal Soil Salinity Amelioration and Crop Yield Improvement by Biomaterial Addition in East China. *Water*, 14, 3266. DOI: 10.3390/w14203266.

14 Wei, Y., Yang, H., Hu, J., Li, H., Zhao, Z., Wu, Y., Li, J., Zhou, Y., Yang, K., Yang, H. (2023). *Trichoderma harzianum* inoculation promotes sweet sorghum growth in the saline soil by modulating rhizosphere available nutrients and bacterial community. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1258131. DOI: 10.3389/fpls.2023.1258131.

15 Adil, M., Shah, AN, Khan, AN, Younas, T., Mehmood, MS, Mahmood, A., Asghar, RMA, Javed, MS. (2023). Amelioration of harmful effects of soil salinity in plants through silicon application: A review. *Pakistan Journal of Botany*, 55(1), 9-18. DOI: 10.30848/PJB2023-1(24).

16 Ibrahim, SS, Selim, AQ. (2011). Evaluation of Egyptian diatomite for filter aid applications. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 47(1), 113-122.

17 Samani, M., Ahlawat, YK, Golchin, A., Alikhani, HA, Baybordi, A., Mishra, S. (2024). Modified diatomite for soil remediation and its implications for heavy metal absorption in *Calendula officinalis*. *BMC plant biology*, 24(1), 357. DOI: 10.1186/s12870-024-05068-7.

18 Osman, AI, Abd El-Monaem, EM, Elgarahy, AM, Aniagor, CO, Hosny, M., Farghali, M., Rashad, E., Ejimofor, MI, López-Maldonado, EA, Ihara, I., Yap, P-S, Rooney, DW, Eltaweil, AS. (2023). Methods to prepare biosorbents and magnetic sorbents for water treatment: a review. *Environmental Chemistry Letters*. Advance online publication, 21, 2337-2398. DOI: 10.1007/s10311-023-01603-4.

19 Chaiyaraksa, C., Tumtong, M. (2019). Acid soil amendment by zeolite, sepiolite and diatomite. *ScienceAsia*, 45, 253-259 DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.2019.45.253.

20 Alsar Zh., Duskinova, B., Insepov, Z. (2020). New Sorption Properties of Diatomaceous Earth for Water Desalination and Reducing Salt Stress of Plants. *Eurasian Chemico-Technological Journal*, 22, 89-97. DOI: 10.18321/ectj955.

- 21 Aksakal EL, Angin, I., Oztas, T. (2013). Effects of diatomite on soil consistency limits and soil compactibility. *Catena*, 101, 157-163. DOI: 10.1016/j.catena.2012.09.001.
- 22 Mezhgosudarstvennyi standart GOST 28168-8 – Pochvy. Otbor prob. Vveden v dejstvie ot 1989-06-26. (1990). [in Russ].
- 23 Mezhgosudarstvennyi standart GOST 26428-85 – Pochvy. Metody opredeleniya kal'ciya i magniya v vodnoj vytyazhke. Vveden v dejstvie ot 1986-01-01. (1985). [in Russ].
- 24 Mezhgosudarstvennyi standart GOST 26207-91 – Opredelenie podvizhnyh soedinenij fosfora i kaliya po metodu Kirsanova v modifikacii CINAO. Vveden v dejstvie ot 1993-07-01. (1992). [in Russ].
- 25 Matychenkov, VV, Bocharkova, EA, Ammosova, YAM. (2002). Vliyanie kremnievyh udobrenij na rasteniya i pochvu. *Agrohimiya*, 2, 86-93. [in Russ].
- 26 Mezhgosudarstvennyi standart GOST 17.5.4.01-84 – Ohrana prirody. Rekul'tivaciya zemel' Metod opredeleniya rN vodnoj vytyazhki vskryshnyh i vmeschchayushchih porod. Vveden v dejstvie ot 1985-07-01. (1984). [in Russ].
- 27 Piasecki, W., Lament, K. (2024). Application of potentiometric and electrophoretic measurements to evaluate the reversibility of adsorption of divalent ions from a solution on titanium dioxide. *Molecules*, 29(3), 555. DOI: 10.3390/molecules29030555.
- 28 Sarah, P. (2001). Soluble salts dynamics in the soil under different climatic conditions. *Catena*, 43(4), 307-321. DOI: 10.1016/S0341-8162(00)00130-2.
- 29 Kumar, MD. (2023). A Study on Importance of Microsoft Excel Data Analysis Statistical Tools in Research Works. *Journal of Management & Educational Research Innovation*, 1, 76-83. DOI: 10.5281/zenodo.10449150.
- 30 Bolan, NS, Adriano, DC, Curtin, D. (2003). Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. *Advances in Agronomy*, 78, 215-272. DOI: 10.1016/S0065-2113(02)78006-1.
- 31 Gumarova, ZM, Sungatkyzy, S., Sharafiyeva, ZR, Bulekova, AA, Uxikbayeva, MK. (2024). Using the sorption properties of diatomite from the Aktobe deposit in improving the quality of drinking water in Western Kazakhstan. In *E3S Web of Conferences*, 539, 01007. EDP Sciences. DOI:10.1051/e3sconf/202453901007.
- 32 Li, W., Johnson, C. (2016). Relationships among pH, aluminum solubility and aluminum complexation with organic matter in acid forest soils of the Northeastern United States. *Geoderma*, 271, 234-242. DOI: 0.1016/j.geoderma.2016.02.030.
- 33 Valenciano, MN, de Moraes, EG, Rosa, SD, Silva, CA. (2024). Soil Solution Properties of Tropical Soils and Brachiaria Growth as Affected by Humic Acid Concentration. *Soil Systems*, 8(3), 86. DOI: 10.3390/soilsystems8030086.
- 34 Araujo, AM, Lessa, JHDL, Chanavat, LG, Curi, N., Guilherme, LRG, Lopes, G. (2020). How sulfate content and soil depth affect the adsorption/desorption of selenate and selenite in tropical soils? *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 44, e0200087. DOI: 10.36783/18069657rbcs20200087.
- 32 Akbarimoghaddam, H., Galavi, M., Ghanbari, A., Panjehkeh, N. (2011). Salinity effects on seed germination and seedling growth of bread wheat cultivars. *Trakia Journal of Sciences*, 9, 43-50. DOI:10.29278/azd.476365.
- 33 Sparks, DL. (2003). 10 - The Chemistry of Saline and Sodic Soils. Environmental Soil Chemistry (Second Edition), Academic Press, 285-300. DOI: 10.1016/B978-012656446-4/50010-4.
- 34 Kozlov, AV, Koposova, NN. (2015). Izuchenie kislotno-osnovnyh svojstv diatomita i obrabotannoj im pochvy v usloviyah laboratornogo eksperimenta. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanii*, 242-245. [in Russ].
- 35 Hu, Z., Zheng, S., Li, J., Zhang, S., Liu, M., Wang, Z., Li, J., Sun, H. (2022). Pore structure and surface properties of diatomite with mechanical grinding and its influence on humidity control. *Physicochemical problems of mineral processing*, 58(6), 153509. DOI:10.37190/ppmp/153509.

Диатомиттің Солтүстік Қазақстанның тұзды каштан сортанды топырақтарының физика-химиялық сипаттамаларына әсері

Алсар Ж., Дускинова Б., Гаджимурадова А., Киргизова И., Жагипар Ф., Инсепов З.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Топырақтың тұздануы ауыл шаруашылығының негізгі шектеуші факторы болып табылады, топырақ микробиотасының құрамын өзгертеді, сонымен қатар жердің шөлөйттенуін және биоэртурліліктің тершендігін, әсіресе климаттың өзгеруі жағдайында күштеді. Эксперименттің мақсаты-диатомиттің химиялық қасиеттері мен құнарлылығын жақсарту үшін бастапқы тұзды топырақтарда қоспа (мелиорант) ретінде физика-химиялық қасиеттерін зерттеу.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысандары Қарағанды облысы Нұра ауданының сазды каштан топырақтары (жоғарғы горизонттары 0-20 см және 20-30 см) және мелиорант ретінде пайдаланылған Батыс Қазақстан облысының жалпақ кен орнының ди-атомиті болды. Зерттеудің негізгі әдістері ретінде физика-химиялық, химиялық және биологиялық әдістер қолданылды. Зерттеулер үш қайталанымда жасалды.

Нәтижелер. Тәжірибе нәтижесінде табиғи диатомит қоспаларының сортаң топырақтардың қасиеттеріне оң әсері анықталды. Диатомиттің адсорбциялық қасиеттеріне байланысты зерттелетін терендікте, тез еритін тұздардың сорбциясы жүреді, әсіресе улы хлор иондарында. Топырақты сіңіру кешенінде (PPC) Na^+ төмендеуі және нәтижесінде бастапқы біріктілген тығыз топырақ құрылымының жақсаруы байқалды. Тәжірибе 12% диатомиттің максималды дозасын қолданған кезде бастапқы ете тығыз және қатты топырақ құрылымының максималды жақсарғанын көрсетті. Сонымен, диатомиттің әсерінен топырақ құрылымының жақсаруы PPC-дегі метаболикалық катиондардың құрамының өзгеруіне байланысты деп болжауға болады.

Қорытынды. Топырақта тез еритін тұздардың (TET) азаюы анықталды, сондай-ақ диатомиттің катысымен топырақ құрылымының жақсаруы осы минералды ауыспалы егіске тұзды жерлерді енгізу мақсатында пайдалануға мүмкіндік береді. PPC-де Na^+ азайту тұзды батпақтардың құнарлы қасиеттерін жақсарту үшін диатомитті қолдануға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: диатомит; мелиорация; натрий; тұздану; хлорид.

Influence of diatomite on physicochemical characteristics of saline chestnut solonetz soils of Northern Kazakhstan

Zh. Alsar, B. Duskinova, A. Gadjimuradova, I. Kirgizova, F. Zhagipar, Z. Insepov

Abstract

Background and Aim. Soil salinization is a major limiting factor for agriculture, causing changes in soil microbiota composition, and exacerbating land desertification and biodiversity loss, especially under climate change. This experiment aimed to study the physicochemical properties of diatomite as an additive (ameliorant) in initially saline soils to improve their chemical properties and fertility.

Materials and Methods. The objects of the study were samples of loamy solonetzic chestnut soils (upper horizons 0-20cm and 20-30cm) from the Nura district, Karaganda region, and diatomite from the Zhalkap deposit, West Kazakhstan region, used as an ameliorant. The main research methods included physico-chemical, chemical and biological analyses. The studies were carried out in threefold replication.

Results. The experiment revealed a positive effect of natural diatomite additives on the properties of solonetz soils. Due to the adsorptive properties of diatomite, there was a sorption of easily soluble salts throughout the studied depth, particularly toxic chlorine ions. A decrease in Na^+ in the soil absorption complex (SAC) was observed, resulting in the improvement of the structure of the initially dense soil. The experiment showed maximum improvement in the structure of initially very dense and hard soil when the maximum dose of diatomite 12% was applied. Thus, we suggest that improvement of soil structure under the influence of diatomite is associated with changes in the composition of exchangeable cations in the SAC.

Conclusion. The observed reduction in easily soluble salts (ESS) and the improvement of soil structure in the presence of diatomite suggest that this mineral can be used to bring saline lands back into crop rotation. The reduction of Na^+ in the ESS indicates that diatomite can effectively improve the fertile properties of solonetz.

Keywords: amelioration; chloride; diatomite; salinization; sodium.