

Распространение солеустойчивой растительности в поймах при техногенном засолении почв

© 2026. О. З. Еремченко, д. б. н., профессор,
Е. Е. Малышкина, м. н. с., И. В. Пахоруков, ассистент,
Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15,
e-mail: eremch@psu.ru, malyshkinaeliz@gmail.com, Ivan-psu@yandex.ru

На основе маршрутных исследований было показано, что в составе изреженной растительности пойм двух малых рек (Чёрная и Лёнва), расположенных в зонах воздействия отходов калийного производства (Пермский край), доминировали рудеральные однолетние и многолетние травянистые виды, присутствовали факультативные и облигатные (*Spergularia salina* J. et C. Presl, *Triglochin maritimum* L.) галофиты. На двух участках с солеустойчивой растительностью изучили почвенно-экологические условия произрастания. Почвенные пробы отбирали летом 2022 г. в четыре периода наблюдений в десятикратной повторности. В полевых условиях измеряли pH и Eh корнеобитаемого слоя почвы (0–10 см); в почвенных пастах при влажности 50 % определяли активность Na^+ , K^+ , Cl^- . В пойме р. Чёрной поверхностный слой почвы характеризовался нейтральной и слабощелочной реакцией среды (pH 7,3–8,4) и слабо восстановительными условиями (Eh 139–282 мВ), засоление отсутствовало (по уровню активности Na^+). В верхнем слое почвы поймы р. Лёнвы отмечалась значительная вариабельность pH (от 5,4 до 6,9); Eh колебалась от восстановительных (–135 мВ) до окислительных значений (468 мВ). В почве проявлялось засоление разной степени (от слабой до сильной), в ряде случаев засоление отсутствовало. Активность K^+ в почве достигала уровня активности Na^+ , активность Cl^- превышала суммарную активность засоляющих катионов. Изреженную растительность пойм оконтуривали с использованием летних спутниковых снимков в комбинации «Естественные цвета». За период с 2015 по 2021 г. площадь, занятая солеустойчивой растительностью, в пойме р. Чёрной увеличилась в 1,8 раза и составила 8,7 га, а в пойме р. Лёнвы – в 1,6 раза и достигла 22,2 га.

Ключевые слова: синантропизация, калийная промышленность, солеустойчивая растительность, техногенное засоление, спутниковое картографирование.

Salt-tolerant plant distribution within floodplain ecosystems due to technogenic soil salinization

© 2026. O. Z. Eremchenko ORCID: 0000-0003-3581-0874
E. E. Malysheva ORCID: 0000-0002-7251-7637 I. V. Pakhorukov ORCID: 0000-0001-8152-0283
Perm State National Research University,
15, Bukirev St., Perm, Russia, 614990,
e-mail: eremch@psu.ru, malyshkinaeliz@gmail.com, Ivan-psu@yandex.ru

According to site research, the vegetation that grows in the floodplain ecosystems of the Chyornaya and Lyonva rivers, located in areas affected by potash production waste, is dominated by ruderal annual and perennial herbaceous species. Additionally, obligate (*Spergularia salina* J. et C. Presl, *Triglochin maritimum* L.) and facultative halophytes were found. The pedological and ecological factors affecting the growth were analyzed in two distinct areas with salt-tolerant vegetation. The samples were collected ten times during the summer 2022 across four distinct observational intervals. The pH levels and redox potential within the root zone (0–10 cm) were field-measured. Na^+ , K^+ , and Cl^- content were determined in soil at humidity of 50 %. In the Chernaya River floodplain, the topsoil exhibited a neutral to slightly alkaline pH (7.3–8.4) and weakly reducing conditions (139–282 mV). Salinization was notably absent, as indicated by the measured levels of Na^+ activity. In the topsoil of the Lyonva River floodplain, the pH levels varied from 5.4 to 6.9. Moreover Eh varied from reducing (as low as –135 mV) to oxidizing values (468 mV). The soil exhibited both varying degrees of salinization (from mild to severe) as well as its absence. The K^+ activity in the soil reached that of Na^+ , while the Cl^- activity exceeded the total activity of the salinizing cations. Through the use of true color satellite imagery obtained during the summer months, it was possible to identify the sparse flora distribution within the floodplain ecosystems. Between 2015 and 2021, the expanse of salt-tolerant vegetation within the Chyornaya River floodplain grew by 1.8 times, totaling 8.7 hectares, and in the Lyonva River floodplain it increased by 1.6 times, reaching 22.2 hectares.

Keywords: synanthropization, potash industry, salt-tolerant plants, technogenic secondary salinization, satellite-based mapping.

Синантропизация растительности – это процесс замещения эндемичных компонентов сообществ космополитными видами растений, рассматривается как нежелательное следствие «коадаптации» природы к условиям антропогенно изменённой среды [1–3]. Частным случаем синантропизации растительности является появление чужеродных галофитов в местах техногенного засоления почв. Расселение солеустойчивых видов растений характерно для промышленных территорий, связанных с развитием содовой, калийной и соляной промышленности [4–10].

В Пермском Прикамье в зонах складирования солевых отходов калийного производства образовались солончаковые почвы и вторичные солончаки [11, 12]. В техногенно засоленных ландшафтах в составе растительности встречались рудеральные виды, факультативные галофиты (бескильница расставленная *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl., некоторые виды маревых (*Chenopodioideae*)) и истинные галофиты (торичник солончаковый *Spergularia salina* J. et C. Presl, триостреник приморский *Triglochin maritimum* L., сведа заострённая *Suaeda acuminata* (C.A. Mey.) Moq. и др.) [9]. В настоящее время отсутствует информация о состоянии почв в местах формирования новых солеустойчивых сообществ, не установлены масштабы и тенденции распространения солеустойчивой растительности в долинах малых рек.

Целью наших исследований являлось изучение состава солеустойчивой растительности, условий и масштабов её распространения в поймах малых рек Прикамья в связи с хранением отходов калийного производства.

Объекты и методы исследования

Территории исследований расположены в Березниковском городском округе Пермского края в поймах малых рек Чёрной и Лёнвы. На основе маршрутных исследований были выбраны два участка, растительность которых характеризовалась пониженным проективным покрытием, присутствием галофитов и солеустойчивых растений.

Исследуемый участок в пойме р. Чёрной находится под влиянием подземных минерализованных вод, формирующихся у солеотвала Березниковского калийного производственного рудоуправления № 3 (БКПРУ-3). Координаты участка – 59°16'32.5" с. ш., 56°48'59.1" в. д. (в системе координат WGS-84). В пойме р. Лёнвы исследуемый участок

расположен в зоне воздействия шламохранилища БКПРУ-3. Координаты участка исследований – 59°19'17.30" с. ш., 56°50'25.94" в. д.

В летний период 2022 г. на исследуемых участках измеряли рН и окислительно-восстановительный потенциал (Eh) почвы на глубине 0–10 см потенциометрическим методом с помощью портативного рН метра HI-9025 (Hanna Instruments, Германия), оборудованного электродами HI 3230, HI 1230 и термокомпенсатором. Наблюдения проводили в 4 срока в десятикратной повторности.

Из сухих образцов почвы готовили пасты с влажностью около 50% путём добавления дистиллированной воды. В пастах определяли активности ионов Na^+ , K^+ , Cl^- (a_{Na} , a_{K} , a_{Cl}) с помощью ионоселективных электродов серии ЭЛИС 121К, 112Na, 131Cl на иономере Экотест-120. Значение рХ преобразовывали в активность иона с размерностью ммоль/л.

Для визуального дешифрирования контуров изреженной солеустойчивой растительности на техногенно засоленных аллювиальных почвах использовали летние космоснимки в комбинации спектральных каналов «естественные цвета» [13, 14].

Для проведения расчётов, построения графиков и диаграмм были использованы программы PAST 4.03.

Результаты и обсуждение

Свойства засоленных аллювиальных почв. На участке поймы р. Чёрной в корнеобитаемом слое аллювиальной почвы реакция среды находилась преимущественно в пределах слабощелочных значений (рис. 1). Засоленные почвы при нейтральном составе солей (хлориды и сульфаты), как правило, имели слабощелочную или нейтральную реакцию среды [15]. Аллювиальные почвы таёжно-лесной зоны характеризуются кислой реакцией среды [16]. Нейтрализация природной кислотности аллювиальных почв и появление щёлочности непосредственно связаны с развитием техногенного засоления, в минерализованных водах среди катионов преобладает щелочной металл – натрий [11].

Почва на участке в пойме р. Чёрной отличалась относительно невысокой изменчивостью окислительно-восстановительных условий, Eh находился в пределах 200–300 мВ (рис. 1); при таком значении Eh почва характеризуется слабо восстановительной обстановкой [17, 18].

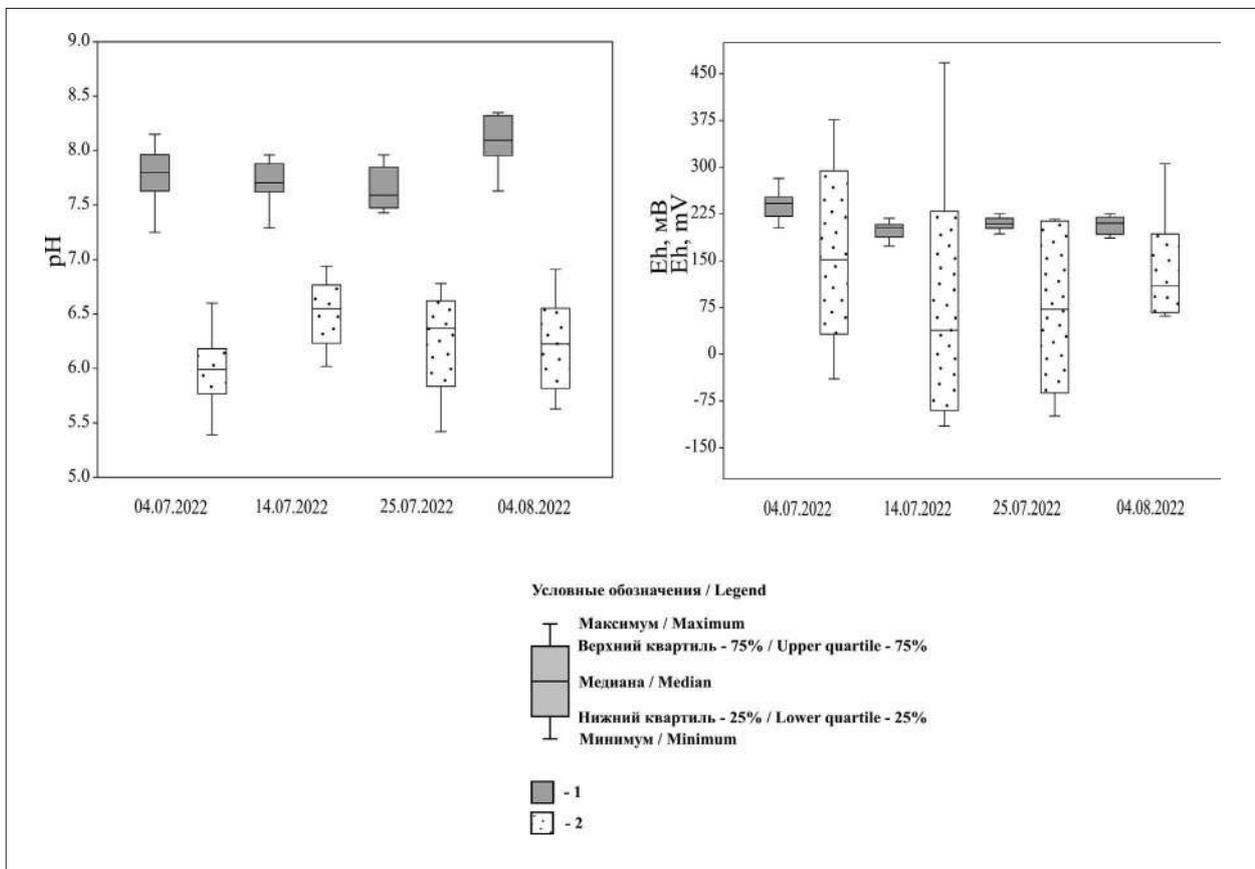


Рис. 1. Динамика актуальной реакции почвенной среды (pH_{H_2O}) и окислительно-восстановительного потенциала (Eh) в аллювиальных техногенно засоленных почвах.

Примечание к рисункам 1 и 2: 1 – пойма р. Чёрной, 2 – пойма р. Лёнвы

Fig. 1. The dynamics of the pertinent reaction of the soil (pH_{H_2O}) and redox conditions (Eh) in alluvial technogenically saline soils.

Note to Figures 1 and 2: 1 – in the Chyornaya River floodplain, 2 – in the Lyonva River floodplain

В корнеобитаемом слое почвы в пойме р. Лёнвы наблюдали колебания значений pH от нейтральных до сильнокислых (рис. 1). На этом исследуемом участке в верхнем слое почвы установили весьма контрастные окислительно-восстановительные условия (рис. 1), что обусловлено микрорельефом и разным уровнем залегания грунтовых вод. На относительно повышенных элементах рельефа наблюдали окислительную обстановку ($Eh > 400$ мВ); известно, что Eh более +400–450 мВ характерны для хорошо аэрированных почв [17, 18]. Значения Eh менее 200 мВ характеризуют выраженный восстановительный режим и переувлажнение почвы [18]. Восстановительная среда с Eh менее 100 мВ предполагает развитие процессов восстановления железа и серы с образованием сульфидов железа [19]. Окисление сульфидов в аэрированных слоях почвы сопровождается образованием серной кислоты и появлением сильнокислой реакции среды [20]. Возможно, сравнительно низкие значения pH в корнеобитаемом слое почвы из

поймы р. Лёнвы обусловлены сульфидогенезом и последующим окислением сульфидов [21].

Для определения степени засоления почв используют показатели активности Na^+ в почвенных пастах: градация $a_{Na} < 20$ ммоль/л соответствует незасоленным почвам, $a_{Na} = 20–50$ ммоль/л – слабозасоленным, $a_{Na} = 50–150$ ммоль/л – средnezасоленными, $a_{Na} = 150–300$ ммоль/л – сильнозасоленным, $a_{Na} > 300$ ммоль/л – очень сильно засоленным почвам [22].

Корнеобитаемый слой почвы в пойме р. Чёрной отличался относительно пониженной a_{Na} , по этому показателю почва характеризовалась как незасоленная, реже – слабозасоленная (рис. 2). В почве поймы р. Лёнвы a_{Na} варьировала в очень широком интервале, особенно в конце лета. Верхний слой почвы характеризовался разной степенью засоления (от слабой до сильной); встречались и незасоленные почвы.

Калий присутствует в отходах калийной промышленности, минерализованных водах

и техногенно засоленных почвах [11]. Активность K^+ в верхнем слое аллювиальных почв была заметно меньше a_{Na} (рис. 2). В почве поймы р. Чёрной a_K была, как правило, ниже 10 ммоль/л. В почве поймы р. Лёнвы a_K очень сильно варьировала и в некоторых частях исследуемого участка достигала 20–50 ммоль/л. При равной a_{Na} почва считается слабозасоленной, следовательно, показатели a_K позволяют утверждать, что аллювиальная почва подвержена калий-натриевому засолению.

Активность Cl^- в почве поймы р. Чёрной заметно превышала суммарную активность Na^+ и K^+ . По данным работы [11], в техногенно засоленных аллювиальных почвах наряду с хлоридами натрия и калия присутствовали хлориды кальция и магния. Высокая a_{Cl} может быть обусловлена и тем, что анионы слабо поглощаются почвами умеренных широт. Наибольшая a_{Cl} отмечена в почве из поймы р. Лёнвы, во второй половине лета она достигала нескольких сотен ммоль/л. Известно, что

избыток ионов натрия и хлоридов в почвах вызывает у растений солевой и осмотический стрессы [23–25]; почвы становятся токсичными для большинства видов растений, кроме истинных и факультативных галофитов [26].

Состав растительности. В пределах исследуемых участков растительный покров был изреженным; проективное покрытие варьировало от 60–70 до 10–15 %. Растительность представлена травянистыми однолетними и многолетними видами (табл.).

На исследуемых участках присутствовали два облигатных галофита – *S. salina*, *T. maritimum*. Торичник солончаковый является космополитом, расселению которого способствуют крылатые семена [27]; триостренный приморский ранее обнаружен на территории Соликамского калийного производственного рудоуправления [28]. Рудеральные виды (*P. distans*, *L. tatarica*, *C. glaucum*, *A. prostrata*) произрастают на засоленных почвах и, по-видимому, являются факультативными гало-

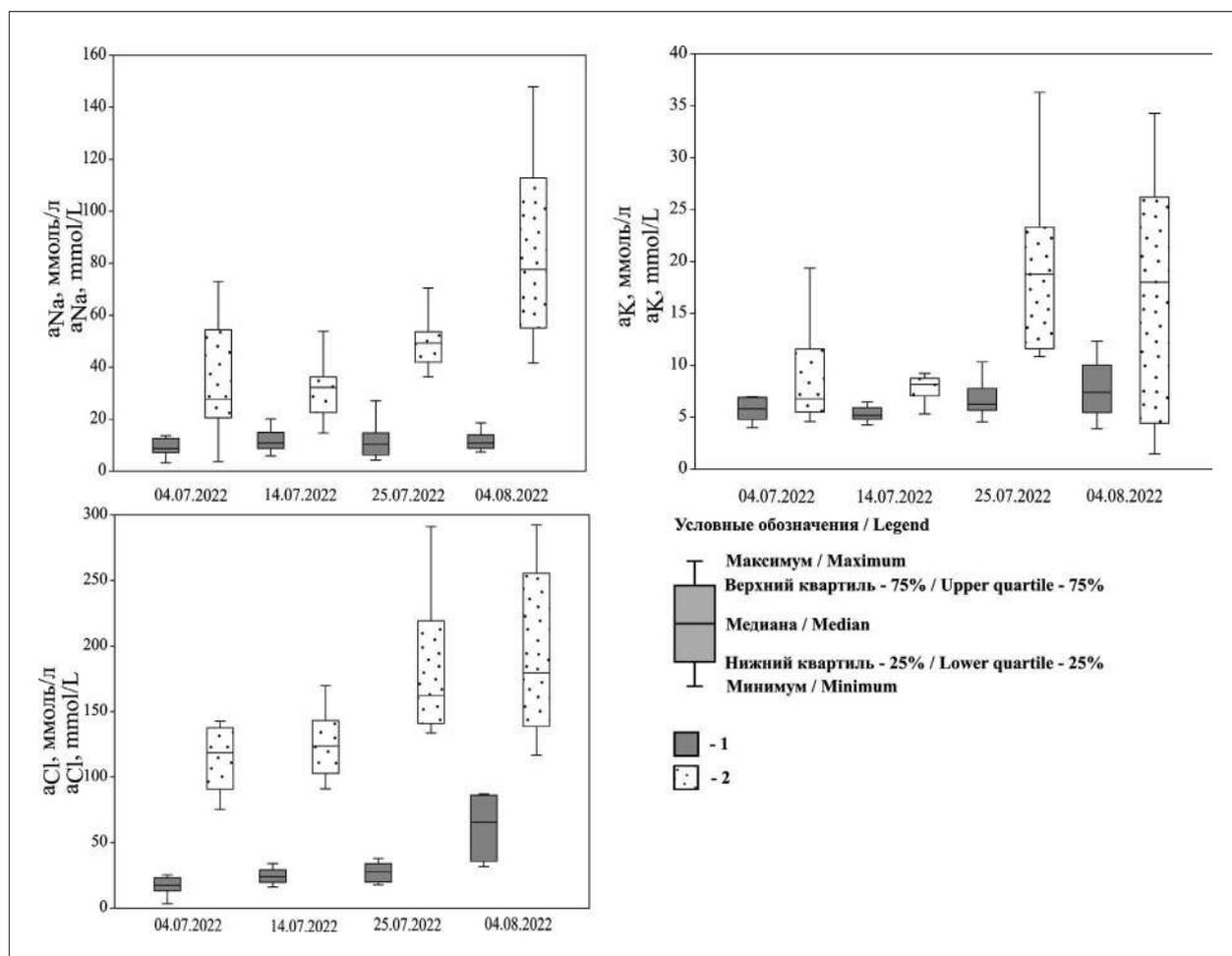


Рис. 2. Динамика активности ионов Na^+ , K^+ , Cl^- в аллювиальных техногенно засоленных почвах, ммоль/л
 Fig.2. The dynamics of sodium-, potassium-, and chloride-ion activity in alluvial soils with technogenic salinity, mmol/L

О. З. Еремченко, Е. Е. Малышкина, И. В. Пахоруков
«Распространение солеустойчивой растительности
в поймах при техногенном засолении почв». С. 161.

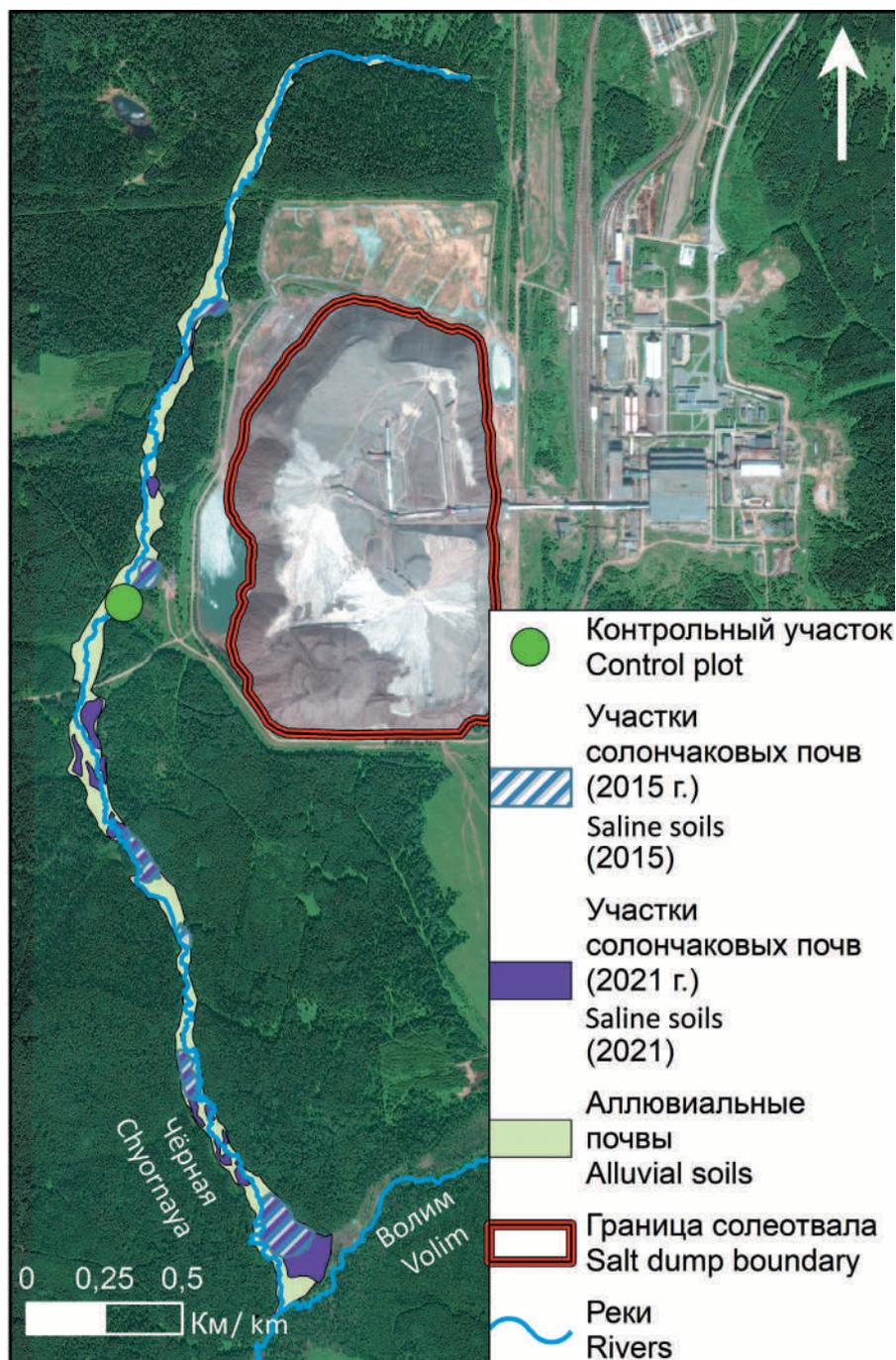


Рис. 3. Картограмма распространения изреженной
солеустойчивой растительности в пойме р. Чёрной в 2015 и 2021 гг.

Fig. 3. The distribution of salt-tolerant plants
in the Chyornaya River floodplain in 2015 and 2021

О. З. Еремченко, Е. Е. Малышкина, И. В. Пахоруков
«Распространение солеустойчивой растительности
в поймах при техногенном засолении почв». С. 161.



Рис. 4. Картограмма распространения изреженной
солеустойчивой растительности в пойме р. Лёнвы в 2015 и 2021 гг.
Fig. 4. The distribution of salt-tolerant plants in the Lyonva River floodplain in 2015 and 2021

А. И. Коротких, Л. В. Кондакова, Л. И. Домрачева, Т. Я. Ашихмина
«Биоплёнки *Nostoc commune* как феномен
многолетней природной вегетации в техногенной среде». С. 209.

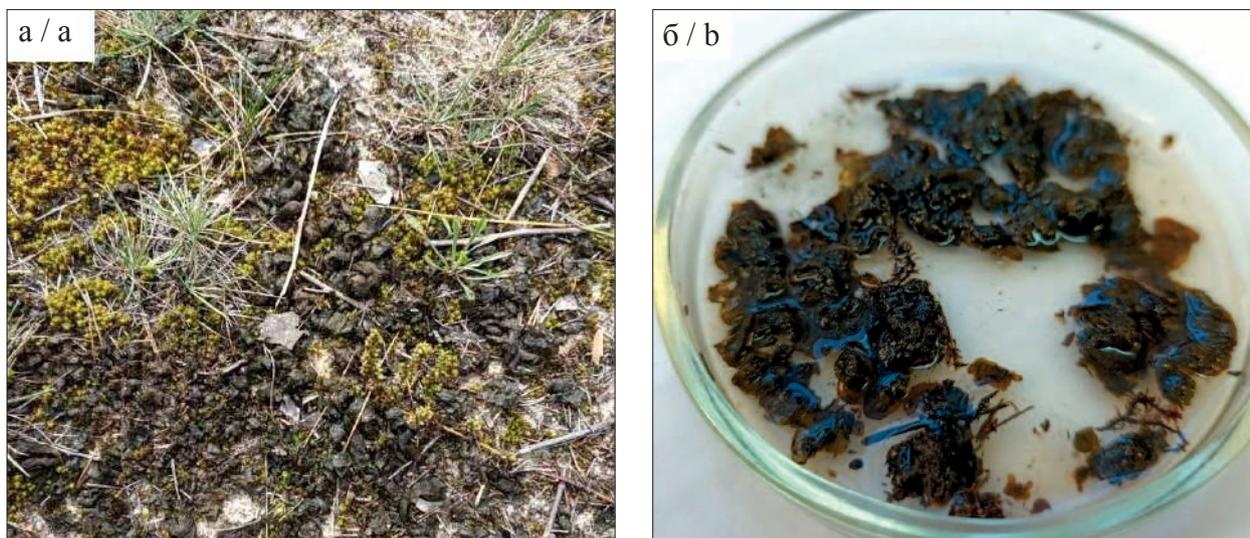


Рис. 1. Внешний вид биоплёнок *Nostoc commune*, сформировавшихся
в естественных местообитаниях (а) и в условиях лабораторного культивирования (б)
Fig. 1. *Nostoc commune* biofilms formed in natural habitats (a) and by laboratory cultivation (b)

Состав растительности на участках исследования / Vegetation composition at the study sites

| Семейство / Family | Вид / Species |
|--------------------|--|
| Apiaceae | Дудник лесной / <i>Angelica sylvestris</i> L. |
| Asteraceae | Латук татарский / <i>Lactuca tatarica</i> (L.) С.А. Мей. |
| | Мать-и-мачеха обыкновенная / <i>Tussilago farfara</i> L. |
| Boraginaceae | Незабудка дернистая / <i>Myosotis cespitosa</i> K.F. Schultz |
| Caryophyllaceae | Торичник солончаковый / <i>Spergularia salina</i> |
| Chenopodiaceae | Лебеда раскидистая / <i>Atriplex patula</i> L. |
| | Лебеда простёртая / <i>Atriplex prostrata</i> Boucher ex DC. |
| | Марь сизая / <i>Chenopodium glaucum</i> L. |
| Juncaceae | Ситник жабий / <i>Juncus bufonius</i> L. |
| Juncaginaceae | Триостренник приморский / <i>Triglochin maritimum</i> |
| Poaceae | Пырей ползучий / <i>Agropyron repens</i> L. Beauv. |
| | Вейник наземный / <i>Calamagrostis epigeios</i> |
| | Ежа сборная / <i>Dactylis glomerata</i> L. |
| | Тростник обыкновенный / <i>Phragmites australis</i> Cav. |
| | Бескильница расставленная / <i>Puccinellia distans</i> |
| Rosaceae | Таволга вязолистная / <i>Filipendula ulmaria</i> L. Maxim. |
| | Лапчатка гусиная / <i>Potentilla anserina</i> L. |

фитами. *Tussilago farfara*, *A. repens*, *A. patula*, *C. epigeios* ранее описаны возле солеотвалов. Предполагают, что их адаптация к засолению идёт за счёт механизмов засухоустойчивости [28]. Остальная растительность представлена луговыми и лугово-болотными травами.

Таким образом, в составе изреженной растительности на исследуемых участках в поймах рек Чёрной и Лёнвы доминировали рудеральные многолетние и однолетние травянистые виды, характеризующиеся определённой солеустойчивостью, а также присутствовали два инвазивных галофита.

Распространение солеустойчивой растительности. На космических снимках пойм двух малых рек, расположенных в зонах стока подземных минерализованных вод от солеотвалов и шламоохранилищ, на основе визуального дешифрирования выявлены участки с изменением растительного покрова. В качестве дешифровочного признака для выявления контуров солеустойчивых растительных сообществ использовался цвет изображения (синтез естественных цветов), позволяющий отличить участки почв, занятых растительностью, от участков почв, лишённых растительного покрова. В синтезе естественных цветов участки, занятые растительностью, отображаются различными оттенками зелёного, а на открытые участки почв указывают различные оттенки серого. При этом оттенки серого цвета зависят от влажности почвы, наличия или отсутствия железистых корок и содержания органического вещества [29].

Пойма р. Чёрной находится под воздействием солеотвала БКПРУ-3, формирование которого началось после запуска рудника в 1973 г. По нашим расчётам площадь поймы р. Чёрной составляет около 30,6 га. В 2015 г. отчётливые признаки формирования изреженного растительного покрова прослежены на площади 4,9 га, что составляет около 16 % территории поймы (рис. 3, см. цв. вкладку III). В 2021 г. площадь изреженной растительности в пойме составила 8,7 га или 28 % от общей площади поймы. Таким образом, в период с 2015 по 2021 гг. территория, занятая солеустойчивой растительностью в пойме р. Чёрной, увеличилась в 1,8 раза; ежегодно она возрастала в среднем на 0,63 га.

Площадь поймы р. Лёнвы составляет около 180 га. В обследованной нами части поймы изреженная растительность в 2015 г. занимала около 14 га (7,8 % поймы). В 2021 г. общая площадь изреженной растительности выросла до 22,2 га, что составляет 12,4 % площади поймы (рис. 4, см. цв. вкладку IV). За шестилетний период (2015–2021 гг.) территория, занятая солеустойчивой растительностью в пойме р. Лёнвы, увеличилась в 1,6 раза. Ежегодное увеличение площади с солеустойчивой растительностью составило в среднем 1,37 га.

Заключение

При современных технологиях поверхностного складирования солевых отходов в

производстве калийных солей в поймах малых рек Чёрной и Лёнвы прогрессирует процесс смены характерной пойменной растительности южно-таёжной подзоны на солеустойчивые изреженные сообщества, представленные однолетними и многолетними видами местной рудеральной растительности с участием инвазивных галофитов – торичника солончакового и триостренника приморского. Распространению солеустойчивых видов благоприятствует техногенное калиево-натриевое хлоридное засоление, достигающее сильной степени в корнеобитаемом слое аллювиальных почв. Засоление аллювиальных почв развивается на фоне как слабощелочной, так и кислой реакции среды, при слабо восстановительных и окислительных условиях. В течение последних лет в поймах рек Чёрной и Лёнвы ежегодный прирост площади, занимаемой солеустойчивой растительностью, составляет в среднем 0,6 и 1,4 га соответственно.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 24-27-00324).

Литература

- Enríquez-de-Salamanca Á. Causes of vegetation synanthropisation in Central Spain // *Landsc Ecol.* 2023. V. 38. P. 3371–3388. doi: 10.1007/s10980-023-01622-0
- Абрамова Л.М., Миркин Б.М. Эволюция растительности на стыке тысячелетий // Теоретические проблемы экологии и эволюции: третьи Любимцевские чтения. Тольятти: Изд-во ИЭВБ РАН, 2000. С. 15–23.
- Галимов Э.Э., Файзуллин Н.Н. Современное состояние изучения проблемы синантропной флоры и растительности // *Инновации. Наука. Образование.* 2022. № 51. С. 1807–1814.
- Wilkoń-Michalska J. Łąki zasolone w dolinie Noteci na odcinku Małty-Nakło // *Rocz. Nauk Roln., Ser. F-2.* 1957. No. 72. P. 893–920.
- Wilkoń-Michalska J. Halofity Kujaw // *Stud. Soc. Sci. Torun. Sec. D (Botanica).* 1963. V. 7. No. 1. P. 3–122.
- Westhus W., Fritzlär F., Pusch J., van Elsen T., Andres C., Grossmann M., Pfützenreuter S., Sparmberg H., Barthel K.J. Binnensalzstellen in Thüringen – situation, gefährdung und schutz. Jena: Thüringer Landesanstalt für Umwelt, 1997. 193 p.
- Schmeisky H., Podlacha G. Natural revegetation of saline waste dumps – drought tolerant specialists and halophytes // *Landsc. Urban Plann.* 2000. V. 51. No. 2–4. P. 159–163. doi: 10.1016/s0169-2046(00)00106-7
- Piernik A. Inland halophilous vegetation as indicator of soil salinity // *Basic Appl. Ecol.* 2003. V. 4. No. 6. P. 525–536. doi: 10.1078/1439-1791-00154
- Шишконова Е.А. Антропогенная растительность территорий предприятий ОАО «Уралкалий» (Пермская область) // *Социально-экологические технологии.* 2017. № 3. С. 65–79.
- Четина О.А., Ерёмченко О.З., Пахоруков И.В. Накопление низкомолекулярных соединений как ответная реакция растений на техногенное засоление // *Экология.* 2023. № 2. С. 94–102. doi: 10.31857/S036705972302004X
- Ерёмченко О.З., Пахоруков И.В., Шестаков И.Е. Развитие солончакового процесса в почвах долин малых рек таёжно-лесной зоны в связи с производством калийных солей // *Почвоведение.* 2020. № 4. С. 483–494. doi: 10.31857/S0032180X2004005X
- Сайранова П.Ш., Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Порошина Н.В. Моделирование как прогноз трансформации почв при техногенном засолении // *Теоретическая и прикладная экология.* 2023. № 4. С. 52–60. doi: 10.25750/1995-4301-2023-4-052-060
- Симакова М.С. Методика картирования почв Прикаспийской низменности по материалам аэрофотосъёмки // *Почвенно-географические исследования и использование аэрофотосъёмки в картировании почв.* М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 283–357.
- Конюшкова М.В. Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 316 с.
- Vorob'eva L.A., Pankova E.I. Saline-alkali soils of Russia // *Eurasian Soil Science.* 2008. V. 41. No. 5. P. 457–470. doi: 10.1134/S1064229308050013
- Добровольский Г.В., Балабко П.Н., Стасюк Н.В., Быкова Е.П. Аллювиальные почвы речных пойм и дельт и их зональные отличия // *Аридные экосистемы.* 2011. Т. 17. № 3. С. 5–13.
- Кауричев И.С., Шишова В.С. Окислительно-восстановительные условия почв лёгкого механического состава Мещёрской низменности // *Почвоведение.* 1967. № 75. С. 66–78.
- Смирнова М.А., Козлов Д.Н. Почвенные свойства как индикаторы параметров водного режима почв (обзор) // *Почвоведение.* 2023. № 3. С. 353–369. doi: 10.31857/S0032180X22601037
- Mitsch W.J., Gosselink J.G. *Wetlands.* New Jersey: John Wiley & Sons, 2015. 722 p.
- Michael P.S. The roles of surface soil carbon and nitrogen in regulating the surface soil pH and redox potential of sulfidic soil materials of acid sulfate soils // *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 2018. V. 41. No. 4. P. 1627–1641.
- Пахоруков И.В., Ерёмченко О.З. Динамика кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий в аллювиальных техногенно засоленных почвах таёжно-лесной зоны // *АгроЭкоИнфо.* 2023. № 4. Статья 15. doi: 10.51419/202134414

22. Хитров Н.Б., Горохова И.Н., Кравченко Е.И. Солевое состояние почв в постирригационных условиях на Генераловской оросительной системе в Волгоградской области // Почвоведение. 2022. № 8. С. 1056–1070. doi: 10.31857/S0032180X2208007X

23. Alavilli H., Awasthi J.P., Rout G.R., Sahoo L., Lee B.H., Panda S.K. Overexpression of a barley aquaporin gene, *HvPIP2;5* confers salt and osmotic stress tolerance in yeast and plants // Front. Plant Sci. 2016. V. 7. Article No. 1566. doi: 10.3389/fpls.2016.01566

24. Volkov V., Beilby M.J. Editorial: Salinity tolerance in plants: Mechanisms and regulation of ion transport // Front. Plant Sci. 2017. V. 8. Article No. 1795. doi: 10.3389/fpls.2017.01795

25. Guo H., Huang Z., Li M., Hou Z. Growth, ionic homeostasis, and physiological responses of cotton under different salt and alkali stresses // Sci. Rep. 2020. V. 10. No. 1. Article No. 21844. doi: 10.1038/s41598-020-79045-z

26. Rozentsvet O.A., Nesterov V.N., Bogdanova E.S. Structural, physiological, and biochemical aspects of salinity tolerance of halophytes // Russ. J. Plant Physiol. 2017. V. 64. No. 4. P. 464–477. doi: 10.1134/S1021443717040112

27. Mazer S.J., Lowry D.E. Environmental, genetic, and seed mass effects on winged seed production in the heteromorphic *Spergularia marina* (Caryophyllaceae) // Funct. Ecol. 2003. V. 17. No. 5. P. 637–650. doi: 10.1046/j.1365-2435.2003.00768.x

28. Ерёмченко О.З., Четина О.А., Кусакина М.Г., Шестаков И.Е. Техногенные поверхностные образования зоны солеотвалов и адаптация к ним растений. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2013. 148 с.

29. Кравцова В.И. Космические методы исследования почв. М.: Аспект Пресс, 2005. 190 с.

References

1. Enríquez-de-Salamanca Á. Causes of vegetation synanthropisation in Central Spain // Landsc. Ecol. 2023. V. 38. P. 3371–3388. doi: 10.1007/s10980-023-01622-0

2. Abramova L.M., Mirkin B.M. The evolution of vegetation during the turn of the millennia // Theoretical problems of ecology and evolution: the third Lyubishchev Readings. Tolyatti: Izdatelstvo IEVB RAN, 2000. P. 15–23 (In Russian).

3. Galimov E.E., Fayzullin N.N. Current status of studying the issue of synanthropic flora and vegetation // Innovatsii. Nauka. Obrazovanie. 2022. No. 51. P. 1807–1811 (in Russian).

4. Wilkoń-Michalska J. Łąki zasolone w dolinie Noteci na odcinku Mątwy-Nakło // Roczn. Nauk Roln., Ser. F-2. 1957. No. 72. P. 893–920 (in Polish).

5. Wilkoń-Michalska J. Halofity Kujaw // Stud. Soc. Sci. Torun. Sec. D (Botanica). 1963. V. 7. No. 1. P. 3–122. (in Polish).

6. Westhus W., Fritzljar F., Pusch J., van Elsen T., Andres C., Grossmann M., Pfützenreuter S., Sparmberg H.,

Barthel K.J. Binnensalzstellen in Thüringen – situation, gefährdung und schutz. Jena: Thüringer Landesanstalt für Umwelt, 1997. 193 p. (in German).

7. Schmeisky H., Podlacha G. Natural revegetation of saline waste dumps – drought tolerant specialists and halophytes // Landsc. Urban Plann. 2000. V. 51. No. 2–4. P. 159–163. doi: 10.1016/s0169-2046(00)00106-7

8. Piernik A. Inland halophilous vegetation as indicator of soil salinity // Basic Appl. Ecol. 2003. V. 4. No. 6. P. 525–536. doi: 10.1078/1439-1791-00154

9. Shishkonakova E.A. Anthropogenic vegetation in the area of the enterprise “Uralkaliy” (Perm region, Russia) // Sotsialno-ekologicheskije tekhnologii. 2017. No. 3. P. 65–79 (in Russian).

10. Chetina O.A., Eremchenko O.Z., Pakhorukov I.V. Accumulation of low-molecular-weight compounds in plants in response to technogenic soil salinization // Ecologia. 2023. No. 2. P. 94–102 (in Russian). doi: 10.31857/S036705972302004X

11. Eremchenko O.Z., Pakhorukov I.V., Shestakov I.E. Development of the solonchak process in soils of small river valleys in the taiga-forest zone in relation to the production of potassium salts // Pochvovedenie. 2020. No. 4. P. 483–494 (in Russian). doi: 10.31857/S0032180X2004005X

12. Sairanova P.Sh., Khayrulina E.A., Mitrakova N.V., Poroshina N.V. Modeling as a tool for soil transformation forecasting under technogenic salinization // Theoretical and Applied Ecology. 2023. No. 4 P. 52–60 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2023-4-052-060

13. Simakova M.S. The methodology of mapping the soils of the Caspian lowland based on aerial photography // Soil-geographical research and the use of aerial photography in soil mapping. Moskva: Izdatelstvo AN SSSR, 1959. P. 283–357 (in Russian).

14. Konyushkova M.V. Digital mapping of soils of the saline complexes of the Northern Caspian Sea. Moskva: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014. 316 p. (in Russian).

15. Vorob'eva L.A., Pankova E.I. Saline-alkali soils of Russia // Eurasian Soil Science. 2008. V. 41. No. 5. P. 457–470. doi: 10.1134/S1064229308050013

16. Dobrovol'skiy G.V., Balabko P.N., Stasjuk N.V., Bykova E.P. Alluvial soils of fluvial floodplains and deltas and their zonal differences // Arid ecosystems. 2011. V. 17. No. 3. P. 5–13 (in Russian).

17. Kaurichev I.S., Shishova B.C. Redox conditions of soils of light mechanical composition of the Meschera Lowlands // Pochvovedenie. 1967. No. 75. P. 66–78 (in Russian).

18. Smirnova M.A., Kozlov D.N. Soil properties as indicators of soil moisture regime parameters (a review) // Pochvovedenie. 2023. No. 3. P. 353–369 (in Russian). doi: 10.31857/S0032180X22601037

19. Mitsch W.J., Gosselink J.G. Wetlands. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015. 722 p.

20. Michael P.S. The roles of surface soil carbon and nitrogen in regulating the surface soil pH and redox potential of sulfidic soil materials of acid sulfate soils // *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 2018. V. 41. No. 4. P. 1627–1641.
21. Pakhorukov I.V., Eremchenko O.Z Dynamics of acid-base and redox conditions in alluvial technogenically saline soils of the taiga forest zone // *AgroEcoInfo.* 2023. No. 4. Article No. 15 (in Russian). doi: 10.51419/202134414
22. Khitrov N.B., Gorokhova I.N., Kravchenko E.I. Soil salinity status under post-irrigation conditions at the Generalovskaya Irrigation System in the Volgograd Region // *Pochvovedenie.* 2022. No. 8. P. 1056–1070 (in Russian). doi: 10.31857/S0032180X2208007X
23. Alavilli H., Awasthi J.P., Rout G.R., Sahoo L., Lee B.H., Panda S.K. Overexpression of a barley aquaporin gene, *HvPIP2;5* confers salt and osmotic stress tolerance in yeast and plants // *Front. Plant Sci.* 2016. V. 7. Article No. 1566. doi: 10.3389/fpls.2016.01566
24. Volkov V., Beilby M.J. Editorial: Salinity tolerance in plants: Mechanisms and regulation of ion transport // *Front. Plant Sci.* 2017. V. 8. Article No. 1795. doi: 10.3389/fpls.2017.01795
25. Guo H., Huang Z., Li M., Hou Z. Growth, ionic homeostasis, and physiological responses of cotton under different salt and alkali stresses // *Sci. Rep.* 2020. V. 10. No. 1. Article No. 21844. doi: 10.1038/s41598-020-79045-z
26. Rozentsvet O.A., Nesterov V.N., Bogdanova E.S. Structural, physiological, and biochemical aspects of salinity tolerance of halophytes // *Russ. J. Plant Physiol.* 2017. V. 64. No. 4. P. 464–477. doi: 10.1134/S1021443717040112
27. Mazer S.J., Lowry D.E. Environmental, genetic, and seed mass effects on winged seed production in the heteromorphic *Spergularia marina* (Caryophyllaceae) // *Funct. Ecol.* 2003. No. 17. P. 637–650. doi: 10.1046/j.1365-2435.2003.00768.x
28. Eremchenko O.Z., Chetina O.A., Kusakina M.G., Shestakov I.E. Technogenic superficial formations of zone of salt slag-heap and adaptation to them of plants. Perm: Permskiy gosudarstvennyy natsionalnyy issledovatel'skiy universitet, 2013. 148 p. (in Russian).
29. Kravtsova V.I. Space-based soil research methods. Moskva: Aspekt Press, 2005. 190 p. (in Russian).