

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.4

О. З. Еремченко, Н. В. Митракова, И. Е. Шестаков

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЕРРИТОРИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛЕОТВАЛОВ И ШЛАМОХРАНИЛИЩ В СОЛИКАМСКО- БЕРЕЗНИКОВСКОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЙОНЕ

Предложен подход к изучению почвенного покрова сильно измененных урбанизированных и промышленных ландшафтов. В силу высокой неоднородности почв предлагается использовать понятие «природно-техногенная организация почвенного покрова». Для оценки состояния почвенного покрова используется метод выделения технопедокомплексов (ТПК) – комбинации почв и техногенных поверхностных образований (ТПО) на однородных элементах рельефа, одинаковых почвообразующих породах при сходном техногенном воздействии. В Пермском крае процессы почвообразования в ландшафтах соледобычи идут в нетипичных условиях промывного и водозастойного водного режима, отчего следует определенная масштабность развития засоления, специфическое разнообразие степени и состава солей в профиле почв. Показано, что в ТПК почвы и ТПО наследуют отдельные свойства природных почв и почвообразующих пород. Кроме того, разнообразие компонентов почвенного покрова обусловлено видами техногенного воздействия. Засоление почв достигало уровня солончаковости вплоть до формирования солончаков вторичных; химизм засоления по составу анионов – хлоридный и сульфатно-хлоридный, по соотношению катионов – натриевый, калиево-натриевый, кальциево-натриевый. Присутствие среднерастворимых кальциевых солей (карбонаты, гипс) в почвенном профиле может быть связано не только с отходами производства, но и с усилением миграции карбонатов и гипса подстилающих пород под воздействием натриевых растворов, с последующим процессом их отложения в твердофазной форме. Особенностью солончаковых почв со значительным содержанием гумуса и высокой емкостью поглощения является сохранение актуальной и обменной кислотности.

Ключевые слова: техногенез; солеотвалы; почвы; засоление.

O. Z. Eremchenko, N. V. Mitrakova, I. E. Shestakov

Perm State University, Perm, Russian Federation

NATURAL AND TECHNOLOGICAL ORGANIZATION OF A SOIL COVER OF THE AREA OF INFLUENCE OF THE SALTDUMPS AND SLUDGE IN SOLIKAMSK-BEREZNIKI ECONOMIC AREA

The article the approach to the study of highly modified urban and industrial landscapessoil cover on the example of large industrial Solikamsk-Berezniki unit. Due to the high horizontal and vertical heterogeneity of soils it is proposed to use the concept "natural-technogenic organization of the soil cover". To assess the state of soil cover method is used for the allocation of techno-pedo complex (TPC) – the combination of soils and technogenic surface formations (TSF) for homogeneous terrain, it is the same parent rocks under similar anthropogenic impact. In Perm region the process of soil formation in landscapes of salt production are in the untypical washing conditions and water regime, why should a certain magnitude of the development of salinity in soils, the specific variety of the degree and composition of salts in the soil profile. Our researches shows that TPC soils and TSF inherit the some properties of natural soils and soil-forming parent rocks. In addition, a variety of components of the soil cover due to the types of anthropogenic impact (mixing, scalping and dumping of soil, the device of the salt dumps, sludge etc.). Soil salinity has reached a level of solonchak, until the formation of secondary saline soils, the chemism of salinity on the composition of the anions – chloride and sulphate-chloride, the ratio of cations – sodium, potassium-sodium, calcium-sodium. The insoluble salts presence of calcium salts (carbonates, gypsum) in the soil profile may be associated not only with waste, but with the increased migration of carbonates and gypsum of the underlying rocks under the influence of the sodium solution, followed by the process of deposition in solid form. Feature of saline soils (solonchaks) with significant humus content and high absorption capacity is the preservation of actual and exchange acidity.

Key words: actinobacteria; *Rhodococcus*; biosurfactants.

Структура почвенного покрова представляет собой пространственное расположение элементарных почвенных ареалов, в разной степени генети-

чески связанных между собой [Фридланд, 1984]. В условиях урбо- и техногенеза структура почвенного покрова претерпевает существенные изменения.

Появляются новые почвы (например, урбостратоземы), квазиземы (в том числе, целенаправленно созданные) [Почва, город..., 1997; Stroganova, Prokofieva, 2002; Прокофьева и др., 2014; Замотаев, Белобров, 2015] и техногенные поверхностные образования (ТПО) разного вещественного состава, которые в той или иной степени выполняют функции почв [Классификация и диагностика..., 2004]. Они, зачастую, не связаны между собой длительными почвенно-геохимическими процессами, ведущим фактором их образования является характер антропогенного воздействия. В результате почвенный покров приобретает сложную мозаичную структуру, обусловленную частой сменой почв и почвоподобных поверхностных образований, многокомпонентным составом и высокой степенью контрастности входящих в него образований; поэтому для урбанизированных и промышленных ландшафтов предлагаем использовать понятие «природно-техногенная организация почвенного покрова».

Особенности природно-техногенной организации почвенного покрова использованы в подходах к картографированию городских территорий. В основе методики составления почвенной карты г. Братислава находится выделение педо-урбокомплексов (ПУК) – территориальных единиц, имеющих специфические биотические, абиотические и социо-экономические характеристики (тип землепользования), определяющие свойства почв. Каждый ПУК характеризуется почвенными профилями, их обрисовка и оцифровка проводится при помощи аэрофотоснимков и ГИС-технологий. [Sobocká, 2010].

На почвенной карте г. Нью-Йорка, составленной на основе спутниковых снимков, обрисованы пронумерованные контуры. Каждому контуру соответствует комплекс из двух и более почв (почвенных серий) и непочвенных компонентов. Почвы в пределах почвенной серии сходны по материнской породе и типу водного режима; для каждой почвенной серии дано краткое описание типичного профиля [New York..., 2005].

В разрабатываемом нами направлении изучения почвенного покрова урбанизированных территорий пространственное и профильное строение рассматривается как совокупный результат современных факторов почвообразования, в том числе, антропогенного фактора, а также наследия лито- и педогенеза. В силу высокой горизонтальной и вертикальной неоднородности почвенного покрова городов Прикамья в основу представлений об его организации положено понятие урбопедокомплексов (УПК) – комбинации почв и техногенных поверхностных образований на одинаковых почвообразующих породах в пределах определенной функциональной зоны [Еремченко и др., 2016].

Один из основных промышленных узлов Пермского края – Соликамско-Березниковский – расположен в долине р. Камы. Согласно почвенно-

географическому районированию [Карта..., 1986], его территория расположена в Европейско-Западно-Сибирской таежно-лесной области в подзоне дерново-подзолистых умеренно-промерзающих почв южной тайги. Морфологические и агрохимические свойства дерново-подзолистых, подзолистых, а также болотных и аллювиальных почв Пермского края охарактеризованы в монографии Н.Я. Коротаева [1962].

На основе оцифрованных топографических карт М:100000, карты лесов, почвенной карты М:300000 [Филькин и др., 2014] и полевого обследования нами реконструирован почвенный покров техногенных ландшафтов с солеотвалами и шламохранилищами, который был образован ареалами дерново-подзолистых почв, дерново-элювоземов, псаммоземов гумусовых, серогумусовых почв, торфяно-глеевых и перегнойно-глеевых почв и комплексом аллювиальных почв [Еремченко и др., 2016]. Региональные особенности серогумусовых почв на элювии пермских пород, а также дерново-элювоземов и псаммоземов долины р. Камы описаны в наших работах [Еремченко и др., 2010; Еремченко и др., 2014; Еремченко и др., 2015а; Еремченко и др., 2015б].

Цель настоящих исследований – изучение природно-техногенной организации почвенного покрова на территории Березниковского производственного калийного рудоуправления (БПКРУ-3, 4) и Соликамского калийного рудоуправления (СКРУ-1, 2).

Материалы и методы исследований

Солеотвал и шламохранилище БПКРУ-3 расположены к югу от г. Березники и относятся к Балахонцевскому участку, который начал разрабатываться в 1973 г. Солеотвал БПКРУ-4 расположен северо-восточнее г. Березники на территории Быгельско-Троицкого участка, начало разработки которого – 1987 г.

Солеотвал и шламохранилище СКРУ-1 находятся на расстоянии 0.5 км от г. Соликамска, участок введен в эксплуатацию в 1970 г. Солеотвал СКРУ-2 располагается на расстоянии 1.0 км от г. Соликамска; участок введен в эксплуатацию в 1974 г. Воздействие соленых вод, изливающихся из древних рассолоподъемных скважин на почвы, исследовали в долине р. Усолки.

Для оценки состояния почвенного покрова нами был использован метод выделения технопедокомплексов (ТПК) – комбинации почв и техногенных поверхностных образований в однородных элементах рельефа, одинаковых почвообразующих породах при сходном техногенном воздействии. Почвы и ТПО разных ТПК унаследовали некоторые свойства природных почв и почвообразующих пород.

Морфологические методы применяют на первом наиболее ответственном этапе в изучении про-

блемы, они представляют основу для ее решения [Соколов, 2004]. В зонах воздействия солей, шламохранилищ, подотвальных соленых вод и вод рассолоподъемных скважин на основе морфологического строения профиля [Классификация и диагностика..., 2004] были диагностированы почвенные разности в 25 почвенных разрезах и полуразрезах.

Морфологическое описание почв и ТПО было дополнено результатами физико-химических анализов. Свойства почв и ТПО изучены в 55 пробах, в которых определяли:

- содержание органического углерода – по методу Тюрина,
- $pH_{\text{вод}}$ и $pH_{\text{сол}}$ – потенциометрическим методом,
- сумму оснований в кислых почвах – по Каппену – Гильковицу,
- гидролитическую кислотность ($H_{\text{гк}}$) – титриметрическим методом по Каппену,
- емкость катионного обмена (ЕКО) рассчитали по сумме оснований и гидролитической кислотности,
- в карбонатных пробах емкость поглощения – методом Мелиха,
- содержание карбонатов и гипса – методом В.А. Молодцова,
- ионно-солевой состав определили в водной вытяжке,
- количество сульфат-ионов рассчитали по разности сумм катионов и анионов,
- общее количество солей (%) – расчетным методом.

Поскольку единственным критерием для суждения о наличии процесса формирования свойства является наличие у почвы самого свойства [Соколов, 2004], то о современных природно-техногенных процессах почвообразования в ландшафтах соледобычи мы судили по проявлению определенных признаков и свойств почв и ТПО.

Результаты и их обсуждение

Процессы галогенеза исследуются в нашей стране с 20–30-х гг. XX в. Известно, что дифференциация в почвенном профиле легкорастворимых солей, карбонатов и гипса связана с восходящей и нисходящей миграцией почвенных растворов, а также с различными гидрогенными аккумуляциями. Во всех случаях процессы контролируются современными водным и температурным режимами, прежде всего, особенностями поступления и расхода атмосферных осадков и грунтовых вод. В аридном климате аккумуляция легкорастворимых солей характерна для почв с непромытым и выпотным водным режимом. Процесс педогенной мобилизации карбонатов, присутствующих в почвообразующих породах, их перераспределения и аккумуляции в почвенном профиле имеет свои особенности. Растворимость карбонатов и поступление в почвенные растворы зависит не только от

концентрации растворов и температуры, но и от содержания CO_2 в почвенном воздухе. Профильное распределение карбонатов отражает современное функционирование степных, сухостепных и полупустынных почв. Гипсовые аккумуляции в основном формируются в результате нисходящих движений растворов при слабовыраженной возвратной миграции и характерны для нижних слоев почв степных, сухостепных и полупустынных ландшафтов [Почвообразовательные процессы, 2006].

В зонах воздействия солевых отходов нашего региона миграция и трансформация техногенных солей проявляются в нетипичных условиях промывного и водозастойного водного режима, они комбинируются с участием литогенных карбонатов и гипса, корректируются сезонным перемещением поверхностных и подземных вод. Отсюда следует определенная масштабность развития засоления в почвенном покрове, специфическое разнообразие степени и состава солей в профиле почв. Рассмотрим данные по обследованию компонентов ТПК на разных почвообразующих породах при разных видах техногенных воздействий.

На склонах холмов и речных долин ТПК на элювиально-делювиальных суглинках сформирован в связи с планировкой поверхности под солейотвалы и шламохранилища, устройством дамб и водоотводящих ложбин, разливом соленых вод. Вне зоны постоянного воздействия техногенных солей дерново-подзолистые почвы сохранили кислую реакцию почвенной среды. В 30 м от солейотвала БКПРУ-3 под вторичным лесом за несколько десятилетий без заметного влияния техногенных солей на литостратах образовался пелозем, у которого гумусово-слаборазвитый горизонт W залегает на плотных бурых тяжелых суглинках. Пелозем характеризовался слабокислой реакцией среды и низкой гидролитической кислотностью (в горизонте W – 2.7 мг-экв/100 г почвы).

На расстоянии 1–1.5 м от солейотвала БКПРУ-4 при постоянном воздействии поверхностных соленых вод под изреженным покровом солеустойчивых злаков сформировался солончак вторичный хлоридного калиево-натриевого химизма глинистый с обилием каменистых включений, содержащихся в солевых отходах. Солончак имеет профиль S[AY]-C, и, по-видимому, сформировался на органолитострате, т.к. содержит относительно много гумуса (6%). Возможно, при устройстве площадок для солейотвала был использован гумусированный материал поверхностных горизонтов темного гумусовых почв, которые в Прикамье развиты на склонах холмов, на элювии пермских красноцветных глин [Еремченко и др., 2016].

В верхнем горизонте солончака вторичного сохранилось более 1% водорастворимых солей; методом связывания ионов в «гипотетические» соли [по: Мякина, Аринушкина, 1979] было установлено преобладание хлоридов натрия и калия, присутствие

сульфата натрия и небольших количеств гидрокарбонатов кальция, магния и натрия (табл. 1).

Таблица 1

Содержание водорастворимых ионов (мг-экв/100 г), pH и состав «гипотетических» солей в солончаке вторичном хлоридном натриево-калиевом глинистом

Глубина, см	pH _{вод}	pH _{сол}	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Соли (%)
0-10	6.13	5.63	0.73	17.7	3.9	0.4	0.2	4.6	9.6	1.2

Состав «гипотетических солей»: Ca(HCO₃)₂, Mg(HCO₃)₂, NaHCO₃, Na₂SO₄, NaCl, KCl

Солончак не содержал карбонаты, более того, в нем установлено некоторое проявление обменной (табл. 1) и гидролитической кислотности (4.0 мг-экв/100 г). Известно, что одновременное присутствие в составе обменных оснований водорода и натрия характерно для солодей [Базилевич, 1967], но эти почвы не содержат легкорастворимых солей. Поскольку натрий является щелочегенным ионом [Перельман, Касимов, 1999], то в природе отсутствуют засоленные кислые почвы. Сочетание натриевого засоления и слабокислой реакции среды свидетельствует о природно-техногенных процессах функционирования вторичного солончака; несмотря на натриевые соли, при высокой емкости поглощения в почве сохранилась потенциальная кислотность. Еще одной особенностью этого солончака является крайне высокая (70 мг-экв/100 г), по критериям В.Ф. Валькова и др. [2004], емкость катионного обмена. Такую поглощательную способность нельзя объяснить только уровнем содержания гумуса и тяжелым гранулометрическим составом. По Б.М. Андрееву [1956], в основе формирования солонцовых свойств лежит гальмиролиз почвенных минералов под действием солевых растворов с распадом алюмосиликатов и образованием гидрофильных коллоидов. По В.И. Кирюшину, А.И. Еськову [1972], насыщение почвы натрием сопровождается пептизацией илистой фракции; степень проявления процесса зависит от природы самого поглощающего комплекса, его минералогического состава. Вероятно, растворы техногенных натриевых солей воздействовали на минеральную основу пермских глин, способствуя пептизации ила, увеличению доли коллоидной фракции, и, как следствие, повышению емкости катионного обмена солончака.

Таким образом, в ТПК на элювиально-делювиальных суглинках в зоне воздействия солей входят дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы, пелозем гумусовый тяжелосуглинистый, серогумусовые остаточные карбонатные суглинистые почвы, солончак вторичный хлоридный натриево-калиевый глинистый. Кроме того, не исключаем присутствия в составе этих ТПК серогумусовых почв природного строения, сформированных на склонах холмов на элювии пермских пород.

На камских террасах в ТПК на древнеаллювиальных песках и двучленных породах при планировке солей СКРУ-1 и СКРУ-2 часть территории была оскальпирована, для гидроизоляции были отсыпаны тяжелые грунты. В настоящее время на абралитах и литостратах под травяной растительностью сформировались маломощные

серогумусовые карбонатные и некарбонатные супесчаные и суглинистые почвы, подстилающиеся элювием пермских пород.

В 40 м от солей СКРУ-1 под изреженной травяным покровом описана серогумусовая супесчаная почва, на поверхности которой присутствовали следы разлива подотвальных вод. Сверху залегает плитка мощностью 2 см светло-желто-бурой окраски, сухая, супесчаная, сильно уплотненная, содержащая карбонаты. Серогумусовый горизонт АУ – желтовато-бурый, мощность 2–18 см, рыхлый, непрочный комковатый, супесчаный. Переходный горизонт неоднороден: слой 18–24 см – серый с желто-бурыми пятнами, увлажненный, супесчаный, непрочный комковатый; слой 24–55 см – желто-рыжий, увлажненный, рыхлый, неоднородного гранулометрического состава: с супесчаными и суглинистыми фрагментами, слоями. С глубины 55 см залегает подстилающая карбонатная порода – неоднородной окраски с зеленовато-серыми, желто-бурыми и палевыми пятнами, влажная, вязкая, тяжелосуглинистая.

На берегу соленого пруда – накопителя у солей СКРУ-2 произрастала преимущественно бескильница. Здесь описана серогумусовая глееватая глинистая почва, образовавшаяся на карбонатном литострате. Серогумусовый горизонт – АУе, мощность 0–23/23 см, в верхнем сантиметровом слое густо переплетен корнями; бурого цвета, имеет осветленные прослойки и языки, глинистый, уплотненный; структура слитнопылеватая. С глубины 23 см залегает глинистый плотный грунт (Сg), лишенный слоев и структуры; имеет коричнево-бурю окраску, встречаются сизовато-бурые оттенки, ржавые пятна, мелкие угольки. Почва вскипает с глубины 60 см. Можно предположить, что в формировании профиля серогумусовой почвы принимает участие процесс осолодения. По классическим представлениям, осолодение развивается в присутствии обменного натрия, коллоидный комплекс разрушается под воздействием почвенных кислот, на месте остаются самые устойчивые к выветриванию минералы белого цвета [Базилевич, 1967]. В исследованной серогумусовой почве, по видимому, эти процессы создают эффект «седоватости, белесости». Присутствие светлых скелетан в виде тонкой прослойки в верхней части профиля и на стенках вертикальных трещин при наличии карбонатного горизонта является основанием для диагностики осолоделого подтипа [Классификация и диагностика..., 2004].

Серогумусовые почвы данного ТПК небогаты гумусом (1.5–3.9%) и характеризовались преимущественно нейтральной реакцией среды (табл. 2). Присутствие в них карбонатов отмечалось не все-

гда и зависело от почвообразующей породы и вторичных процессов миграции и трансформации солей.

Таблица 2

Физико-химические и химические свойства почв ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях, двучленных породах

Почва	Глубина, см	pH _{вод}	pH _{сол}	Гумус, %	ЕКО	H _{ГК}	CO ₂ , %
Серогумусовая супесчаная почва	1-11	6.9	7.01	2.69	12.41	0.61	0.09
	13-23	7.31	6.43	-	-	-	0.07
	38-48	7.14	6.47	-	-	-	0.09
	60-70	8.17	6.6	-	-	-	0.22
Солончак вторичный хлоридный натриевый по серогумусовой глееватой суглинистой почве	2-12	7.9	7.62	3.46	47.1	-	0.9
	13-23	8.03	7.4	-	-	-	0.29
	28-38	6.6	6.97	-	-	-	0.07
	65-75	6.7	6.25	-	-	-	-
	95-105	6.61	6.28	-	-	-	-

Вблизи солеотвалов при регулярном воздействии поверхностных и подземных соленых вод за несколько десятилетий из литостратов и абролитов образовались серогумусовые глееватые солончаковые почвы и солончаки вторичные. У солеотвала СКРУ-1 в ложбинообразном понижении, почти лишенном растений, был исследован солончак вторичный хлоридный натриевый, сформировавшийся, по-видимому, по серогумусовой глееватой суглинистой почве. На поверхности почвы расположена глинисто-песчано-солевая корка толщиной 2 мм намывного происхождения. S[AYg] – солончаковый глееватый горизонт, 2–27/25 см, темно-буро-коричневый с сизоватыми и рыжими пятнами, с ржавым мицелием; слитно-пластинчатый, уплотненный, среднесуглинистый. В горизонте присутствовали светло-желтые и красноватые кристаллы минералов-солей. Переход к следующему горизонту – заметный. Ниже залегает неоднород-

ная солончаковая глееватая порода S[Cg]: слой 27–42/15 см – мелкий песок, коричнево-бурого цвета с сизым оттенком, бесструктурный, влажноватый; слой 42–94/52 см – более светлой желтоватой окраски с сизоватыми и рыжими пятнышками, среднесуглинистый с фрагментами и прослойками глинистого материала; с глубины 94 см – песок палево-желтого цвета, местами имеет сизоватые оттенки; более влажный.

Солончак вторичный и солончаковые почвы у солеотвала СКРУ-1 были нейтрально-слабощелочными и бедными гумусом. Они характеризовались хлоридным натриевым и сульфатно-хлоридным кальциево-натриевым химизмом. В составе «гипотетических солей» при хлоридном химизме преобладали хлориды, появлялось небольшое количество двууглекислой соды (табл. 3). При сульфатно-хлоридном химизме засоления почв присутствовали сульфаты, в том числе, гипс.

Таблица 3

Содержание водорастворимых ионов (мг-экв/100 г) и состав «гипотетических» солей в почвах ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях, двучленных породах

Почва	Глубина, см	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Соли, %
Серогумусовая супесчаная почва	1-11	0.48	1.3	0	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1
		Ca(HCO ₃) ₂ , Mg(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂							
	13-23	0.29	0.6	0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
		Ca(HCO ₃) ₂ , Mg(HCO ₃) ₂ , NaHCO ₃ , NaCl, KCl							
	38-48	0.22	1.0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Солончак вторичный хлоридный натриевый по серогумусовой глееватой суглинистой почве		Ca(HCO ₃) ₂ , Mg(HCO ₃) ₂ , NaHCO ₃ , NaCl, KCl							
	60-70	1.13	0.6	0	0.3	0.1	1.0	0.2	0.1
		Ca(HCO ₃) ₂ , Mg(HCO ₃) ₂ , NaHCO ₃ , NaCl, KCl							
	2-12	0.74	81.4	0	1.4	0.1	58.7	0.1	4.4
		Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂							
Солончак вторичный хлоридный натриевый по серогумусовой глееватой суглинистой почве	13-23	0.66	37.3	0	0.6	0.1	30.4	0.1	2.1
		Ca(HCO ₃) ₂ , NaHCO ₃ , NaCl, KCl, MgCl ₂							
	28-38	0.53	23.2	3.0	0.5	0.1	26.1	0.1	1.6
		Ca(HCO ₃) ₂ , NaHCO ₃ , Na ₂ SO ₄ , NaCl, KCl, MgCl ₂							
	65-75	0.13	55.4	0	0.6	0.1	43.5	0.1	3.1
Солончак вторичный хлоридный натриевый по серогумусовой глееватой суглинистой почве		Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂							
	95-105	0.10	37.3	0	0.6	0.1	30.4	0.1	2.1
		Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂							

Содержание карбонатов в почвенном мелкоземном солончака и солончаковых почв составляло 0.4–

0.9%, количество гипса достигало 1–1.5%. Появление в профиле среднерастворимых солей каль-

ция могло быть связано с усилением растворимости литогенных карбонатов, т.к. растворимость кальцита усиливается с увеличением концентрации солей натрия [Понизовский, 1981; Бреслер и др., 1987]. Кроме того, при засолении почвогрунтов формируются пересыщенные растворы солей кальция [Минкин и др., 1995]. Эти перенасыщенные растворы у поверхности теряют воду и осаждаются в твердофазном состоянии.

Таким образом, в ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях, двучленных породах в зоне воздействия солеотвалов были представлены серогумусовые почвы легкого и тяжелого гранулометрического состава, в том числе, глееватые, остаточные карбонатные, а также серогумусовые солончаковые почвы и солончаки вторичные хлоридного натриево-калиевого и сульфатно-хлоридного кальциево-натриевого химизма.

В долинах малых рек аллювиальные почвы, испытывающие воздействие подотвальных соленых грунтовых вод и вод из рассолоподъемных скважин, в разной степени подвержены засолению.

На расстоянии 1150 м от шламохранилища БКПРУ-3 в пойме р. Лёны, в 2 м от русла, сформировалась аллювиальная гумусовая глееватая хлоридная натриево-магниевая-кальциевая солончаковая почва. Серогумусовый горизонт AYs,g, 0–20/20 см; до глубины 10 см он густо переплетен корнями трав, ниже корни единичные; серо-бурый, более темный до глубины 14 см; структура комковато-порошистая; с глубины 18 см появляются признаки оглеения в виде сизой окраски и ржавых пятен. По корневицам присутствовали железистые новообразования; переход к породе волнистый, постепенный. Оглеенная почвообразующая порода Сg (глееватость около 30% площади горизонта) – 20–70/50 см, бурого цвета, характерны ржавые пятна и много железо-марганцевых конкреций. С глубины 70 см залегала аллювиальная глееватая порода СG – сизая, с ржавыми примазками; глубже 100 см она становилась сизой, без рыжих пятен.

В долине р. Черной, в условиях подтопления подотвальными водами БКПРУ-3, расположено соленое болото. Здесь описан глеезем хлоридный

натриевый солончаковый. Подстильно-торфяной горизонт Og,s – буро-коричневого цвета, 0–10/10 см, состоящий из органического материала разной степени разложения. С глубины 10 см залегает глееватый горизонт Gs – сизого цвета с ржавыми пятнами, бесструктурный, увлажненный.

В пойме р. Усолки из старых рассолоподъемных скважин изливаются соленые ручьи, по берегам которых произрастают солеросы. На расстоянии 15–20 м от русла был описан солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриевый по аллювиальной гумусовой глееватой почве.

Солончаковый оглеенный горизонт [S]AYg – мощностью 0–43/43 см; неоднородной окраски: до глубины 12 см светло-коричнево-бурый с ржавыми примазками, глинистый; в целом бесструктурный, местами со слабо намечающейся комковатой структурой; ниже – сизовато-бурый с рыжими пятнами, пестрый, глинистый, бесструктурный; с глубины 26 см – буровато-сизого оттенка с намечающейся пластинчатостью; ниже 27 см – рыжие пятна отсутствуют; червоточин мало, встречаются угольки.

Глееватый горизонт Gs – 43–95/52 см, темно-серо-сизый, с намечающейся призматичностью; на глубине 80–90 см находилась гниющая древесина, встречались камни. Аллювиальная глееватая порода СG залегает с глубины 95 см, светло-серая и голубовато-сизая; влажноватая, бесструктурная, глинистая, мажущаяся, пластичная, уплотненная, с запахом сероводорода.

Содержание гумуса в аллювиальных почвах ТПК сильно варьировало (2–17%), что обусловлено особенностями генезиса этих почв. В широком интервале изменялась и реакция почвенной среды (табл. 4). Местами накопление техногенных солей до 0.4–0.7% от массы почвы проявилось при сохранении почвенной кислотности: $pH_{\text{вод}}=4.0–5.6$, гидролитическая кислотность – 7.7–13.3 мг-экв/100 г, что было характерно для почв с повышенным содержанием органического вещества (более 10% гумуса) и высокой емкостью поглощения (более 60 мг-экв/100 г почвы).

Таблица 4

Физико-химические и химические свойства почв ТПК на аллювиальных породах

Почва	Глубина, см	$pH_{\text{вод}}$	$pH_{\text{сол}}$	Гумус, %	ЕКО	$H_{\text{ГК}}$	CO_2 , %	Гипс, %
Аллювиальная гумусовая глееватая солончаковая хлоридная натриево-магниевая-кальциевая почва	5-20	4.69	5.42	9.3	82.7	13.3	0	-
	20-30	4.47	4.48	-	-	-	0	-
	32-42	5.02	4.78	-	-	-	0	-
	50-60	4.16	3.97	-	-	-	0	-
	70-80	4.68	4.72	-	-	-	0	-
	95-105	5.18	5.22	-	-	-	0	-

Окончание табл. 4

Почва	Глубина, см	pHвод	pHсол	Гумус, %	ЕКО	НГК	CO ₂ , %	Гипс, %
Солончак вторичный сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый по аллювиальной перегнойно-глеевой суглинистой почве	0-3	5.90	5.84	10.2	71.0	2.5	0	-
	3-15	6.75	6.70	10.1	37.3	1.2	0.19	8.5
	15-70	5.85	5.80	-	-	-	0	-

В верхних горизонтах почв общее количество водорастворимых солей составляло от 0.5 до 25% веса почвы; химизм засоления хлоридный натриево-магниевый-кальциевый и сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый. В составе «гипотетических» солей преобладали хлориды, в том числе, хлориды магния и кальция (табл. 5). В природных условиях

накопление хлоридов происходит в аридном климате [Перельман, Касимов, 1999]; в таежно-лесной зоне присутствие хлоридов в почвенном профиле возможно только при постоянном поступлении техногенных солей с подотвальными водами или из рассолоподъемных скважин.

Таблица 5

Содержание водорастворимых ионов (мг-экв/100 г) и состав «гипотетических» солей в почвах ТПК на аллювиальных породах

Почва	Глубина, см	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма солей, %
Аллювиальная гумусовая глееватая солончаковая хлоридная натриево-магниевый-кальциевая почва	5-15	0.19	9.3	0	3.8	1.7	1.7	0.2	0.5
	Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂								
	20-30	0.10	4.6	0	1.5	1.2	1.3	0.1	0.3
	Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂								
	32-42	0.18	6.4	0	2.0	1.1	1.7	0.2	0.4
	Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂								
	50-60	0.90	10.7	0	4.8	2.5	2.2	0.2	0.6
	Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂								
	70-80	0.13	25.4	0	13.6	6.6	4.7	0.2	1.4
Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂									
Солончак вторичный сульфатно-хлоридный кальциевый-натриевый по аллювиальной перегнойно-глеевой суглинистой почве	95-105	0.14	21.2	0	10.7	3.7	3.6	0.2	1.1
	Ca(HCO ₃) ₂ , NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂								
	0-3	0.18	406.2	168.9	163.0	60.0	108.7	243.6	39.0
	Ca(HCO ₃) ₂ , CaSO ₄ , Na ₂ SO ₄ , Mg SO ₄ , KCl, MgCl ₂								
	5-15	0.44	286.4	122.3	104.0	67.0	237.0	1.2	24.8
	Ca(HCO ₃) ₂ , CaSO ₄ , Na ₂ SO ₄ , NaCl, KCl, MgCl ₂								
35-45	0.30	90.9	193.7	109.0	102.0	73.9	0.1	17.8	
Ca(HCO ₃) ₂ , CaSO ₄ , Na ₂ SO ₄ , Mg SO ₄ , NaCl, KCl, MgCl ₂									

Солончаки и солончаковые почвы в ТПК на аллювиальных породах содержали карбонаты и гипс. Количество карбонатов в мелкоземе низкое – 0.2–0.3%. В несколько большей степени проявилась гипсоносность (0.9–8.5%). Присутствие гипса и большого количества водорастворимого Ca²⁺, по видимому, обусловлено повышенной растворимостью кальциевых солей, в том числе, гипса, содержавшегося в пермских породах, в которых могут фильтроваться соленые воды. В пойме реки эти растворы концентрируются с образованием твердофазных солей.

Таким образом, в составе ТПК на аллювиальных породах, находящихся под воздействием подотвальных и рассолоподъемных вод, гумусовые, перегнойно-глеевые почвы и глееземы сочетаются с солончаковатыми и солончаковыми аналогами, а

также с солончаками вторичными хлоридного кальциево-магниевый-натриевого и сульфатно-хлоридного натриево-кальциевого химизма.

Выводы

1. В основу представлений о природно-техногенной организации почвенного покрова в ландшафтах добычи солей и складирования солевых отходов положено понятие технопедокомплекса (ТПК) – комбинации почв и техногенных поверхностных образований на одинаковых почвообразующих породах при сходном техногенном воздействии.

2. В пределах ТПК организация почвенного покрова обусловлена унаследованными особенностями природных почв и почвообразующих пород, видами техногенного воздействия (перемешива-

ние, скальпирование и отсыпка почвогрунта, устройство рассолоподъемных скважин и др.), а также совокупностью процессов миграции, концентрации и рассеивания водорастворимых солей.

3. В ТПК на элювиально-делювиальных суглинках в зоне воздействия солеотвалов входят дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы и почвы, образующиеся из литостратов: пелозем гумусовый тяжелосуглинистый, серогумусовые остаточные карбонатные суглинистые почвы, а также солончак вторичный хлоридный натриево-калийный глинистый.

4. В ТПК на древнеаллювиальных песках и супесях, двучленных породах в зоне воздействия солеотвалов представлены серогумусовые почвы легкого и тяжелого гранулометрического состава, в том числе, глееватые, остаточные карбонатные, образующиеся из литостратов и абролитов, а также серогумусовые солончаковые почвы и солончаки вторичные хлоридного натриево-калийного и сульфатно-хлоридного кальциево-натриевого химизма.

5. В ТПК на аллювиальных породах, испытывающего воздействие подотвальных и рассолоподъемных вод почвы (гумусовые, перегнойно-глеевые, глееземы) сочетаются с солончаковатыми и солончаковыми аналогами, а также с солончаками вторичными хлоридного кальциево-магниевонатриевого и сульфатно-хлоридного натриево-кальциевого химизма.

6. Во всех трех ТПК засоление отдельных почв достигало уровня солончаковости, вплоть до формирования солончаков вторичных. Химизм засоления был по составу анионов – хлоридный и сульфатно-хлоридный, по соотношению катионов – натриевый, калиево-натриевый, кальциево-натриевый.

7. Присутствие среднерастворимых кальциевых солей (карбонаты, гипс) в почвенном профиле может быть связано не только с отходами производства, но и с усилением миграции карбонатов и гипса подстилающих пород под воздействием натриевых растворов, с последующим процессом их отложения в твердофазной форме.

8. Особенностью солончаковых почв со значительным содержанием гумуса и высокой емкостью поглощения является сохранение актуальной и обменной кислотности.

Библиографический список

Андреев Б.М. Теоретические основы улучшения солонцов и солонцовых почв: автореф. дис. ... д-ра с.х. наук. Омск, 1956. 27 с.
Базилевич Н.И. Лесостепные солоды. М.: Наука, 1967. 97 с.

Бреслер Э., Макнил Б.Л., Картер Д.Л. Солонцы и солончаки. Принципы. Динамика. Моделирование. Л.: Гидрометиздат, 1987. 296 с.

Вальков В.Ф. и др. Справочник по оценке почв. Майкоп: Адыгея, 2004. 236 с.

Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь, 2016. 252 с.

Еремченко О.З., Филькин Т.Г., Шестаков И.Е. Редкие и исчезающие почвы Пермского края. Пермь, 2010. 92 с.

Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Максимова С.Е. Свойства и распространение дерново-элювоземов на берегах Камского водохранилища // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. Номер статьи 374.

Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Максимова С.Е. Систематика и распространение редких почв в связи с развитием «почвенно-краснокишечных» работ в Пермском крае // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2015а. Вып. 1. С. 41–48.

Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Максимова С.Е. О новых типах почв в Пермском крае // Фундаментальные и прикладные вопросы лесного почвоведения. Сыктывкар, 2015б. С. 28–30.

Замотаев И.В., Белобров В.П. Эволюция почвоподобных техногенных образований на примере футбольных полей // Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М., 2015. С. 235–252.

Карта почвенно-географического районирования СССР. М 1:8000000. М., 1986.

Кирюшин В.И., Еськов А.И. Влияние поглощенных катионов на пептизируемость и физические свойства почвообразующих пород в связи с их минералогическим составом // Вопросы генезиса, мелиорации и охраны почв Северного Казахстана. Целиноград, 1972. С. 81–96.

Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.

Кортаев Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь: Кн. изд-во, 1962. 280 с.

Минкин М.Б., Ендовицкий А.П., Калинин В.П. Карбонатно-кальциевое равновесие в почвенных растворах. М.: Изд-во МСХА, 1995. 212 с.

Мякина Н.Б., Аринушкина Е.В. Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв. М.: Изд-во МГУ, 1979. 62 с.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.

Понизовский А.А. Исследование растворимости кальцита и гипса в многокомпонентных водосолевых системах из хлоридов, сульфатов, бикарбонатов кальция, магния, натрия при 25°C и

- 0,02 атм. CO₂: автореф. дис. ... канд. хим. наук, М., 1981. 24 с.
- Почва, город, экология / под общей ред. акад. РАН Г.В. Добровольского. М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. 320 с.
- Почвообразовательные процессы. М., 2006. С. 29-31.
- Прокофьева Т.В. и др. Введение почв и почвоподобных образований в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164.
- Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Гуманитарные технологии, 2004. С. 50-54.
- Филькин Т.Г. и др. База геоданных «Почвы. Пермский край» [Электронный ресурс] // РИНИПИ РАО, 2014. Свидетельство № 19863.
- Фридланд В.М. Структуры почвенного покрова мира. М.: Мысль, 1984. 235 с.
- New York City Soil Survey Staff (2005): New York City reconnaissance soil survey. USDA-NRCS, Staten Island, New York, USA.
- Stroganova M, Prokofieva T. Urban soils classification for Russian cities of the taiga zone // European Soil Bureau – Research Report (Publications of the European Community), 2001. № 7. P. 153-156.
- Sobocká Jaroslava. Specifics of urban soils (Technosols) survey and mapping // 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1–6 August 2010, Brisbane, Australia.
- ### References
- Andreev B.M. *Teoreticheskie osnovy uluchshenia solontzov i solontzovih pochv. Avtoref. dis. dokt. s.-h. nauk* [The theoretical basis for the improvement of solonchets and sodic soils. Abstract Doct. Diss.]. Omsk, 1956. 27 p. (In Russ.).
- Bazilevich N.I. *Lesostepnye solodi* [Forest-steppe solodi]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 97 p. (In Russ.).
- Bresler E., Maknil B.L., Karter D.L. *Soloncy i solončaki. Principy. Dinamika. Modelirovanie* [Salt licks and salt marshes. Principles. Dynamics. Modeling]. Leningrad, Gidrometizdat Publ., 1987. 296 p. (In Russ.).
- Val'kov V.F. et al. *Spravočnik po ocenke počv* [Guide to assessment of soils]. Maikop, Adygea Publ., 2004. 236 p. (In Russ.).
- Eremchenko O.Z., Filkin T.G., Shestakov I.E. *Redkie i isčezajuščie počvi Permskogo kraja* [Rare and vanishing soils of the Perm region]. Perm, 2010. 92 p. (In Russ.).
- Eremchenko O.Z., Shestakov I.E., Maksimova S.E. [Properties and distribution of sod-Lovozero on the banks of the Kama reservoir]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, N 5 (2014): Article number 374. (In Russ.).
- Eremchenko O.Z., Shestakov I.E., Moskvina N.V. *Počvy i technogennye poverchnostnye obrazovaniya urbanizirovannykh territorij Permskogo Prikam'ja* [Soils and technogenic surface formation of the urbanized territories of Perm Kama region]. Perm, 2016. 252 p. (In Russ.).
- Eremchenko O.Z., Shestakov I.E., Maksimova S.E. [Systematics and distribution of rare soils in connection with the development of "soil-red" works in the Perm region]. *Vestnik Permskogo universiteta. Ser. Biologija*. Iss. 1 (2015a): pp. 41-48. (In Russ.).
- Eremchenko O.Z., Shestakov I.E., Maksimova S.E. [On new types of soils in Perm region]. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy lesnogo počvovedenija* [Fundamental and applied issues of forest soil science]. Siktivkar, 2015b, pp. 28-30. (In Russ.).
- Zamotaev I.V., Belobrov V.P. [Evolution pochvovedeniya man-made structures on the example of football fields]. *Evoljucija pochv i pochvennogo pokrova. Teoriya, raznoobrazie prirodnoj evolucii i antropogennih transformacij pochv* [Evolution of soils and soil cover. Theory, the diversity of the natural evolution and anthropogenic transformations of soils]. Moscow, 2015, pp. 235-252. (In Russ.).
- Karta počvenno-geografičeskogo rajonirovanija SSSR. M 1:8000000* [The map soil-geographical zoning of the USSR]. Moscow, 1986. (In Russ.).
- Kirushin V.I., Ec'kov A.I. [The influence of absorbed cations on baptisimal and physical properties of parent rocks in their mineralogical composition]. *Voprosy genezisa, melioracii i ohrayi počv Severnogo Kazachstana* [The questions of Genesis, amelioration and protection of soils of Northern Kazakhstan]. Celinograd, 1972, pp. 81-96. (In Russ.).
- Klassifikacija i diagnostika počv Rossii* [Classification and diagnostics of soils of Russia]. Smolensk, Oykumena Publ., 2004. 341 p.
- Korotaev N. Y. *Počvy Permskoj oblasti* [The soils of the Perm region]. Perm, 1962. 280 p. (In Russ.).
- Minkin N.B., Endovickii A. P., Kalichinko V.P. *Karbonatno-kal'cievoe ravnovesie v počvennykh rastvorach* [Carbonate-calcium balance in the soil solution]. Moscow, 1995. 212 p. (In Russ.).
- Myakina N.B., Arinushkina E.V. *Metodičeskoe posobie dlja čtenijja rezul'tatov chimičeskich analizov počv* [Teaching guide for reading the results of chemical analyses of soil]. Moscow, 1979. 62 p. (In Russ.).
- Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geohimija landšafta* [Geochemistry of landscape]. Moscow, Astreya-2000 Publ., 1999. 610 p. (In Russ.).
- Ponizovskii A.A. *Issledovanie rastvorimosti kal'cita i gipsa v mnogokomponentnykh vodosolevykh sis-*

- temach iz chloridov, sul'fatov, bikarbonatov kal'cija, magnija, natrija pri 25°C i 0,02 atm CO₂. Avtoref. diss. kand. chim. nauk* [The study of solubility of calcite and gypsum in multicomponent systems videolevy of chlorides, sulfates, bicarbonates of calcium, magnesium, sodium at 25°C and 0.02 ATM. CO₂]. Moscow, 1981. 24 p. (In Russ.).
- Počva, gorod, ekologija* [Soil, city, ecology]. Moscow, 1997. 320 p. (In Russ.).
- Počvoobrazovatel'nye processy* [Soil-forming processes]. Moscow, 2006, pp. 29-31. (In Russ.).
- Prokof'eva T.V. et al. [Introduction soil and pochvovedeniya entities in the classification of soils of Russia]. *Počvovedenie*, N 10 (2014): pp. 1155-1164. (In Russ.).
- Sokolov I.A. *Teoretičeskie problemy genetičeskogo počvovedeniya* [Theoretical problems of genetic soil science]. Novosibirsk, Gumanitarnie tehnologii Publ., 2004, pp. 50-54. (In Russ.).
- Fil'kin T.G. et al. *Baza geodannih «Počvi. Permskiy kray»* [Geodatabase "of the Soil. Perm Krai"]. RINIPI RAO, 2014. Certificate № 19863. (In Russ.).
- Fridland V.M. *Struktury počvennogo pokrova mira* [The soil cover structure in the world]. Moscow, Mysl' Publ., 1984. 235 p. (In Russ.).
- New York City Soil Survey Staff: New York City reconnaissance soil survey. USDA-NRCS, Staten Island, New York, USA, 2005.
- Stroganova M, Prokofieva T. Urban soils classification for Russian cities of the taiga zone. *European Soil Bureau - Research Report (Publications of the European Community)*, N 7 (2001): pp. 153-156.
- Sobocká Jaroslava. Specifics of urban soils (Technosols) survey and mapping. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.

Поступила в редакцию 05.07.2017

Об авторах

Еремченко Ольга Зиновьевна, доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой физиологии растений и микроорганизмов ФГБОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
ORCID: 0000-0003-3581-0874
 614990, Пермь, ул. Букирева, 15;
 eremch@psu.ru; (342)2396412

Митракова Наталья Васильевна, ассистент кафедры физиологии растений и микроорганизмов ФГБОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
ORCID: 0000-0002-3172-4146
 614990, Пермь, ул. Букирева, 15;
 mitrakovanatalya@mail.ru; (342)2396203

Шестаков Игорь Евгеньевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии растений и микроорганизмов ФГБОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
ORCID: 0000-0002-1695-6061
 614990, Пермь, ул. Букирева, 15;
 Galendil@yandex.ru; (342)2396317

About the authors

Eremchenko Olga Zinov'evna, doctor of biology, professor, head of the Department of physiology of plants and microorganisms Perm State University.
ORCID: 0000-0003-3581-0874
 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990;
 eremch@psu.ru; (342)2396412

Mitrakova Natalia Vasil'evna, assistant of department of physiology of plants and microorganisms Perm State University.
ORCID: 0000-0002-3172-4146
 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990;
 mitrakovanatalya@mail.ru; (342)2396203

Shestakov Igor Evgen'evich, candidate of biological sciences, associate professor of the Department of physiology of plants and microorganisms Perm State University.
ORCID: 0000-0002-1695-6061
 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990;
 Galendil@yandex.ru; (342)2396317

