



Влияние модельного засоления на свойства степных черноземов Высокого Заволжья

Галактионова Л.В., (✉) Юлдашева И.З.

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий

Российской академии наук

Оренбург, Россия

(✉) e-mail: gubaidullinae@mail.ru

Развитие процессов засоления почв степной зоны является серьезной угрозой для обеспечения продовольственной безопасности страны. Это одна из основных экологических и социально-экономических проблем во всем мире, которая будет усугубляться в связи с прогнозируемыми климатическими изменениями. Территория Оренбургской области практически полностью расположена в зоне плодородных черноземов. В работе изучено воздействие модельного засоления почв на агрономические свойства и биологическую активность черноземов южных Оренбургской области. Полевой опыт (2019–2022 гг.) проведен на яровой твердой пшенице сорта «Оренбургская 10» в периоды активной вегетации растений. Растворы солей готовили путем смешивания соли с деионизированной водой в концентрации NaCl (хлорид натрия) – 1,1 и 11,7 г/л. Показатели ферментативной активности черноземов продемонстрировали разную чувствительность к моделируемому солевому стрессу и по устойчивости к внесению токсичной соли сформировали следующий ряд: уреазы > каталазы > протеазы > полифенолоксидазы > пероксидазы. В ходе исследования наблюдалось снижение содержания органического вещества и аммонийной формы азота в почве. Увеличение концентрации раствора хлорида натрия до 1,1 и 11,7 г/л способствовало развитию процессов пептизации и снижению показателей агрегатного состава степных черноземов. Представленные результаты влияния засоления на агрономические и биологические свойства почв позволили провести оценку устойчивости степных черноземов к данному виду деградации.

Ключевые слова: засоление почв, чернозем южный, структурное состояние, гумус, ферментативная активность

Effect of simulated salinization on the properties of steppe chernozems of the Upper Volga Region

Galaktionova L.V., (✉) Yuldasheva I.Z.

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies

of the Russian Academy of Sciences

Orenburg, Russia

(✉) e-mail: gubaidullinae@mail.ru

The development of soil salinization processes in the steppe zone is a serious threat to food security in the country. This phenomenon has become one of the main environmental and socio-economic problems worldwide, and it is expected to worsen due to predicted climate changes. The territory of the Orenburg region is almost entirely located in the zone of fertile chernozems. The paper studies the effect of simulated soil salinization on the agronomic properties and biological activity of southern chernozems in the Orenburg region. The field experiment (2019–2022) was conducted on spring durum wheat variety “Orenburgskaya 10” during the periods of active vegetation of plants. Salt solutions were prepared by mixing salt with deionized water at NaCl (sodium chloride) concentrations of 1.1

and 11.7 g/l. The enzymatic activity indices of the chernozems demonstrated different sensitivity to the modeled salt stress and form the following series in terms of resistance to the introduction of toxic salt: urease > catalase > protease > polyphenol oxidase > peroxidase. During the course of the study, a decrease in organic matter and ammonium form of nitrogen in the soil was observed. Increasing the concentration of sodium chloride solution to 1,1 and 11,7 g/l promoted the development of peptization processes and a decrease in the aggregate composition of steppe chernozems. The presented results of the effect of salinization on the agronomic and biological properties of soils made it possible to assess the resistance of steppe chernozems to this type of degradation.

Keywords: soil salinization, southern chernozem, structural condition, humus, enzymatic activity

Для цитирования: Галактионова Л.В., Юлдашева И.З. Влияние модельного засоления на свойства степных черноземов Высокого Заволжья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54. № 9. С. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-9-1>

For citation: Galaktionova L.V., Yuldasheva I.Z. Effect of simulated salinization on the properties of steppe chernozems of the Upper Volga Region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2024, vol. 54, no. 9, pp. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-9-1>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке НИР № FNWZ 2022-0014.

Acknowledgments

The work was carried out with the support of the Research and Development No. FNWZ 2022-0014.

ВВЕДЕНИЕ

Засоленные почвы встречаются преимущественно в засушливых и полузасушливых условиях климата, где количество осадков недостаточно для выщелачивания солей [1]. Они накапливаются при нерациональном ведении сельского хозяйства, либо в результате остаточного накопления солей при выветривании горных пород, осаждении пыли и осадков, капиллярного подъема уровня грунтовых вод и избыточном орошении [2].

Как правило, засоленные почвы представляют собой неблагоприятную среду для роста растений, поскольку высокое содержание солей повышает осмотическое давление и впоследствии ограничивает поглощение воды растениями [3]. Усвоение элементов питания затрудняется из-за конкуренции ионов и изменения pH, ухудшение структурного состояния, вызванное высоким содержанием натрия, оказывает воздействие на водный баланс почвы и развитие растений [4].

На начальных этапах поступления легкорастворимых солей в профиль увеличивается

мобильность гумусовых кислот, наблюдается активная минерализация органических соединений и меняются условия жизни микроорганизмов [5].

Поступление легкорастворимых солей в профиль сопровождается изменением физических, химических и биологических свойств и режимов почв, степень проявления которых определяется насыщенностью ППК (почвенный поглощающий комплекс) натрием [6].

Особенности генезиса степных черноземов определяют развитие карбонизации, гумификации и засоления, при этом последнее выступает в качестве антагониста процессов синтеза и накопления гуминовых кислот и карбонатов в верхней части профиля [7].

Степная зона Оренбургской области характеризуется достаточно неоднородными почвенно-климатическими условиями. Так, сложный рельеф, значительная карбонатность, химизм почвообразующих и подстилающих пород становятся основными предпосылками развития засоления на обширных территориях¹.

¹Блохин Е.В. Экология почв Оренбургской области: Почвенные ресурсы, мониторинг, агроэкологическое районирование. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С. 228.

Цель исследования – изучение влияния модельного засоления почв на структурное состояние, питательный режим и ферментативную активность степных черноземов Высокого Заволжья.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили почвы – черноземы южные экспериментального участка Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, расположенного в 15 км восточнее г. Оренбурга. Почвы характеризовались мощностью пахотного горизонта ($A_{\text{пах}}$) 45–55 см, содержанием гумуса в пахотном слое 3,9–4,7%, общего азота 1,1–1,3%, доступного фосфора 17,3–41,2 мг в 100 г почвы, обменного калия 147–246 мг в 100 г почвы с рН почвенного раствора, равной 6,8–7,0.

Полевой опыт (2019–2022 гг.) закладывался каждый год и выполнялся в период активной вегетации растений. Мелкоделяночный опыт заложен со стандартным размещением вариантов по делянкам (размером 0,50 м²) и пятикратной повторностью. Эффект солевого воздействия на яровую пшеницу твердую сорта «Оренбургская 10» изучали при поливе делянок в фазу 3-го листа. Растворы солей готовили путем смешивания соли с деионизированной водой в концентрации NaCl (хлорид натрия) – 1,1 и 11,7 г/л. Выбор концентраций соли определялся созданием минимального и максимального осмотического стресса для культуры яровой пшеницы, которые были получены в результате экспериментальных исследований, изложенных в работе T.S. Aniskina с соавт. [8].

Контроль поливали водой, одновременно с поливом опытных вариантов и после делянки были замульчированы сухой почвой.

Норма расхода воды составила 40 л на 1 м², что соответствует месячной норме осадков в регионе.

После внесения растворов в начале и в конце периода вегетации проводили отбор образцов согласно общепринятым рекомендациям послойно: 0–10 см, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 и 50–60 см. Для образцов определяли агрохимические данные и показатели биологической активности стандартными методиками².

Каталазу определяли методом А.Ш. Галстяна³. Принцип этого метода основан на измерении скорости разложения перекиси водорода, образующейся в процессе дыхания живых организмов и в результате различных биохимических реакций окисления органических веществ, на воду и молекулярный кислород.

Активность протеазы оценивали методом Ф.Х. Хазиева и Я.М. Агафаровой⁴. Метод основан на расщеплении пептидных связей CO-NH в белках или пептидах с образованием пептидов с более низкой молекулярной массой или свободных аминокислот.

Уреазу определяли методом Т.А. Щербаковой⁵. Принцип этого метода основан на измерении количества негидролизованной мочевины по разнице между количеством мочевины, добавленной в пробу почвы и обнаруженной после реакции.

Активность полифенолоксидазы и пероксидазы оценивали по методу Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловой⁶. Метод основан на оценке окисления органических веществ почв за счет кислорода перекиси водорода, образующейся в почве в результате жизнедеятельности микроорганизмов и действия некоторых оксидаз. Эти ферменты играют важную роль в процессе образования и минерализации гумуса.

²Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. С. 251.

³Галстян А.Ш. Унификация методов исследования активности ферментов почв // Почвоведение. 1978. № 2. С. 34.

⁴Хазиев Ф.Х., Агафарова Я.М. Активность ферментов азотного обмена и динамика азота в черноземах. Азотный фонд и биохимические свойства почв Башкирии. Уфа, 1977. С. 41–69.

⁵Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества // Наука и техника. 1983. С. 222.

⁶Карягина Л.А., Михайлова Н.А. Определение активности полифенолоксидазы и пероксидазы // Вестник АН БССР. Серия сельскохозяйств. наук. 1986. № 2. С. 40–41.

При изучении структурного состояния почв использовали метод Н.И. Савинова⁷.

Все исследования проводили в трехкратной аналитической повторности со средней пробой почв. Анализ полученных экспериментальных данных проведен с использованием пакета программ «Statistica» V8 («StatSoft Inc.», США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Развитие процессов засоления является одним из факторов снижения урожайности, поэтому изучение влияния легкорастворимых солей на агрономические свойства степных черноземов позволит оценить их устойчивость и спрогнозировать дальнейшую динамику показателей почвенного плодородия.

Определение структурного состояния показало, что в условиях поступления солей натрия в черноземы происходит качественное изменение агрегатного состава почв (см. рис. 1).

Сравнение вариантов опыта по данному показателю свидетельствует об увеличении доли глыбистой фракции в корнеобитаемом слое с 28,61% в почвах контрольного участка до 35,6% в варианте максимальной концентрации хлорида натрия. Аналогичная динамика характерна и для подпахотного горизонта, что свидетельствует о миграции ионов натрия вниз по профилю. Почвы агроценоза контрольного участка характеризуются хорошим структурным состоянием согласно по шкале Шеина⁸ [9] по значению содержания агрономически ценных фракций, но внесение раствора хлорида натрия в концентрации 1,1 г/л и более влечет ухудшение данного показателя до удовлетворительного. Аналогичная динамика отмечена и для показателя коэффициента структурности в слое почвы 0–20 см, в подпахотном его значение характеризует качество агрегатного состава как удовлетворительное (см. таблицу).

В условиях поступления легкорастворимых солей черноземы характеризовались со-

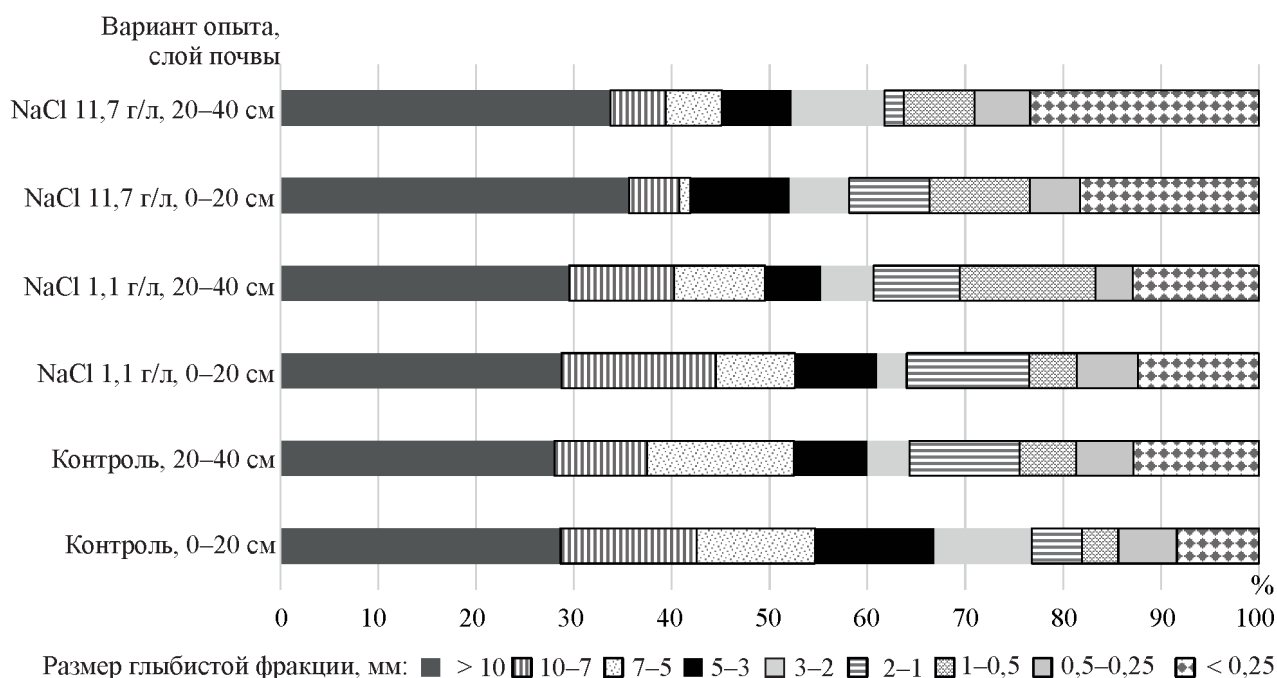


Рис. 1. Структурное состояние почв участков исследования

Fig. 1. The structural condition of the soils of the study sites

⁷Горбылева А.И. Почвоведение: лабораторный практикум. Дизайн ПРО. Минск. 2000. С. 192.

⁸Шеин Е.В., Архангельская Т.А., Гончаров В.М., Губер А.К., Початкова Т.А., Сидорова М.А., Смагин А.В., Умарова А.Б. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв. М.: МГУ, 2001. С. 200.

Показатели качества структурно-агрегатного состава почв
Quality indicators of the structural and aggregate composition of soils

Вариант опыта	Глубина отбора образцов, см	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Коэффициент структурности	По суммарному количеству агрегатов размером более 0,25 мм, полученных при мокром просеивании, %	Агрономически ценная структура, %	АФИ, %
Контроль	0–20	63,01	1,70	75,40	83,56	364,17
	20–40	59,18	1,45	77,80	76,07	243,63
Раствор NaCl 1,1 г/л	0–20	58,94	1,44	62,30	94,61	210,04
	20–40	57,60	1,36	67,00	85,97	126,12
Раствор NaCl 11,7 г/л	0–20	46,11	0,86	57,30	80,48	128,63
	20–40	42,92	0,75	59,10	72,62	118,94

держанием водопрочных фракций более 60%, что характеризует их структурное состояние как хорошее. В результате опыта значение данного показателя постепенно снижается и отмечается перераспределение агрегатов из более крупных фракций (5–3, 3–2, 2–1 мм) в более мелкие, что связано с активной пептизацией коллоидных частиц в условиях насыщения ППК ионами натрия.

Показатели агрономически ценной структуры (по Долгову и Бахтину)⁹ [10] и АФИ (критерий водопрочности агрегатов) соответствуют отличному и хорошему структурному состоянию. При этом доля микроагрегатов увеличивается и достигает более высоких значений при внесении раствора хлорида натрия концентрацией 11,7 г/л. Необходимо отметить, что полученные данные сохранения водопрочности микроагрегатов на фоне поступления соли согласуются с результатами S.Tang с соавт. [11], которые объясняют данное явление высоким содержанием фракции физической глины, в том числе монтмориллонитовой и алевроитовой природы, которые под влиянием засоления почвы способны хорошо удерживать влагу и в условиях засоления поддерживают агрегативную устойчивость [12].

Таким образом, увеличение концентрации раствора хлорида натрия до 11,7 г/л в условиях мелкоделяночного полевого опыта способствует снижению качества почвенной структуры.

Почвенные организмы и их деятельность способствуют осуществлению почвой широкого спектра экологических функций, что определяет устойчивость всей экосистемы. Внесение раствора хлорида натрия способствовало изменению напряженности биохимических процессов и трансформации показателей питательного режима и биологической активности черноземов.

По содержанию элементов минерального питания почвы участков характеризовались низкой и средней обеспеченностью подвижной формой калия (147–246 мг/100 г почвы), фосфора – средней и повышенной (от 17,3 до 41,2 мг/100 г почвы). Отсутствие статистически достоверной разницы в результатах содержания фосфора и калия, возможно, связано с тем, что основным их источником являются кристаллические решетки почвенных минералов, а также с кратковременностью полевого опыта и нивелированием влияния натрия атмосферными осадками в течение периода вегетации. Необходимо от-

⁹Бахтин П.У. Физико-гранулометрические и технологические свойства почв. М.: Знание, 1971. С. 46.

метить, что в условиях засоления динамика содержания нитратной формы азота достоверно повышалась ($U = 0,01$ при $p = 0,0007$), а аммонийной – снижалась ($U = 9,5$ при $p = 0,01$). Чувствительность к засолению показателей содержания разных форм азота объясняется ведущим участием микроорганизмов в процессах трансформации его соединений, которые проявляют высокую зависимость от поступления токсичных соединений в почвенный раствор. Исследования показали, что существует тесная связь между питательными веществами, активностью почвенных ферментов и гумусом почвы, которые являются важными факторами в поддержании условий жизнедеятельности микроорганизмов [13].

Почвенные ферменты осуществляют процессы разложения органических остатков, образования гумуса и участвуют в круговороте элементов питания растений [14]. Основным источником ферментов в почве являются микроорганизмы, но их пул постоянно пополняется за счет деятельности растений и животных. Запасы ферментов постоянно изменяются, они могут накапливаться, инактивироваться или разлагаться в почве, что имеет важное значение для утилизации сложных органических соединений [15]. Кроме того, чувствительность ферментов к изменениям внешних условий определяет возможность использования их в качестве индикаторов состояния почвенной среды.

Оценка динамики активности ферментов класса оксидоредуктазы показала, что каталаза, пероксидаза и полифенолоксидаза проявили высокую чувствительность к процессам поступления раствора легкорастворимой соли. Основной закономерностью в распределении запаса ферментов является снижение их активности вниз по профилю (см. рис. 2), что связано с изменением количества биомассы растений и убывающим распределением гумуса.

Являясь экзоферментом, каталаза отражает общий отклик почвенной биоты на воздействие засоления. Так, активность фермента варьировала от 12,52 в варианте внесения хлорида натрия в концентрации 1,1 г/л до

6,36 мл O_2 при максимальной дозе соли в конце вегетационного периода.

Пероксидаза и полифенолоксидаза – ферменты, участвующие в трансформации соединений углерода. Их активность традиционно изучают вместе, поскольку они дают представление о противоположных сторонах одного и того же процесса – об окислении и новообразовании гумусовых соединений. Внесение солей в полевых условиях привело к различиям в динамике этих ферментов. Так, активность полифенолоксидазы при внесении хлорида натрия описывалась дозозависимым эффектом и снижалась на более чем 10%. Активность пероксидазы увеличивалась в среднем на 22,7%, до 0,5 мг 1,4 п-бензохинона 1 г почвы, что свидетельствует об активизации процессов минерализации органического вещества в условиях поступления максимальной концентрации раствора легкорастворимой соли к концу вегетации.

Уреаза и протеаза играют важную роль в превращениях почвенного азота (см. рис. 3). Так, показатели активности уреазы и протеазы достоверно коррелировали с содержанием аммонийной ($r = 0,61$ и $r = 0,58$ при $p > 0,01$) и нитратной форм азота ($r = -0,45$ и $r = -0,38$ при $p > 0,01$).

Активность уреазы снижается при максимальной дозе засоления более чем на 30% до 26,0 мг $N-NH_4$ на 1 г почвы за 4 ч, а также к концу вегетационного периода и при движении вниз по профилю. Аналогичная динамика отмечена и для протеазы, ее активность достоверно снижается при максимальном засолении на 19,3% на начало вегетационного периода и на 39,8% к его окончанию. Показатели ферментативной активности черноземов продемонстрировали разную чувствительность к моделируемому солевому стрессу.

Активность ферментов двух классов достоверно коррелировала с содержанием гумуса (все $r > \pm 0,82$ при $p < 0,01$). Содержание органического вещества в почвах исследования характеризовалось как низкое (менее 4%), а под влиянием засоления происходило достоверное снижение показателя в обоих вариантах концентрации ($U = 30,4$ при $p = 0,005$).

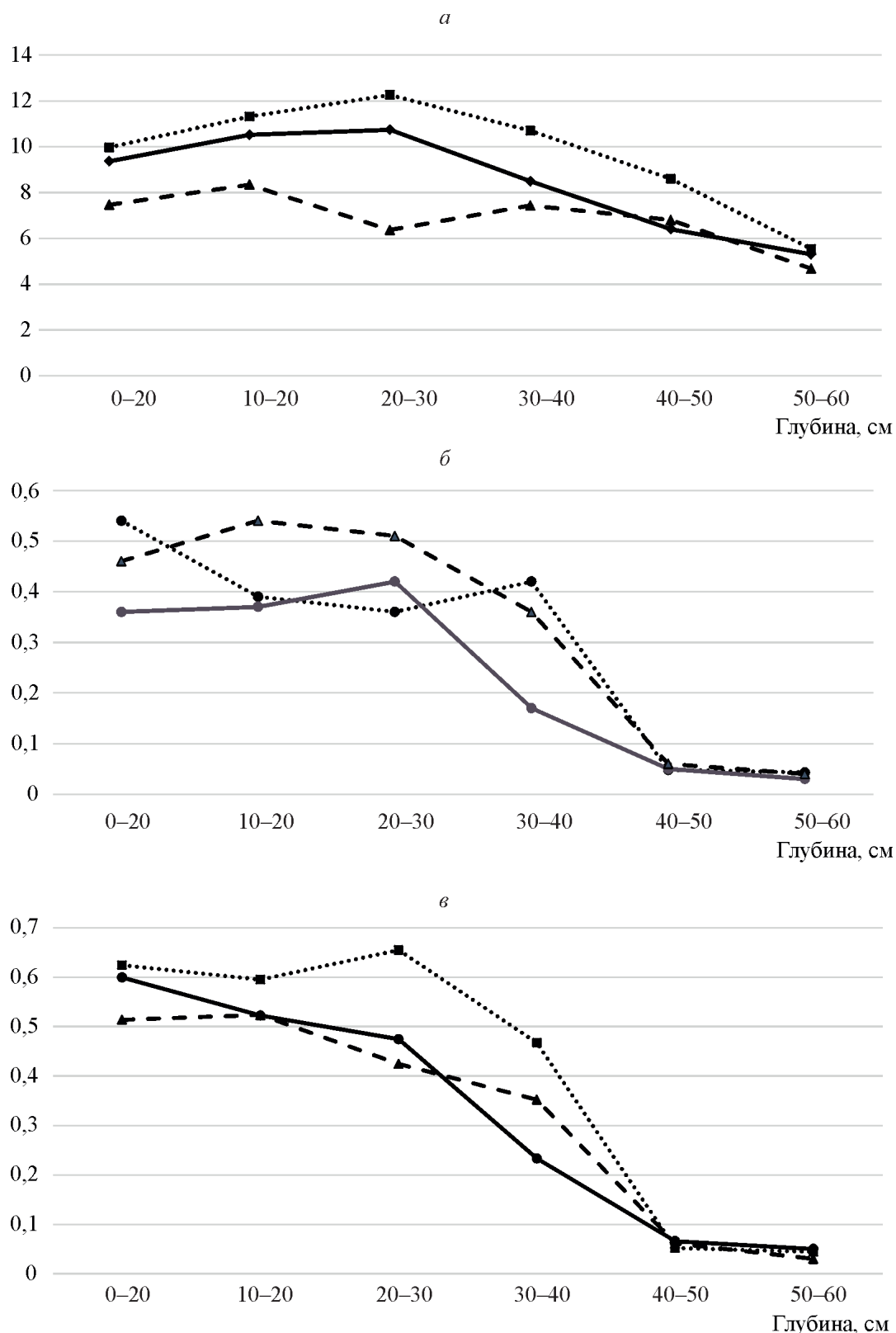


Рис. 2. Активность оксидаз в почвах в условиях моделируемого засоления:

a – каталаза, O_2 за 1 мин в 1 г почвы, мл; *б* – пероксидаза, 1,4 п-бензохинона в 1 г почвы, мг; *в* – полифенолок-
сидаза, 1,4 п-бензохинона в 1 г почвы, мг

Fig. 2. Oxidase activity in the soils under simulated salinization conditions:

a – catalase, O_2 for 1 min in 1 g of soil, ml; *б* – peroxidase, 1,4 p-benzoquinone in 1 g of soil, mg; *в* – polyphenol
oxidase, 1,4 p-benzoquinone in 1 g of soil, mg

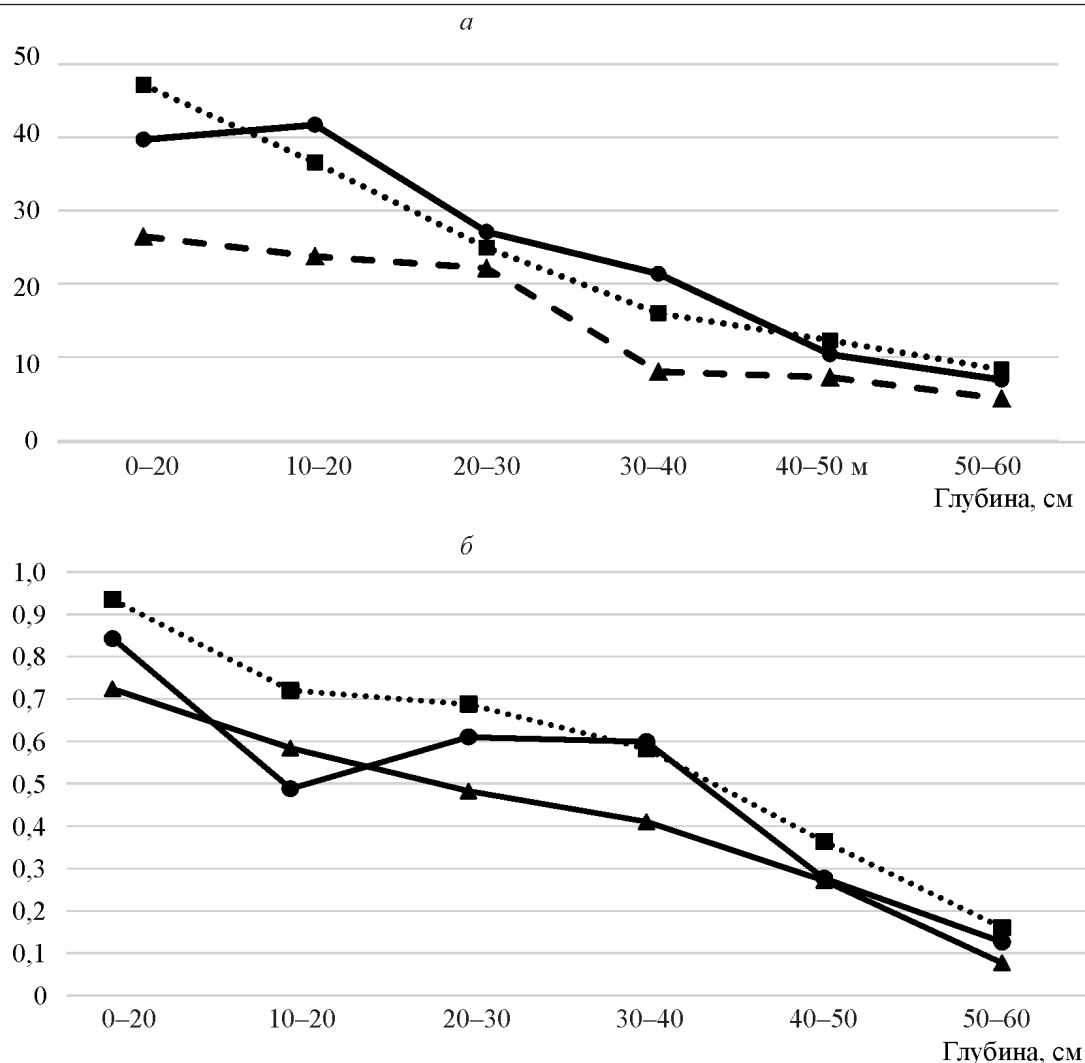


Рис. 3. Активность гидролаз в почвах в условиях моделируемого засоления:

a – уреазы, N-NH₄ в 1 г почвы за 4 ч, мг; *б* – протеазы, тирозин за 24 ч на 2 г почвы, мг

Fig. 3. Hydrolase activity in the soils under simulated salinization conditions:

a – urease, N-NH₄ in 1 g of soil for 4 h, mg; *б* – protease, tyrosine for 24 h in 2 g of soil, mg

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование показало, что внесение хлорида натрия в степные черноземы вызывает ухудшение качественных и количественных показателей их структурного состояния, выраженное в снижении содержания агрономически ценных и водопрочных фракций агрегатов до удовлетворительных значений.

При увеличении концентрации хлорида натрия достоверно повышается содержание нитратной при снижении доли аммонийной формы азота. Показатели обеспеченности растений подвижными формами калия и фосфора в черноземе не характеризуются статистически достоверной зависимостью от

поступления соли, а лишь имеют тенденцию к снижению в образцах опытных делянок.

Содержание гумуса в почве имеет большое значение для поддержания плодородия, и этот показатель достоверно снижался на фоне поступления хлорида натрия в концентрациях 1,1 и 11,7 г/л.

Показатели активности почвенных ферментов проявили достоверную зависимость от внесения токсичной соли и сформировали следующий ряд устойчивости к засолению: уреазы > каталазы > протеазы > полифенолоксидазы > пероксидазы.

Таким образом, поступление хлорида натрия в степные черноземы оказывает существенное влияние на комплекс биологи-

ческих, агрохимических и агрофизических свойств почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hopmans J., Qureshi A., Kisekka I., Munns R., Grattan S., Rengasamy P. Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity // *Advances in Agronomy*. 2021. Vol. 169. P. 1–191. DOI: 10.1016/bs.agron.2021.03.001.
2. Gupta D. Soil and Water Quality Issues in Arid Ecosystem and Their Management // *Horticulture Based Integrated Farming Systems*. 2021. Vol. 1. P. 235–248.
3. Husein H., Lucke B., Bäuml R., Sahwan W. A Contribution to Soil Fertility Assessment for Arid and Semi-Arid Lands // *Soil Systems*. 2021. Vol. 5. P. 42. DOI: 10.3390/soilsystems5030042.
4. Hailu B., Mehari H. Impacts of soil salinity/sodicity on soil-water relations and plant growth in dry land areas: a review // *Journal of Natural Sciences Research*. 2021. Vol. 12 (3). P. 1–10. DOI: 10.7176/JNSR/12-3-01.
5. Tomulescu C. Microbes in saline environments and their potential applications in sustainable agriculture // *Chemistry proceedings*. 2022. Vol. 7 (1). P. 1–2. DOI: 10.3390/chemproc 2022007004.
6. Носиров Н.К., Кобули З.В., Амирзода О.Х. Засоление почв, как эколого-географическая проблема и пути ее решения по восстановлению вторично засоленных земель, на примере Бешкентской долины Хатлонской области // *Водные ресурсы, энергетика и экология*. 2021. Т. 1. № 2. С. 76–81.
7. Курдей Т.А. Гумусовые кислоты повышают устойчивость пшеницы к прогрессирующему засолению // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 12. С. 23–26. DOI 10.28983/asj.y2021i12pp23-26.
8. Aniskina T., Baranova E., Lebedev S., Reger N., Besaliev I., Panfilov A., Kryuchkova V., Gulevich A. Unexpected Effects of Sulfate and Sodium Chloride Application on Yield Qualitative Characteristics and Symmetry Indicators of Hard and Soft Wheat Kernels // *Plants*. 2023. Vol. 12. P. 980. DOI: 10.3390/plants12050980.
9. Polyakov D., Arkhangelskaya T., Ryabukha A. Thermal Diffusivity of the Cryomorphic Soils of Steppe Complexes on Limestone // *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54. P. 1328–1336. DOI: 10.1134/S1064229321090064.
10. Farias P., Souza C., Rosset J. Physical fractions of organic matter and mineralizable soil carbon as quality indicators in areas under different forms of use in the Cerrado-Pantanal Ecotone // *Environ Monit Assess*. 2022. Vol. 194. P. 517. DOI: 10.1007/s10661-022-10163-z.
11. Tang S., She D., Wang H. Effect of salinity on soil structure and soil hydraulic characteristics // *Canadian Journal of Soil Science*. 2020. Vol. 101. P. 62–73. DOI: 10.1139/cjss-2020-0018.
12. Mi W. Changes in humus carbon fractions in paddy soil given different organic amendments and mineral fertilizers // *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 195. P. 104421. DOI: 10.1016/j.still.2019.104421.
13. Kong Z., Wang M., Shi X., Wang X., Zhang X., Chai L., Liu D., Shen Q. The functions of potential intermediates and fungal communities involved in the humus formation of different materials at the thermophilic phase // *Bioresource Technology*. 2022. Vol. 354. P. 127216. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127216.
14. Vikram N., Sagar A., Gangwar C., Husain R., Kewat R. Properties of Humic Acid Substances and Their Effect in Soil Quality and Plant Health // *Recent Advances*. London. 2022. P. 1–14. DOI: 10.5772/intechopen.105803.
15. Daunoras J., Kačergius A., Gudiukaitė R. Role of Soil Microbiota Enzymes in Soil Health and Activity Changes Depending on Climate Change and the Type of Soil Ecosystem // *Biology (Basel)*. 2024. Vol. 13 (2). P. 85. DOI: 10.3390/biology13020085.

REFERENCES

1. Hopmans J., Qureshi A., Kisekka I., Munns R., Grattan S., Rengasamy P. Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity. *Advances in Agronomy*, 2021, vol. 169, pp. 1–191. DOI: 10.1016/bs.agron.2021.03.001.
2. Gupta D. Soil and Water Quality Issues in Arid Ecosystem and Their Management. *Horticulture Based Integrated Farming Systems*, 2021, vol. 1, pp. 235–248.
3. Husein H., Lucke B., Bäuml R., Sahwan W. A Contribution to Soil Fertility Assessment for Arid and Semi-Arid Lands. *Soil Systems*, 2021, vol. 5, p. 42. DOI: 10.3390/soilsystems5030042.
4. Hailu B., Mehari H. Impacts of soil salinity/sodicity on soil-water relations and plant growth in dry land areas: a review. *Journal of Natural Sciences Research*, 2021, vol. 12 (3), pp. 1–10. DOI: 10.7176/JNSR/12-3-01.

5. Tomulescu C. Microbes in saline environments and their potential applications in sustainable agriculture. *Chemistry proceedings*, 2022, vol. 7 (1), pp. 1–2. DOI: 10.3390/chemproc2022007004.
6. Nosirov N.K., Kobuli Z.V., Amirzoda O.Kh. Soil salinization as an ecological-geographical problem and ways of its solution on rehabilitation of secondary saline lands, on the example of Beshkent valley in the Khatlon region. *Vodnye resursy, energetika i ekologiya = Water Resources, Energetics and Ecology*, 2021, vol. 1, no. 2, pp. 76–81. (In Russian).
7. Kirdei T.A. Humic acids increase the resistance of wheat to progressive salinity. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = Agrarian Scientific Journal*, 2021, no. 12, pp. 23–26. (In Russian). DOI 10.28983/asj.y2021i12pp23-26.
8. Aniskina T., Baranova E., Lebedev S., Reger N., Besaliev I., Panfilov A., Kryuchkova V., Gulevich A. Unexpected Effects of Sulfate and Sodium Chloride Application on Yield Qualitative Characteristics and Symmetry Indicators of Hard and Soft Wheat Kernels. *Plants*, 2023, vol. 12, p. 980. DOI: 10.3390/plants12050980.
9. Polyakov D., Arkhangelskaya T., Ryabukha A. Thermal Diffusivity of the Cryomorphic Soils of Steppe Complexes on Limestone. *Eurasian Soil Science*, 2021, vol. 54, p. 1328–1336. DOI: 10.1134/S1064229321090064.
10. Farias P., Souza C., Rosset J. Physical fractions of organic matter and mineralizable soil carbon as quality indicators in areas under different forms of use in the Cerrado-Pantanal Ecotone. *Environ Monit Assess*, 2022, vol. 194, p. 517. DOI: 10.1007/s10661-022-10163-z.
11. Tang S., She D., Wang H. Effect of salinity on soil structure and soil hydraulic characteristics. *Canadian Journal of Soil Science*, 2020, vol. 101, pp. 62–73. DOI: 10.1139/cjss-2020-0018.
12. Mi W. Changes in humus carbon fractions in paddy soil given different organic amendments and mineral fertilizers. *Soil and Tillage Research*, 2019, vol. 195, p. 104421. DOI: 10.1016/j.still.2019.104421.
13. Kong Z., Wang M., Shi X., Wang X., Zhang X., Chai L., Liu D., Shen Q. The functions of potential intermediates and fungal communities involved in the humus formation of different materials at the thermophilic phase. *Bioresource Technology*, 2022, vol. 354, p. 127216. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127216.
14. Vikram N., Sagar A., Gangwar C., Husain R., Kewat R. Properties of Humic Acid Substances and Their Effect in Soil Quality and Plant Health. *Recent Advances*. London, 2022, pp. 1–14. DOI: 10.5772/intechopen.105803.
15. Daunoras J., Kačergius A., Gudiukaitė R. Role of Soil Microbiota Enzymes in Soil Health and Activity Changes Depending on Climate Change and the Type of Soil Ecosystem. *Biology (Basel)*, 2024, vol. 13 (2), p. 85. DOI: 10.3390/biology13020085.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Галактионова Л.В., кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела технологии зерновых и кормовых культур

✉ **Юлдашева И.З.**, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела технологии зерновых и кормовых культур; **адрес для переписки:** Россия, 460000, Оренбургская область, Оренбург, ул. 9 Января, 29; e-mail: gubaidullinae@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

Lyudmila V. Galaktionova, Candidate of Science in Biology, Researcher at the Department of Grain and Forage Crops Technology

✉ **Ilmira Z. Yuldasheva**, Candidate of Science in Biology, Researcher at the Department of Grain and Forage Crops Technology; **address:** 29, January 9th St., Orenburg, Orenburg Region, 460000, Russia; e-mail: gubaidullinae@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 09.07.2024
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 01.09.2024
Дата публикации / Published 21.10.2024