

Научная статья

УДК 502.5:502.4:504.54

doi: 10.17072/2079-7877-2021-4-113-129

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЛИЯНИЯ ИЗЛИВАЮЩИХСЯ ДРЕВНИХ РАССОЛОПОДЪЕМНЫХ СКВАЖИН НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Елена Александровна Хайрулина^{1✉}, Наталья Васильевна Митракова², Лариса Викторовна Новоселова³,
Наталья Витальевна Порошина⁴

^{1, 2, 3, 4}Естественно-научный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Россия

³Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

¹elenakhay@gmail.com[✉], <https://orcid.org/0000-0002-9074-8551>, ResearcherID: J-8411-2014, SPIN-код: 7558-9427, Author ID: 56029238900

²mitrakovanatalya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3172-4146>

³novoselova@psu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9470-4065>

⁴navit1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1761-6720>

Аннотация. В статье рассматривается проблема изменения почвенно-растительного покрова в результате более чем 300-летней солевой нагрузки. Исследование проведено в районе излива рассолоподъемных скважин на почвенный покров в районе поселения 16 в., где сохранилась группа из 5 скважин с изливающимися рассолами с хлоридно-натриевым химизмом и минерализацией вод около 30 г/л. Воздействие Na-Cl- вод на аллювиальные почвы р. Усолка привело к возникновению вторичных солончаков с сульфатно-хлоридным натриевым типом засоления (Chloridic Gleyic Fluvic Solonchak (Humic, Loamic)). Проведены морфологический и физико-химический анализы. Chloridic Gleyic Fluvic Solonchak (Humic, Loamic) образуется в гидроморфных условиях; с глубины 45 см в почве наблюдается глеевый горизонт темно-серого, почти черного цвета с отчетливым запахом сероводорода. Сумма токсичных солей в почвах достигла 1,23%, коэффициент адсорбции натрия (SAR) варьировал от 13,8 до 19,8, pH 7,15–8,2. Район исследования характеризуется наличием солеустойчивых травянистых растений, в зоне разгрузки скважин на расстоянии 0,2–1,5 м от соленых водотоков появился галофит *Salicornia perennans* Willd. Анализ влияния солевой нагрузки на почвенно-растительный покров таежных ландшафтов позволит прогнозировать воздействие калийной промышленности Пермского края на окружающую среду.

Ключевые слова: аллювиальные почвы, засоление, солончак вторичный, Gleyic Fluvic Solonchak, рассолоподъемные скважины, галофит

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ проект № 2019-0858.

Для цитирования: Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В. Трансформация почвенно-растительного покрова в результате влияния изливающихся древних рассолоподъемных скважин на территории Пермского края // Географический вестник = Geographical Bulletin. 2021. №4(59). С. 113–129. doi: 10.17072/2079-7877-2021-4-113-129.



Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2021-4-113-129

SOIL AND VEGETATION TRANSFORMATION UNDER THE INFLUENCE OF THE POURING OUT ANCIENT BRINE WELLS IN PERM KRAI

Elena A.I. Khayrulina^{1✉}, Natalya V. Mitrakova², Larisa V. Novoselova³, Natalya V. Poroshina⁴

^{1, 2, 3, 4}Natural Science Institute, Perm State University, Perm, Russia

³Perm State University, Perm, Russia

¹elenakhay@gmail.com✉, <https://orcid.org/0000-0002-9074-8551>, ResearcherID: J-8411-2014, SPIN-code: 7558-9427, Author ID: 56029238900

²mitrakovanatalya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3172-4146>

³novoselova@psu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9470-4065>

⁴navit1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1761-6720>

Abstract. The article deals with the problem of changes in the soil and vegetation cover as a result of more than 300-year long salt load. The study was carried out in the area of brine wells outflow onto the soil cover within the area of a 16th-century settlement where a group of 5 wells with outflowing brines with sodium-chloride chemistry and water salinity of about 30 g/L has survived to this day. The impact of sodium chloride waters on the alluvial soils of the Usolka River led to the emergence of secondary solonchaks with sulphate-chloride sodium salinization (Chloridic Gleyic Fluvic Solonchak (Humic, Loamic)). In the course of research, morphological and physicochemical analyses were conducted. Chloridic Gleyic Fluvic Solonchak (Humic, Loamic) forms under hydromorphic conditions. Starting from the depth of 45 cm, a dark, almost black, gley horizon with a distinct smell of hydrogen sulphide was observed in the soil. The sum of toxic salts in the soil reached 1,23%; the sodium adsorption ratio (SAR) varied from 13,8 to 19,8; pH was 7,15–8,2. The study area is characterized by the presence of salt-tolerant herbaceous plants. The halophyte *Salicornia perennans* Willd. has appeared within the wells discharge zone at a distance of 0,2–1,5 m from salty streams. Analysis of the salt load impact on the soil and vegetation cover of taiga landscapes will make it possible to predict the environmental impact of the potash industry of Perm Krai.

Keywords: alluvial soils, salinization, secondary solonchak, Gleyic Fluvic Solonchak, brine wells, halophyte

Acknowledgements. The study was funded by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project No. 2019-0858.

For citation: Khayrulina, E.A.I., Mitrakova, N.V., Novoselova, L.V., Poroshina, N.V. Soil and vegetation transformation under the influence of the pouring out ancient brine wells in Perm krai. *Geographical Bulletin*. No. 4(59). Pp. 113–129. doi: 10.17072/2079-7877-2021-4-113-129.

Введение

Засоление почвенного покрова аллювиальных ландшафтов в результате близкого расположения высокоминерализованных грунтовых вод является одной из причин деградации почв [8; 15; 34; 36; 38; 42]. Постоянное нахождение в профиле поверхностного горизонта легкорастворимых солей в количестве, подавляющем рост растений, является главным диагностическим признаком солончака. Для природных солончаков количественные результаты соленакопления определяются минерализацией грунтовых вод, условиями испарения и временем, в течение которого совершается передвижение восходящих растворов. Формирование солончаков хлоридного и сульфатного засоления обусловлено аккумуляцией солей, образующихся в результате выветривания осадочных пород различной природы и механического состава [13; 20].

Засоление почв сопровождается изменением их химических и морфологических свойств, что приводит к смене растительности, снижению биоразнообразия. Условием

Экология и природопользование
Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В.

образования солончаков в гумидной зоне с промывным водным режимом является поступление на поверхность почвы или близкое залегание грунтовых вод хлоридно-натриевого состава. Источником их могут быть естественные выходы Na-Cl подземных вод [24; 25; 29], буровые растворы [7; 26], изливающиеся разведочные скважины [11; 23] и фильтрация воды отходов калийного производства [3; 9; 37; 17; 19; 28]. Подземные воды, перераспределяя накопленные соли в почвенном профиле, обуславливают возникновение солончаковых почв или вторичных солончаков в ландшафтах с промывным водным режимом. Солончаковые почвы, образующиеся в данных условиях, демонстрируют пространственную изменчивость засоленности, что связано с неоднородностью почвы почвообразующих пород, изменением уровня грунтовых вод, микрорельефом [9; 23; 15; 25].

Изучение геохимии соленакопления в почвах, подземных водах, типов соленакопления и закономерностей миграции солей в ландшафте является основой для оценки состояния почвенного и растительного покрова. Целью данной работы является изучение трансформации почвенно-растительного покрова долины р. Усолка. Задачи исследования: изучить химические и морфологические свойства аллювиальных почв долины р. Усолки, трансформацию растительного компонента в результате изменения почв, выявить характер изменения почвообразовательного процесса как результат длительного воздействия засоленных вод рассолоподъемных скважин на почвы.

Материалы и методы исследования

Территория исследования

Исследованная территория расположена на северо-востоке центральной части Пермского края в Александровском районе на территории одного из первых русских поселений с производством соли Яйвинский острожок, который был основан в 1570 г. Добыча соли велась на юго-восточной периферии распространения соляной залежи и за пределами контура калийной залежи (рис. 1).

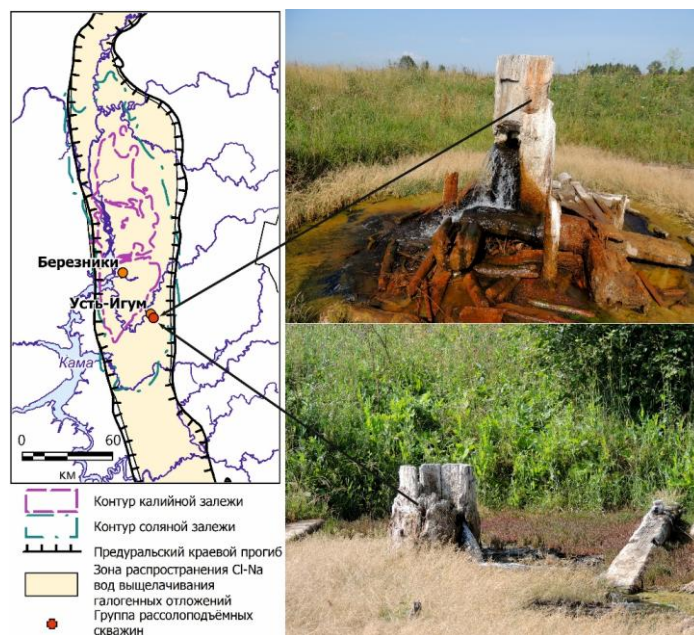


Рис. 1. Распространение калийной и соляной залежей Верхнекамского месторождения солей, по Шестов [31], и расположение объектов наблюдения (фото Е.А. Хайрулиной)
Fig. 1. Distribution of potash and salt deposits of the Verkhnekamskoe potassium-magnesium salt deposit and location of the objects of observation (photo by E.A. Khayrulina)

Экология и природопользование
Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В.

Естественные выходы соленых вод способствовали активному развитию солеварной промышленности на территории Пермского края с XVI в. Добыча рассолов на начальном этапе осуществлялась с глубины 30–40 м с помощью матичных труб. Трубы закладывались, как правило, в долинах рек или понижениях. Выбор района размещения скважин обосновывался солоноватым вкусом воды [4; 5; 31]. Активное развитие солеварения сопровождалось наличием экологических проблем [4]. Производство соли было остановлено в XVIII в. В настоящее время участок исследования не подвержен антропогенному влиянию. Ближайшим населенным пунктом является село Усть-Игум с населением 450 чел., расположенное ниже по течению изучаемой территории и не оказывающее влияния на гидрохимические показатели.

Изучаемая территория относится к Восточно-Русской ландшафтно-геохимической провинции, к области денудационной равнины Предуралья и к району Соликамской равнины [14].

Климат территории умеренно-континентальный с неравномерным распределением осадков и водным режимом рек, среднегодовая сумма осадков 600 мм; средняя температура воздуха в январе составляет $-15, -16^{\circ}\text{C}$, средняя температура воздуха в июле $+17^{\circ}\text{C}$ [1].

В геологическом отношении район исследований расположен в Предуральском краевом прогибе, в южной части Соликамской депрессии, в пределах Усть-Игумского соляного вала. Непосредственно под четвертичными отложениями залегают нижнепермские отложения уфимского яруса, представленные шешминским и соликамским горизонтами, и кунгурский горизонт филипповского яруса (рис. 2).

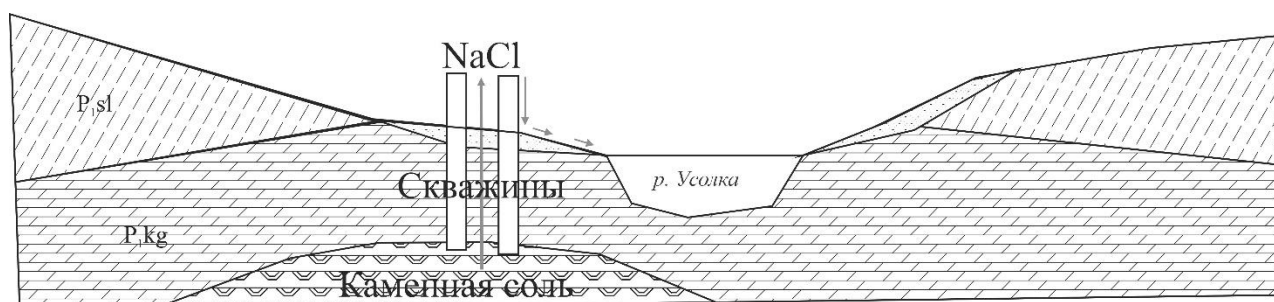


Рис. 2. Разрез долины р. Усолка, иллюстрирующий формирование засоленных почв
Fig. 2. Cross section of the Usolka River-valley illustrating the formation of saline soils

Рельеф территории равнинный и низменный. По геоморфологическому районированию границы изучаемого участка входят в Приуральскую депрессию. Река Усолка принадлежит к Камско-Вишерскому округу. Основные черты округа: равнинный характер рек, большая залесенность, заболоченность и закарстованность бассейнов, мощные толщи легкоразмываемых аллювиальных накоплений, очень небольшие перепады высот, низкие речные берега и широкие долины, извилистость русла.

Группа древних рассолоподъемных скважин расположена на правом берегу р. Усолка, левого притока р. Яйва. Пять скважин находятся на пойменной террасе в 80–120 м от р. Усолка. Скважины образуют два ручья, которые стекают в р. Усолка. Некоторые скважины сохранили остатки деревянных конструкций (рис. 1).

Методы исследования

Отбор проб вод рассолоподъемных скважин, ручьев и рек проводился в 2015, 2016 и 2017 гг. Пробы воды отобраны непосредственно из скважин при помощи проотборного кувшина путем зачерпывания. Пробы отбирались в период летней межени.

В воде определены следующие показатели: рН – потенциометрическим методом, HCO_3^- – титриметрическим методом согласно ГОСТу 31957-2012; $\text{Fe}_{\text{общ}}$ – фотометрическим методом с образованием окрашенных комплексов с сульфосалициловой кислотой, Cl^- , K^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , NO_3^- , NO_2^- – методом капиллярного электрофореза на приборе "Капель-104" (Россия), сухой остаток – гравиметрическим методом по ПНД Ф 14.1:2:4.261-10, минерализация – расчетным методом, удельная электропроводность – кондуктометром Hanna HI 8733 (Германия).

Почвенные пробы отобраны в пойме р. Усолки в 2016 г. на расстоянии 15–20 см от русла соленого ручья, изливающегося из рассолоподъемных скважин под галофитной растительностью. Для диагностики и характеристики свойств почвы заложены один почвенный разрез глубиной до 115 см, также две прикопки глубиной 43 см. Местоположение разреза отражают координаты 59.140375°N, 57.170823°E.

Типологическая принадлежность почв определена по классификации и диагностике почв России (2004) [12, с. 234] и по World Reference Base for Soil Resources (2014) [18, с. 94]. Физико-химическое исследование почв включало следующие виды анализов: определение органического вещества методом мокрого сжигания по Тюрину [27, с. 121]; определение $\text{pH}_{\text{вод}}$ и $\text{pH}_{\text{сол}}$ потенциометрическим методом с рН-метром по ГОСТу 26483-85; гидролитическая кислотность вычислена методом Каппена, основанном на обработке образца почвы ацетатом натрия в концентрации 1 моль/л и последующем титровании почвенной вытяжки раствором щелочи [21, с. 75]; обменные катионы – методом Каппена-Гилковица, который представляет собой обработку образцов почвы определенным количеством 0,1 моль/л HCl , и затем титрование почвенной вытяжки 0,1 моль/л NaOH [27, с. 325]; емкость катионного обмена (ЕКО) – методом с использованием хлорида бария [27, с. 322]; для определения емкости катионного обмена в некарбонатных почвах использован расчетный метод; подвижные соединения фосфора и калия определены по методу Кирсанова [27], основанному на экстракции подвижных соединений фосфора и калия из почвы раствором 0,2 моль/л HCl ; затем подвижные соединения фосфора определяли в виде синего фосфорно-молибденового комплекса фотоэлектроколориметрическим методом и калия – методом пламенной фотометрии [30, с. 313]; количество и качество растворимых солей – в водной вытяжке: Na^+ и K^+ – методом пламенной фотометрии; Cl^- – титрованием с азотнокислым серебром; Ca^{2+} , Mg^{2+} – трилонометрическим методом; количество сульфат-ионов рассчитывали по разности сумм катионов и анионов, сумму токсичных солей – расчетным методом [2].

Для выделения натриевых почв использован коэффициент адсорбируемости натрия (SAR), который также может быть применен как альтернатива доле обменного натрия от емкости катионного обмена. SAR выражается отношением концентрации Na^+ к квадратичному корню суммы Ca^{2+} и Mg^{2+} ; если SAR более 13, то горизонты относятся к солонцовым [41].

В районе разлива рассолоподъемных скважин проведено описание наземной растительности. Определение видовой принадлежности растений выполнено в лаборатории ботаники Пермского государственного национального исследовательского университета. При исследовании биоразнообразия наземных экосистем проводился поиск солеустойчивых видов растений.

Характеристика природных компонентов изучаемой территории осуществлена с использованием почвенно-геохимического подхода.

Для построения карт и графических данных использовано программное обеспечение ArcMap, для расчёта статистических показателей применялись программы STATISTICA 7 и MS Excel.

Экология и природопользование
Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В.

Результаты исследования

Высокоминерализованные воды, изливающиеся из рассолоподъемных скважин, формируют особый гидрохимический фон поверхностных водных объектов. На современном этапе минерализация изливающихся из скважин вод для рассолоподъемных скважин Яйвинского острожка в среднем составила 29,4 г/л при максимальном значении 38 г/л; преобладали ионы хлорида и натрия (табл. 1), расход скважин – 0,009–0,011 м³/с. Химический состав вод рассолоподъемных скважин имел стабильный характер. Содержание Cl⁻ в рассолах превышало ПДК в 49 раз и достигало 14,7 г/л, а содержание Na превышало ПДК в 82 раза и составляло 9,8 г/л (см. табл. 1). Изливы скважин формируют гидроморфные условия на участке пойменной террасы и в виде двух ручьев впадают в р. Усолка.

Поступление рассолов в природные воды трансформирует Ca–HCO₃ состав рек на Na–Cl состав. Минерализация вод рек, в которые разгружаются соленые подземные источники, за счет разбавления пресными водами значительно ниже и составляет 1,2–1,3 г/л. Преобладание в химическом составе вод р. Усолка Na⁺ и Cl⁻ выше впадения вод изливов скважин свидетельствует о наличии источников солей, нами еще не обнаруженных (табл. 1).

Значение соотношения содержания ионов Na⁺ и Cl⁻ (Na/Cl мэкв/л) около 1 показывает, что химический состав рассолов формируется в основном в результате растворения галита. Коэффициент вариации указывает на относительную стабильность сульфат-ионов и содержания кальция.

Таблица 1

Химический состав вод древних рассолоподъемных скважин и рек Усолка
на месте древнего поселения Яйвинский острожок, 2015–2017 гг.
The chemical composition of the waters in ancient brine wells
at the site of the ancient settlement of Yaivinskiy Ostrozhok, 2015–2017

Место отбора проб	pH	Содержание, мг/л								Na/Cl мэкв/л	Минерализация
		HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe _{общ}		
ПДК _{рх} *	6,5–8,5	–	100	300	180	40	120	50	0,1	–	–
Скважины (п. Усть-Игум)	7,1	285	3176	14732	1179	128	9886	26,1	1,4	0,89	29417
Max	6,9	589	3906	19198	1580	180	13400	39	–	0,93	38253
Min	7,2	259	2564	7028	814	14	4302	<0,5	–	0,78	15486
St. deviation	0,1	98	382	3947	203	63	2826	–	–	0,23	7217
CV**, %	1,3	31	12	27	17	49	29	–	–	25	24
р. Усолка (п. Усть-Игум)	8,1	222	161	492	95	18	352	1,4	–	1,00	1342

Примечание: * – использованы нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения; «-» означает отсутствие данных, **CV, % – коэффициент вариации

Note: * – the standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance are used; "–" means no data, **CV, % – variation coefficient

Растительное сообщество представлено в основном солеустойчивыми видами растений, что также было выявлено ранее [29, с. 98]. Фитоценоз территории исследования представлен видами, приуроченными к пойменно-луговым ландшафтам, такими как *Angelica officinalis*

Экология и природопользование
Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В.

Hoffm., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim, *Pastinaca sylvestris* Mill., *Festuca pratensis* Huds., *Dactylis glomerata* L., *Phleum pratense* L., *Poa pratensis* L., *Lathyrus pratensis* L., *Trifolium hybridum* L., *Ranunculus acris* L., *Achillea millefolium* L., *Leontodon autumnale* L.

Высокая засоленность почв вдоль соленого ручья обусловила появление солероса солончакового *Salicornia perennans* Willd. (рис. 3). Данный вид в Пермском крае приурочен только к данному типу ландшафта [29, с. 99]. Солерос солончаковый относится к группе облигатных галофитов, обладающих наибольшей устойчивостью к солям, которые хорошо растут и развиваются на засоленных почвах, поглощают из почвы большое количество солей. В результате высокого накопления солей в клеточном соке водный потенциал клеток сильно уменьшается, и вода поступает в растения даже из засоленной почвы; соль, накапливаемая в вакуолях, не влияет на физиологические процессы растения [30, с. 82].

Обычно галофиты произрастают на сильно засоленных почвах на морских побережьях, по берегам солёных озёр, в балках и оврагах. Солеросы формируют красные «полянки» и «дорожки» в местах разгрузки высокоминерализованных вод, в данном случае они растут по берегам ручья, сформированного водами древних рассолоподъемных скважин. Развитие галофитов характерно для засоленных почв повсеместно [16; 40], в гумидном климате с промывным водным режимом появление солеросов возможно при долговременном воздействии на почвы засоленных вод, чаще всего этот процесс имеет антропогенное происхождение.



Рис. 3. Заращение берегов соленого ручья солеросом солончаковым *Salicornia perennans* Willd.
(фото Е.А. Хайрулиной)

Fig. 3. Overgrowth of the banks of a salt brook with saltwort *Salicornia perennans* Willd.
(photo by E.A. Khayrulina)

В результате многолетнего поступления на поверхность почвенного покрова высокоминерализованных подземных вод из рассолоподъемных скважин Яйвинского острожка в пойме р. Усолка на берегу соленого ручья образовался вторичный солончак глеевый гумусовый с сульфатно-хлоридным натриевым типом засоления (рис. 4) Chloridic Gleyic Fluvic Solonchak (Humic, Loamic) [18]. Исследованный вторичный солончак образован из типичной для пойм таежных ландшафтов аллювиальной гумусовой глеевой

почвы, верхний горизонт которой характеризуется тяжелым гранулометрическим составом, слабокислой или нейтральной реакцией почвенной среды, невысокой емкостью поглощения [12].

В профиле исследованного солончака вторичного выделено три горизонта: солончаковый, глеевый и аллювиальная порода. S[AYg] – солончаковый горизонт, 0–22/22 см; присутствовали признаки оглеения, окраска коричнево-бурая с ржавыми примазками, горизонт бесструктурный, отмечены незначительная комковатость, уплотненный, глинистый. Gs – глеевый горизонт, 22–81/59 см, темно-серо-сизый, с ржавыми пятнами; распадается на комки, глинистый. Cgs – аллювиальная глеевая порода, залегает с глубины 80 см, серо-черная окраска; влажноватая, бесструктурная, глинистая с включениями серого песка, мажущаяся, уплотненная, присутствовал запах сероводорода.

В поверхностных почвенных слоях солончака содержание органического углерода варьировало от 0,9 до 2,9%, различия могут быть связаны с удаленностью от русла соленого ручья и изменившимся типом растительности; нейтральная и слабощелочная реакция почвы

объясняется поступлением вод из

рассолоподъемных скважин с минерализацией 29,4 г/л (табл. 2, 3). Подщелачиванию почв,

судя по всему, способствовал приток

S[AYg] минерализованных вод, содержащих карбонаты

натрия и магния [32, с. 372]. Величина ёмкости

катионного обмена зависит от нескольких

факторов, в числе которых тип почвы,

состав катионов почвенно-поглощающего

комплекса и гранулометрический состав [22,

с. 279]. Для исследованных солончаков,

Gs по критериям Валькова и др. [6, с. 126],

характерна средняя величина емкости

поглощения – 25,2–36,3 ммоль/100 г (табл. 2), что

типично для аллювиальных почв, и, судя по

всему, связано с невысокими значениями

органического вещества. Содержание подвижных

соединений фосфора в верхних слоях прикопок

№ 1 и 2 составило 1,07 и 1,77 мг/100 г

соответственно, что свидетельствует об очень

низком уровне содержания по критериям

Валькова и др. [6]; содержание подвижных

соединений фосфора в прикопке № 3 достигало

величины 14,33 мг/100 г, что свидетельствует

о средней обеспеченности почвы подвижными

соединениями фосфора. Содержание подвижного

калия изменялось с 12,5 до 50 мг/100 г,

что указывает на высокий уровень

обеспеченности почвы калием по критериям

Валькова и др. [6]. По-видимому, это связано с

повышенным содержанием калия в водах

рассолоподъемных скважин.



Рис. 4. Солончак вторичный глеевый сульфатно-хлоридный натриевый (фото Н.В. Митракова)

Fig. 4. Secondary gley sulphate-chloride sodium solonchak (photo by N.V. Mitrakova)

Экология и природопользование
Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В.

Таблица 2

Агрохимические свойства солончака
Agrochemical properties of the solonchak

Название почвы	№ прикопки	Слой, см	C _{орг} , %	pH _{вод}	pH _{сол}	ЕКО	P ₂ O ₅ _{подв}	K _{подв}
						ммоль/100 г	мг/100 г	
Chloridic Gleyic Fluvic Solonchak (Humic, Loamic)	1	0–10	2,88	7,15	7,06	36,3	1,07	12,5
	2	2–12	2,9	7,72	7,16	25,2	1,77	50
	3	2–12	0,9	8,2	7,59	29,6	14,33	50
Mean			2,23	7,69	7,27	30,37	5,72	2,23
St. deviation			1,15	0,53	0,28	5,59	7,46	1,15
Coefficient of variation, %			51,6	6,8	3,8	18,4	130,4	51,6

Сумма токсичных солей указывает на сильную степень засоления почвы согласно критериям Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой [2]. Гипотетические соли представлены NaCl, CaSO₄, Na₂SO₄. Поверхностные почвенные слои характеризовались хлоридным натриевым типом засоления, с глубиной тип засоления меняется в связи с увеличением содержания сульфат-ионов, с глубины 60 см доминировали сульфат-ионы и катионы натрия, что обусловило хлоридно-сульфатный тип химизма. Воды рассолоподъемных скважин, имеющие сульфатно-хлоридный тип засоления (табл. 1), позволили определить химизм почвенного профиля (табл. 3). С глубины 60 см обнаружен гипс, для прикопок № 2 и 3 характерно наличие гипса даже для поверхностных слоев. Коэффициент адсорбируемости натрия (SAR) для поверхностных слоев прикопок № 1–3 варьировал от 13,2 до 19,8, что указывает на значительную долю натрия в почвенно-поглощающем комплексе и осолонцевание почв. Минимальные величины SAR отмечены в прикопке №1 на глубине 60–115 см.

Таблица 3

Химические свойства солончака вторичного сульфатно-хлоридного натриевого
Chemical properties of the Chloridic Gleyic Fluvic Solonchak (Humic, Loamic)

№ прикопки	Глубина, см	Сумма токсичных солей, %*	Гипс, %	CO ₂ карб., %	SAR*	Тип засоления
1	0–10	1,1	–	0,26	13,8	Хлоридный
	11–21	0,85	–	0,25	17,1	Сульфатно-хлоридный
	27–40	0,55	–	0,24	13,4	Хлоридный
	60–75	1,03	1,37	0,18	12,8	Хлоридно-сульфатный
	100–115	1,20	1,38	0,29	11,2	Хлоридно-сульфатный
2	2–12	1,23	1,55	0,24	19,8	Хлоридный
3	2–12	1,11	0,86	0,29	17,9	Хлоридный

Примечания: *SAR (sodium adsorption ratio) – коэффициент адсорбируемости натрия

Note: *SAR - sodium adsorption ratio

Наибольшее содержание Cl⁻ и Na⁺ в прикопке №1 отмечено в слое 0–10 см – 17,29 и 18,48 ммоль-экв соответственно, содержание Cl⁻ с глубиной почвенного профиля уменьшалось в 1,5–2,3 раза, содержание Na⁺ также уменьшалось с глубиной в 1,4–2 раза, но на глубине 100–115 см возросло до значений поверхностного горизонта (рис. 5). Наибольшее содержание Ca²⁺, Mg²⁺, а также SO₄²⁻ в прикопке №1 солончака наблюдалось

Экология и природопользование
Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В.

в слое 100–115 см. Наименьшее содержание почти всех ионов в прикопке № 1 солончака отмечено на глубине 11–40 см, причина этого заключается в том, что воды соленого ручья воздействуют лишь на поверхностный слой почвы.

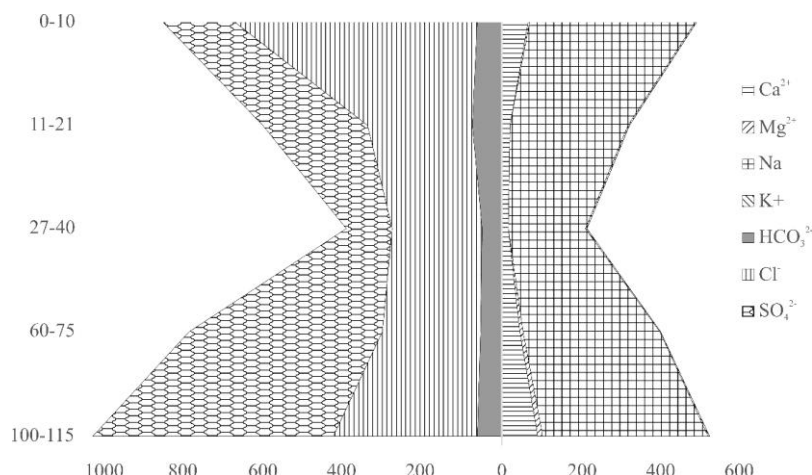


Рис. 5. Солевой профиль солончака
Fig. 5. Salt profile of the solonchak

Для оценки засоленности почв по отдельным ионам [10, с. 32] найдена корреляционная связь через коэффициент детерминации между содержанием токсичных солей и содержанием хлорид-ионов и ионов натрия. Между суммой токсичных солей и содержанием ионов натрия в водной вытяжке почв выявлена очень тесная связь ($R^2=0,9665$; $p=0$); для хлорид-ионов связь слабее ($R^2=0,42$; $p=0,0155$) (рис. 6).

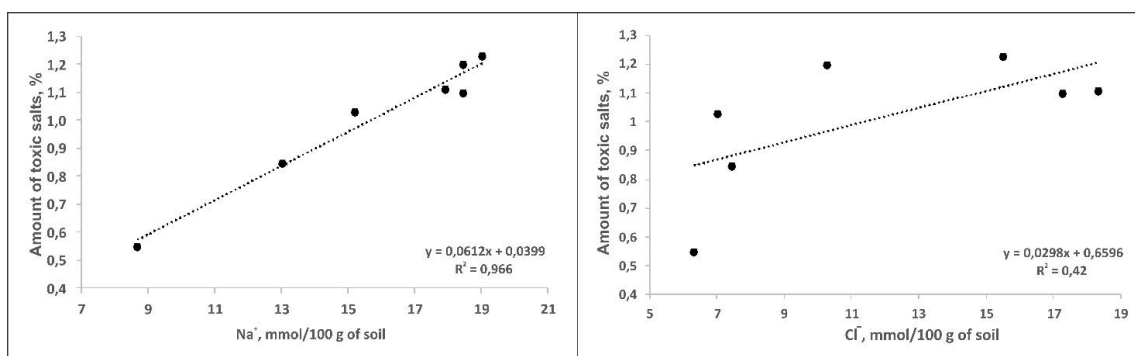


Рис. 6. Зависимость суммы токсичных солей от содержания хлорид-ионов (А) и ионов натрия (Б) в водной вытяжке почв; R^2 =коэффициент детерминации
Fig. 6. Dependence of the amount of toxic salts on the content of chloride ions (A) and sodium ions (B) in the water extract of soils; R^2 = determination coefficient

Обсуждение результатов исследования

Образующиеся ручьи с минерализацией около 30 г/л, текущие от скважин до р. Усолка, формируют особый геохимический фон ландшафта. Высокоминерализованные воды поступают в профиль почвы, повышение содержания в почвах хлоридов и сульфатов натрия привело к появлению солеустойчивых растений и облигатного галофита *Salicornia perennans* Willd., что свидетельствует о высокой степени засоления, продолжающегося длительный период.

Величина коэффициента адсорбируемости натрия (SAR) в солончаке указывала на переход натрия в почвенно-поглощающий комплекс; натрий, вытесняя из ППК другие катионы, в основном кальций и магний, способствовал ухудшению физико-механических

Экология и природопользование
Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В.

свойств почвы, что проявилось в возникновении вязкости, липкости, бесструктурности в сыром состоянии и твердости в сухом. Образование гипса в солончаке может быть связано с обменными реакциями в почве в результате взаимодействия кальция почвенного поглощающего комплекса с сульфатно-натриевыми растворами [33, с. 1426]. Высокоминерализованные воды характеризуются высокой агрессивностью в растворах, которая обусловлена значительной концентрацией лигандов, при взаимодействии рассолов и осадочных пород выявлено активное поступление из раствора в породу $Mg^{2+} > K^+ > Na^+$, из породы в раствор – Ca^{2+} , часть из которого образует осадок $CaSO_4$, а часть накапливается в растворе [35, с. 986].

В исследованном Chloridic Gleyic Fluvic Solonchak (Humic, Loamic) преобладает хлоридный тип засоления, что обусловлено поступающими рассолами из скважин. Для природных солончаков характерно преобладание сульфатного типа засоления [20], что связано с составом подстилающих пород. В исследованных засоленных почвах гипс обнаружен на уровне 0,9–1,6%, тогда как в солончаках сульфатного типа количество гипса в профиле достигает 30% и более.

Наши исследования трансформации почв аллювиальных ландшафтов согласуются с результатами исследований Сванидзе и др., Якимова и др., направленных на изучение процессов перехода аллювиальных почв в солончаки в Сибири под влиянием старых и заброшенных разведочных скважин [23; 32]. В результате поступления хлоридно-натриевых вод из артезианских скважин активизировался солончаковый процесс, что привело к превращению дерново-грунтово-глеевых и аллювиальных почв в солончаки хлористо-натриевого типа. В бассейне Верхней Волги, в условиях умеренного климата в районе разгрузки солевых источников, описано формирование засоленных почв с хлоридно-сульфатным натриево-кальциевым засолением [39]. Аллювиальные почвы зоны воздействия истоков высокоминерализованных вод из артезианских скважин в Ярославском Поволжье (Ярославское Поволжье) характеризуются хлоридно-натриевым химизмом, в почвах происходит накопление водорастворимых солей [24; 25].

Солончак вторичный сформировался из аллювиальной гумусовой глинистой почвы. Основным почвообразующим процессом возникновения солончаков в долине р. Усолка в районе выхода рассолов является солончаковый процесс, способствующий накоплению водорастворимых солей в верхней части профиля, но не из пород, а вследствие поступления рассолов на поверхность. Осолонцевание заключается во вхождении обменного натрия в ППК; оглеение приводит к образованию глинистых материалов, содержащих закисное железо.

Несмотря на произошедшие генетические и химические изменения почвы, при ограничении или полном отсутствии воздействия рассолов эволюция почв может пойти обратным путем, т.е. произойдет рассоление солончаков, почва вновь станет аллювиальной гумусовой.

Заключение

В результате многолетней разгрузки древних рассолоподъемных скважин в пойме Усолки на месте аллювиальных глеевых гумусовых почв образовался вторичный солончак с сульфатно-хлоридным натриевым типом засоления. В местах близкого залегания соляной толщи образование почв связано с естественной разгрузкой соленых родников в поймах рек.

В результате засоления почвенного покрова произошла смена видов растений на более устойчивые к засолению, в непосредственной близости от ручьев, текущих из рассолоподъемных скважин: массово появился облигатный галофит *Salicornia perennans* Willd., впервые описанный на исследованной территории.

Экология и природопользование
Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В.

Исследованные солончаки характеризовались хлоридным натриевым засолением, величина SAR свидетельствовала о вхождении обменного натрия в почвенно-поглощающий комплекс. В результате излива рассолов произошло подщелачивание почвы: для сырого состояния характерна вязкая структура, в целом наблюдается ухудшение физико-механических свойств почвы. Основными почвообразующими процессами являются осолонцевание, солончаковый процесс, оглеение; основным почвообразующим фактором служит излив рассолов на поверхность почвы.

Список источников

1. Атлас Пермского края / под общей ред. А.М. Тартаковского / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2012. 124 с.
2. *Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. 1968. № 11. С. 3–16.
3. *Батулин Е.Н., Меньшикова Е.А., Блинов С.М., Наумов Д.Ю., Белкин П.А.* Проблемы освоения крупнейших калийных месторождений мира // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7513> (дата обращения: 17.05.2021).
4. *Бельтюков Г.В.* Техника проходки старинных рассольных скважин // Материалы научно-практической конференции «Соль и освоение края». Соликамск, 1988. С. 99–102.
5. *Бельтюков Г.В., Семенов Н.И.* О возможности развития карстовых процессов под влиянием древних рассолоподъемных скважин // Вопросы карстологии. Вып. II. Пермь, 1970, С. 65–70.
6. *Вальков В.Ф., Елисеева Н.В., Имгрунт И.И., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Справочник по оценке почв. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2004. 236 с.
7. *Водяницкий Ю.Н., Аветов Н.А., Савичев А.Т., Трофимов С.Я.* Характеристика техногеохимических аномалий торфяных почв, загрязненных шламами в районе нефтедобычи в Среднем Приобье // Агрехимия. 2012. № 11. С. 82–90.
8. *Дитц Л.Ю., Дудина Т.Н., Цускман Е.И., Катункина Е.В.* Геоэкологические проблемы территорий нефтедобычи // Успехи современного естествознания. 2020. № 3. С. 72–77. URL: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37348> (дата обращения: 17.05.2021). doi: 10.17513/use.37348.
9. *Еремченко О.З., Митракова Н.В., Шестаков И.Е.* Природно-техногенная организация почвенного покрова территории воздействия солеотвалов и шламохранилищ в Соликамско-Березниковском экономическом районе // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2017. Вып. 3. С. 311–320.
10. Засоленные почвы России / отв. ред. Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова. М.: ИКЦ «Академкнига, 2006. 854 с.
11. *Казанцева М.Н., Сванидзе И.Г.* Трансформация лесного фитоценоза в южной тайге Западной Сибири под действием минерализованных пластовых вод // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2016. Т. 2. № 3. С. 71–81.
12. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
13. *Ковда В.А.* Солончаки и солонцы. М., Л.: АН ССР, 1937. 245 с.
14. *Копылов И.С., Лунев Б.С., Наумова О.Б., Маклашин А.В.* Геоморфологические ландшафты как основа геоэкологического районирования // Фундаментальные исследования. 2014. № 11(10). С. 2196–2201. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35918> (дата обращения: 21.05.2021).
15. *Кулижский С.П., Родикова А.В., Попова С.В.* Почвообразование в контактных зонах территориальных и аквальных комплексов Ширинской степи // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 12(212). С. 51–54.

Экология и природопользование

Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В.

16. Лавриненко И.А., Лавриненко О.В., Добрынин Д.В. Многолетняя динамика и гибель растительности маршей Колоколковой губы Баренцева моря // Растительность России. СПб., 2012. № 21. С. 66—77. doi: 10.31111/vegus/2012.21.66
17. Максимович Н.Г., Перова М.С. Влияние перетоков минерализованных вод Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей на приповерхностную гидросферу // Инженерные изыскания. 2012. № 1. С. 22—28.
18. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014, исправленная и дополненная версия 2015. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт // Доклады о мировых почвенных ресурсах. № 106. ФАО, Рим. URL: <http://www.fao.org/3/i3794ru/i3794RU.pdf>. (дата обращения: 26.09.2020).
19. Митракова Н.В., Хайрулина Е.А. Формирование засоленных техногенных почв в зоне влияния калийных предприятий: мат. Межд. науч. конф. «Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове». Томск, 2020. С. 142—145.
20. Панкова Е.И., Ямнова И.А. О диагностике солончаков // Почвоведение. 1993. № 10. С. 28—38.
21. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеев М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 689 с.
22. Родикова А.В. О происхождении и свойствах солончаков Хакасии // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 305. С. 208—210.
23. Сванидзе И.Г., Моисеенко Т.И., Якимов А.С., Соромотин А.В. Воздействие техногенного галогенеза на водосборные ландшафты речных долин и водные системы (на примере юга Тюменской области) // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 1. С. 94—103.
24. Симонова Ю.В., Русаков А.В., Коркина Е.А. Процессы засоления почв импактной зоны выходов минерализованных вод в Ярославском Поволжье // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2020. № 65(4). doi: 10.21638/spbu07.2020.404.
25. Симонова Ю.В., Русаков А.В., Рюмин А.Г. Засоленные почвы Ростовской низины (Ярославская область): морфология, генезис и динамика засоления в годовом гидрологическом цикле // Бюллетень Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 93. С. 40—74. doi: 10.19047/0136-1694-2018-93-40-74.
26. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов: автореф. дис... докт. геогр. наук. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 66 с.
27. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
28. Хайрулина Е.А. Техногенная трансформация ландшафтно-геохимических процессов в районе добычи калийно-магниевых солей // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 41—45.
29. Хайрулина Е.А., Новоселова Л.В., Порошина Н.В. Природные и антропогенные источники водорастворимых солей на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Географический вестник. 2017. № 1(40). С. 93—101. doi: 10.17072/2079-7877-2017-1-93-101.
30. Чудинова Л.А., Орлова Н.В. Физиология устойчивости растений. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2006. 124 с.
31. Шестов И.Н., Шурубор А.В., Шляева З.А. Естественные выходы соленых вод и их роль в развитии солеварения в Прикамье: мат. науч.-практ. конф. «Соль и освоение края». Соликамск, 1986. С. 84—88.
32. Якимов А.С., Сванидзе И.Г., Казанцева М.Н., Соромотин А.В. Изменение свойств почв речных долин южной тайги Западной Сибири под действием минерализованных артезианских вод // Почвоведение. 2014. № 3. С. 364—374. doi: 10.7868/S0032180X14030137.
33. Ямнова И.А., Панкова Е.И. Гипсовые образования и формирующие их элементарные почвообразовательные процессы // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1423—1436. doi: 10.7868/S0032180X13120125.

Экология и природопользование

Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В.

34. Akpan A.E., Ebong E.D., Ekwok S.E. Assessment of the state of soils, shallow sediments and groundwater salinity in Abi, Cross River State, Nigeria // *Environmental Earth Sciences*. 2015. Vol. 73. P. 8547–8563. doi: 10.1007/s12665-015-4014-6.
35. Bogashova, L.G. Influence of halogen processes on the hydrosphere, lithosphere, and biosphere. *Geochemistry International* 2011, T. 49, № 9, P. 925–936. doi: 10.1134/S0016702911090023.
36. Hulisz P., Kwasowski W., Pracz J., Malinowski R. Coastal acid sulphate soils in Poland: a review // *Soil Science Annual*. 2017. Vol. 68(1). P. 46–54. doi: 10.1515/ssa-2017-0006.
37. Khayrulina E.A., Maksimovich N.G. Influence of Drainage with High Levels of Water-Soluble Salts on the Environment in the Verhnekamskoe Potash Deposit, Russia // *Mine Water and the Environment*. 2018. Vol. 37. P. 595–603. doi: 10.1007/s10230-017-0509-6.
38. Salama R.B., Otto C.J., Fitzpatrick R.W. Contributions of groundwater conditions to soil and water salinization // *Hydrogeology*. 1999. Vol. 7: 46–64.39. Simonova J.V., Rusakov A.V., Popov A.I. Dynamics of soil salinization in the Nero Lake depression (Upper Volga) in connection with the latest climate change // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. No. 438. IOP Publishing doi: 10.1088/1755-1315/438/1/012026.
40. Sommer V., Karsten U., Glaser K. Halophilic Algal Communities in Biological Soil Crusts Isolated From Potash Tailings Pile Areas // *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2020. Volume 8. Article 46. doi: 10.3389/fevo.2020.00046.
41. van Reeuwijk L.P. Procedures for soil analysis. 7th Edition. 2006. Technical Report 9, ISRIC – World Soil Information, Wageningen, Netherlands.
42. Xie X., Pu L., Zhu M. et al. Linkage between soil salinization indicators and physicochemical properties in a long-term intensive agricultural coastal reclamation area, Eastern China // *Journal of Soils and Sediments*. 2019. No. 19. P. 3699–3707. doi: 10.1007/s11368-019-02333-3.

References

1. “Atlas Permskogo kraja” (2012), Tartakovskij AM. Editor, Perm State University, Perm.
2. Bazilevich, N.I., Pankova, E.I. (1968), Experience of soil classification according to salinity, *Eurasian Soil Science*, no. 11, pp. 3–16.
3. Baturin, E.N., Menshikova, E.A., Blinov, S.M., Naumov, D.Yu., Belkin, P.A. (2012), Problems of the development of the world largest potash deposits, *Modern problems of science and education*, no. 6, available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7513> (Accessed: 17.05.2021).
4. Beltyukov, G.V. (1988), Technique of boring old brine wells, *In: Materials of the scientific-practical conference "Salt and development of the region"*. Solikamsk, pp. 99–102.
5. Beltyukov, G.V., Semenov, N.I. (1970), On the possibility of the development of karst processes under the influence of ancient brine-lifting wells, *In: Questions of karst studies*, Perm, no. II, pp. 65–70.
6. Valkov, V.F., Eliseeva, N.V., Imgrunt, I.I., Kazeev, K.Sh., Kolesnikov, S.I. (2004), *Spravochnik po ocenke pochv* [Soil Assessment Handbook] (2004), Majkop: GURIPP. «Adygeja».
7. Vodyanickij, Yu.N., Avetov, N.A., Savichev, A.T. Trofimov, S.Ya. (2012), Characteristics of technogeochemical anomalies of peat soils contaminated with sludge in the area of oil production in the Middle Ob, *Agrochemistry*, vol. 11, pp. 82–90.
8. Ditz, L.Yu., Dudina, T.N., Tsuskman, E.I., Katunkina, E.V., (2020), Geocological problems of oil production territories, *Advances in current natural sciences*, no. 3, pp. 72–77, available at: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37348> (Accessed: 17.09.2020), doi: 10.17513/use.37348.
9. Eremchenko, O.Z., Mitrakova, N.V., Shestakov, I.E. (2017), Natural and technological organization of a soil cover of the area of influence of the salt dumps and sludge in Solikamsk-Berezniki economic area, *Bulletin of Perm University. Biology*, vol. 3, pp. 311–320.
10. *Saline soils of Russia* (2006), Shishov, L.L., Pankova, E.I. editors. M.: IKC «Akademkniga».
11. Kazantseva, M.N., Svanidze, I.G. (2016), Transformation of forest phytocenosis in southern taiga of West Siberia under the action of mineralized formation waters, *Tyumen State*

University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 2, no. 3, pp. 71–81. doi: 10.21684/2411-7927-2016-2-3-71-81.

12. *Classification and diagnostics of soils of Russia* (2004), Smolensk, Oykumena Publ.
13. Kovda, V.A. (1937), *Solonchaks and solonetz*, USSR Academy of Sciences, Russia.
14. Kopylov, I.S., Lunev, B.S., Naumova, O.B., Maklashin, A.V. (2014), Geomorphological landscapes as basis geocological zoning, *Fundamental research*, no. 11(10), pp. 2196–2201.
15. Kulizhskiy, C.P., Rodikova, A.V., Popova, S.V. (2017), Soil formation in contact zones of territorial and aquatic complexes of Shira steppe, *Vestnik of the Orenburg State University*, no. 12(212), pp. 51–54.
16. Lavrinenko, I.A., Lavrinenko, O.V., Dobrynin, D.V. (2012), Long-term dynamics and destruction of marsh vegetation in the Kolokolkova Bay of the Barents Sea, *Vegetation of Russia*, no. 21, pp. 66–77.
17. Maksimovich, N.G., Pervova, M.S. (2012), Impact of saline water flows in territory of Verkhnekamsk potassium-magnesium salts deposit on subsurface hydrosphere, *Engineering survey*, no. 1, pp. 22–28.
18. *World reference base for soil resources* (2014), Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, available at: <http://www.fao.org/3/i3794ru/I3794RU.pdf> (Accessed: 26.09.2020).
19. Mitrakova, N.V., Khayrulina, E.A. (2020), Formation of saline technogenic soils in the zone of influence of potash enterprises. In: Reflection bio-, geo-, antroposferal interactions in soil and soil cover: collection of materials VII International Scientific Conference, Tomsk, Publishing House of Tomsk State University, pp. 142–145.
20. Pankova, E.I., Yamnova, I.A. (1993), About diagnostics of solonchaks, *Eurasian Soil Science*, no. 10, pp. 28–38.
21. *Workshop on agrochemistry* (2001), Mineev, V.G., editor, Moscow: Moscow State University Publ.
22. Rodikova, A.V. (2007), Genesis and properties saline soils of Khakasia, *Tomsk State University Journal of Biology*, no. 305, pp. 208–210.
23. Svanidze, I.G., Soromotin, A.V., Moiseenko, T.I., Yakimov, A.S. (2014), Impact of tecnogenic halogenesis on water catchment landscapes of river valleys and water systems: case study of the south of Tyumen province, *Water Resources*, vol. 41, no. 1, pp. 105–114. doi: 10.7868/S0321059614010118.
24. Simonova, Ju.V., Rusakov, A.V., Korkina, E.A. (2020), Soil salinization processes in the impact zone of mineralized water discharge by the case study in the Yaroslavl Volga region, Russia, *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences*, no. 65(4). doi: <https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.404>.
25. Simonova, Ju.V., Rusakov, A.V., Rjumin, A.G. (2018), Salt-affected soils of the Rostov Lowland (Yaroslavl' region): morphology, genesis and dynamics of saliniza-tion in the annual hydrological cycle, *Dokuchaev Soil Bulletin*, vol. 93, pp. 40–74. doi: 10.19047/0136-1694-2018-93-40-74.
26. Solntseva, N.P. (1998), Oil production and geochemistry of natural landscapes, Abstract dissertation, doct. geogr. sciences, Moscow State University.
27. *Theory and practice of chemical analysis of soils* (2006), Vorobeva, L.A. editors, GEOS, Russia.
28. Khairulina, E.A. (2014), Technogenic transformation of landscape-geochemical processes in the area of potassium and magnesium salts mining, *Theoretical and Applied Ecology*, no. 3, pp. 41–45.
29. Khayrulina, E.A., Новоселова, L.V., Порошина, N.V. (2017), Natural and anthropogenic sources of soluble salts on the territory of the upper Kama potash deposit, *Geographical bulletin*, no. 1(40), pp. 93–101. doi: 10.17072/2079-7877-2017-1-93-101.
30. Chudinova, L.A., Orlova, N.V. (2006), *Physiology of plant resistance*, Perm, PSU.

Экология и природопользование

Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В.

31. Shestov, I.N., Shurubor, A.V., Shilyaeva, Z.A. (1986), Natural outflows of salt waters and their role in the development of salt production in the Kama region, In: *Sol' i osvoenie kraya*, Solikamsk, pp. 84–88.
32. Jakimov, A.S., Svanidze, I.G., Kazanceva, M.N., Soromotin, A.V. (2014), Changes in the properties of soils in the river valleys of the southern taiga of Western Siberia under the influence of mineralized artesian waters, *Eurasian Soil Science*, no. 3, pp. 364–374. doi: 10.7868/S0032180X14030137.
33. Yamnova, I.A., Pankova, E.I. (2013), Gypsic pedofeatures and elementary pedogenetic processes of their formation, *Eurasian Soil Science*, no. 12, pp. 1423–1436. doi: 10.7868/S0032180X13120125.
34. Akpan, A.E., Ebong, E.D., Ekwok, S.E. (2015), Assessment of the state of soils, shallow sediments and groundwater salinity in Abi, Cross River State, Nigeria, *Environ Earth Sci*, vol. 73, pp. 8547–8563. doi: 10.1007/s12665-015-4014-6.
35. Bogashova, L.G. (2011), Influence of halogen processes on the hydrosphere, lithosphere, and biosphere, *Geochemistry International*, vol. 49, no. 9, pp. 925–936. doi: 10.1134/S0016702911090023.
36. Hulisz, P., Kwasowski, W., Pracz, J., Malinowski, R. (2017), Coastal acid sulphate soils in Poland: a review, *Soil Science Annual*, vol. 68(1), pp. 46–54. doi: 10.1515/ssa-2017-0006.
37. Khayrulina, E.A., Maksimovich, N.G. (2018), Influence of drainage with high levels of water-soluble salts on the environment in the Verhnekamskoe Potash Deposit, Russia, *Mine Water and the Environment*, vol. 37, pp. 595–603. doi: 10.1007/s10230-017-0509-6.
38. Salama, R.B., Otto, C.J., Fitzpatrick, R.W. (1999), Contributions of groundwater conditions to soil and water salinization, *J Hydrogeology*, vol. 7, pp. 46–64.39. Simonova, J.V., Rusakov, A.V., Popov, A.I. (2020), Dynamics of soil salinization in the Nero Lake depression (Upper Volga) in connection with the latest climate change, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, no. 438. doi: 10.1088 / 1755-1315 / 315/5/052030.
40. Sommer, V., Karsten, U., Glaser, K. (2020), Halophilic Algal Communities in Biological Soil Crusts Isolated From Potash Tailings Pile Areas, *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 8(46). doi: 10.3389/fevo.2020.00046.
41. van Reeuwijk, L.P. (2006), Procedures for soil analysis. In: 7th Edition. Technical Report 9, ISRIC – World Soil Information, Wageningen, Netherlands.
42. Xie, X., Pu, L., Zhu, M. et al. (2019), Linkage between soil salinization indicators and physicochemical properties in a long-term intensive agricultural coastal reclamation area, Eastern China, *J Soils Sediments*, no. 19, pp. 3699–3707. doi: 10.1007/s11368-019-02333-3.

Статья поступила в редакцию: 13.09.21; одобрена после рецензирования: 08.10.2021; принята к опубликованию: 15.10.2021.

The article was submitted: 13 Septemebr 2021; approved after review: 08 October 2021; accepted for publication: 15 October 2021.

Информация об авторах

Елена Александровна Хайрулина

кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией биогеохимии техногенных ландшафтов Естественного института; директор Естественного института Пермского государственного национального исследовательского университета; 614990, Россия, г. Пермь, ул. Генкеля, 4

e-mail: elenakhay@gmail.com

Information about the authors

Elena Al. Khayrulina

Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory for Biogeochemistry the of Technogenic Landscapes, Natural Science Institute; The Head of Natural Science Institute, Perm State University; 4, Genkelya st., Perm, 614990, Russia

*Экология и природопользование**Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В.***Наталья Васильевна Митракова**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории биогеохимии техногенных ландшафтов Естественнонаучного института Пермского государственного национального исследовательского университета;

614990, Россия, г. Пермь, ул. Генкеля, 4

e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru

Лариса Викторовна Новоселова

доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники и генетики растений Пермского государственного национального исследовательского университета;

614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 16

e-mail: novoselova@psu.ru

Наталья Витальевна Порошина

кандидат химических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории биогеохимии техногенных ландшафтов Естественнонаучного института Пермского государственного национального исследовательского университета;

614990, Россия, г. Пермь, ул. Генкеля, 4

e-mail: navit1@yandex.ru

Natalya V. Mitrakova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory for Biogeochemistry of Technogenic Landscapes, Natural Science Institute, Perm State University;

4, Genkelya st., Perm, 614990, Russia

e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru

Larisa V. Novoselova

Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Botany and Plant Genetics, Perm State University;

16, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

Natalya V. Poroshina

Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, Laboratory for Biogeochemistry of Technogenic Landscapes, Natural Science Institute, Perm State University;

4, Genkelya st., Perm, 614990, Russia

Вклад авторов

Хайрулина Е.А. – концепция, методология, описание данных, подготовка оригинального черновика, редактирование, привлечение финансирования.

Митракова Н.В. – методология, проверка, описание данных, редактирование, визуализация.

Новоселова Л.В. – описание данных, редактирование.

Порошина Н.В. – проверка, описание данных.

Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Khayrulina E.A. – conceptualization; methodology; data curation; writing of the original draft; editing; funding acquisition.

Mitrakova N.V. – methodology; revision; data curation; editing; visualization.

Novoselova L.V. – data curation; editing.

Poroshina N.V. – revision; data curation.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

The authors declare no conflicts of interest.