



Научная статья

Изменения почв под влиянием загрязнения сырой нефтью и минерализованными жидкостями в условиях Среднего Приобья Западной Сибири

М.В. Носова^{1, 2*} , В.П. Середина¹ , С.А. Стовбунник²

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, д. 36

² АО «ТомскНИПИнефть», 634027, Россия, г. Томск, пр. Мира, д. 72

*nosovamv@tomsknpi.ru

Поступила в редакцию: 19.07.2022

Доработана: 23.08.2022

Принята к печати: 24.08.2022

Опубликована онлайн: 15.06.2023

DOI: 10.23859/estr-220718

УДК 504.064

Аннотация. Рассмотрено влияние высокоминерализованных вод и сырой нефти на свойства подзолистых и аллювиальных почв Западной Сибири. Специфическая особенность почв, загрязненных при добыче нефти минерализованными водами – накопление легкорастворимых солей, сопровождающееся высоким содержанием токсичных солей. Формирование солевых аккумуляций и химизма засоления почв на территориях нефтедобычи зависит как от вида загрязнения (сырая нефть, минерализованные жидкости), так и от почвенно-экологических условий (положения в ландшафте, гидрологического режима, типа почв, их сорбционных свойств, режима поступления солей). Сброс минерализованных вод в ходе аварийных разливов минерализованных жидкостей в условиях переувлажненных таежных ландшафтов Западной Сибири приводит к образованию техногенно засоленных почв на территориях, где естественное развитие этого процесса невозможно. Засоление почв в условиях гумидного климата можно считать наложенным почвообразовательным процессом, формирующим дополнительный риск развития в почвах техногенного солончакования. Обнаруженные изменения позволяют оценить экологическое состояние почв (химизм, степень засоления, запас токсичных солей) и разработать предложения по рекультивации почв нефтесолевого загрязнения.

Ключевые слова: нефтесолевое загрязнение, легкорастворимые соли, техногенный галогенез, химизм засоления, солевой профиль почв, методы рекультивации, фитомелиорация

Для цитирования. Носова, М.В. и др., 2023. Изменения почв под влиянием загрязнения сырой нефтью и минерализованными жидкостями в условиях Среднего Приобья Западной Сибири. *Трансформация экосистем* 6 (2), 64–73. <https://doi.org/10.23859/estr-220718>

Article

Assessment of soil changes causing contamination with crude oil and mineralized liquids in the Middle Ob region (Western Siberia)

Maria V. Nosova^{1, 2*} , Valentina P. Seredina¹ ,
Sergey A. Stovbunik²

¹ Tomsk State University, pr. Lenina 36, Tomsk, 634050 Russia

² JSC «TomskNIPIneft», pr. Mira 72, Tomsk, 634027 Russia

*nosovamv@tomsknipi.ru

Received: 19.07.2022
Revised: 23.08.2022
Accepted: 24.08.2022
Published online: 15.06.2023

DOI: 10.23859/estr-220718
UDC 504.064

Translated by S.V. Nikolaeva

Abstract. The influence of highly mineralized waters and crude oil on the properties of podzolic and alluvial soils in Western Siberia is analyzed. Soils contaminated with mineralized waters during oil production accumulate easily soluble salts, as shown by the amount of dense residue within the contamination halo (0.30–1.68%), including high content of toxic salts (toxic chloride-sulfate and sulfate anions and toxic cation sodium), which create an unfavorable environment for the growth and development of higher plants. Salt accumulation and the chemistry of soil salinization in oil production areas depends both on the type of pollution (crude oil, mineralized waters) and on soil-ecological conditions (landscape position, hydrological regime, genetic type of soils and their sorption properties, regime of salt supply). The discharge of mineralized waters during spillages in waterlogged taiga landscapes of Western Siberia leads to technogenic halogenesis (salinization) in areas where this process could never have occurred naturally. Soil salinization, which occurs in a humid climate, can be considered a superimposed soil-forming process, which forms an additional risk of the development of an accompanying solonchak process in soils. The changes revealed allow the ecological state of soils to be assessed. Proposals for the reclamation of oil-salt contaminated soils can be put forward, based on basic parameters of technogenically saline soils (chemistry, degree of salinization, and stock of toxic salts).

Keywords: oil and salt pollution, easily soluble salts, technogenic halogenesis, salinization chemistry, soil salt profile, reclamation methods, phytomelioration

Введение

Нефтяные месторождения Западной Сибири являются основным районом добычи нефти в Российской Федерации. При интенсивной разработке и эксплуатации месторождений окружающая природная среда испытывает значительную техногенную нагрузку, что часто приводит к загрязнению и деградации экосистем.

Одна из актуальных экологических проблем Западной Сибири – увеличение ареалов техногенно-засоленных почв (Геннадиев, 2016; Середина и др., 2017; Солнцева, 2002). Их происхождение связано с аварийными разливами высокоминерализованных вод, используемых для поддержания пластового давления на нефтяных залежах. Также засолению способствует и нефтяное загрязнение земель, обусловленное сильной обводненностью сырой нефти (Середина и др., 2006; Nosova et al., 2020). Почвы являются наиболее ценным источником информации об экологическом состоянии нефтезагрязненной территории.

На сегодняшний день оценке пространственного распределения техногенных солевых загрязнений почв посвящены немногочисленные исследования (Capra et al., 2015; Nosova et al., 2021; Wiens, 2013). Стоит отметить, что масштабная практика рекультивации техногенно засоленных земель в настоящее время отсутствует. Сложность вопроса заключается как в отсутствии приемов и методических разработок для оценки характера и степени экологической опасности этого вида загрязнений, так и в трудностях, возникающих при визуальном определении границ нефтесолевого загрязнения.

Цель настоящего исследования – установить содержание солей техногенного происхождения, выявить характер и закономерности их распределения в почвах контрастных геохимических ландшафтов в условиях локального загрязнения сырой нефтью и минерализованными водами, а также определить наиболее эффективный способ рекультивации земель.

Материалы и методы

Объектами исследования послужили почвы на участках разлива сырой нефти и минерализованных жидкостей на территории средней тайги Западной Сибири в пределах Ханты-Мансийского автономного округа. Очаги загрязнения возникли после прорыва промысловых трубопроводов в центральной части поймы р. Оби (нефтяное загрязнение) и при аварийном отказе водовода высокого давления на водораздельной равнине левобережья р. Оби (загрязнение минерализованными жидкостями). По согласованию с эксплуатирующей организацией (ПАО НК «Роснефть») мы не указываем наименования нефтегазовых

месторождений и точные координаты расположения участков загрязнений.

Почвы, находящиеся под влиянием каждого типа загрязнения, были обследованы в июле – августе 2021 г. в течение месяца после аварии на трубопроводе. Границы распространения нефтяного загрязнения в пойме определяли по наличию на поверхности почв битуминозной корки и по степени угнетения растительного покрова. Последний показатель также служил индикатором загрязнения почв водораздела минерализованными пластовыми водами.

На каждом участке в эпицентре загрязнения был заложен полнопрофильный разрез. Образцы почвы, подверженной загрязнению пластовыми водами (р-1), отбирали по генетическим горизонтам. Границы горизонтов в загрязненной нефтью почве (р-2) выделить затруднительно, поэтому образцы отбирали послойно через каждые 10 см до глубины 1 м. Для исследования латеральной миграции нефтепродуктов и легкорастворимых солей была заложена серия почвенных прикопок. Пробы отбирались в эпицентре загрязнения, а также на различном удалении от очага загрязнения: в импактной зоне (3 м) и на границе загрязнения (5 м).

Для оценки степени изменения почв на загрязненных участках по сравнению с естественными почвами были заложены почвенные разрезы на фоновых участках в 10 км от зоны загрязнения. При выборе места отбора проб соблюдалось требование максимальной однородности факторов почвообразования – почвообразующих пород, элементов рельефа и характера растительности. Образцы фоновых почв отбирались из основных генетических горизонтов на всю глубину разреза (фон-1 и фон-2).

Систематическое положение почв на каждом обследованном участке определяли по «Классификации и диагностике почв России» (Шишов и др., 2004) и World Reference Base for Soil Resources (2014).

Нефтепродукты (НП) в образцах определены флуориметрическим методом. Содержание и состав легкорастворимых солей определены в водной вытяжке в соответствии с гостированными методиками.

Уровень pH и плотный остаток согласно ГОСТ 26423-85¹, сульфат-ион по ГОСТ 26426-85², ионы натрия и калия по ГОСТ 26427-85³, хлорид-

¹ ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки.

² ГОСТ 26426-85 Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке.

³ ГОСТ 26427-85 Почвы. Метод определения натрия и калия в водной вытяжке.

ион по ГОСТ 26425-85⁴, ионы кальция и магния по ГОСТ 26428-85⁵, ионы карбоната и бикарбоната по ГОСТ 26424-85⁶. Степень засоления оценивалась по общепринятой классификации Ф.Р. Зайделямана (2017). Гранулометрический состав почвы определяли пипеточным методом с помощью пипетки Качинского. Нормальность распределения полученных результатов оценивали с помощью критериев Колмогорова-Смирнова. Признаки имеют нормальное распределение, поэтому в работе использовались параметрические методы статистики (коэффициент корреляции Пирсона – R_p). Полученные данные также были сгруппированы по зонам загрязнения с определением диапазона данных (min–max), среднего и стандартного отклонения (SD).

Результаты и обсуждение

Морфологическое строение почвенного профиля отражает направление почвообразовательного процесса и дает представление об экологическом состоянии самих почв. Ниже приводятся особенности строения профиля исследованных фоновых и техногенно загрязненных аллювиальных и подзолистых почв.

Фоновый участок 1 (фон-1) расположен на водораздельном пространстве под кедровым лесом (*Pinus sibirica* Du Tour) с примесью осины (*Populus tremula* L.). Разнотравно-кустарничковые ассоциации представлены рябиной (*Sorbus* sp.), багульником болотным (*Ledum palustre* L.), брусникой (*Vaccinium vitis-idaea* L.), осокой (*Carex* sp.), кукушкиным льном (*Polytrichum* sp.) с маломощной лесной подстилкой. Почвенный профиль представлен системой горизонтов: O (0–2 см) – OT (2–7 см) – EL (7–12 см) – BEL_{Fe} (12–30 см) – BT_{1Fe} (30–50 см) – BT_{2Fe} (50–60 см) – BT_{3Fe} (60–70 см) – BC_{Fe} (70–100 см). Верхние горизонты почвы сформированы оторфованной дерниной (горизонты O и OT). Гранулометрический состав почвы дифференцирован по элювиально-иллювиальному типу, особенно по илистой фракции. Так, верхняя часть иллювиальных горизонтов характеризуется достаточно выраженными признаками иллювиирования: ореховатой структурой, более плотным сложением в горизонтах BEL_{Fe}, BT_{1Fe}, BT_{2Fe}, BT_{3Fe}. В сочетании с легким гранулометрическим составом интенсивность подзолообразования особенно четко проявляется в характерном для этого типа почв светло-сером бесструктурном горизонте EL. Почва диагностируется как подзолистая типичная

иллювиально-железистая мелкоосветленная легкосуглинистая (*Retisols Gleyic*).

Фоновый участок 2 (фон-2) расположен на пониженном плоском дренируемом периодически затопляемом участке поймы р. Оби. Кустарниково-разнотравные сообщества участка образованы ивами (*Salix* sp.), черной смородиной (*Ribes nigrum* L.), таволгой иволистной (*Spiraea salicifolia* L.), лабазником (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.), горошком мышиным (*Vicia cracca* L.), а также лютиком ползучим (*Ranunculus repens* L.), калужницей (*Caltha palustris* L.) и осокой. В профиле выделяются следующие горизонты: AY_v (1–10 см) – AY (13–23 см) – AYC_g (30–40 см) – IC_{1g} (45–55 см) – IIC_{2g} (60–70 см) – IIIC_{3g} (90–100 см). Серогумусовый (дерновый) горизонт буровато-серого цвета (AY_v), комковатый, густо пронизанный корневыми системами луговой растительности. Заметны следы деятельности почвенной фауны. Органогенные горизонты (AY_v, AY) постепенно сменяются оглееными горизонтами (AYC_g, IC_{1g}, IIC_{2g}, IIIC_{3g}). Почва диагностируется как аллювиальная серогумусовая типичная глееватая ненасыщенная среднемелкая тяжелосуглинистая (*Stagnosols Fluvic*).

Далее рассматривается проявление каждого типа загрязнения в морфологическом облике почв.

Засоленные подзолистые почвы (p-1) не имеют выраженных морфологических изменений в строении профиля по сравнению с фоновыми. Наиболее характерным признаком солевого загрязнения почв является полная деградация растительного покрова по всей площади распространения минерализованных жидкостей. В эпицентре единично встречаются высохшие осины, выражена деградация древесно-кустарничкового яруса, на поверхности почв наблюдаются выцветы солей. В импактной зоне загрязнения в травяно-кустарничковом ярусе встречаются майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt), линнея северная (*Linnaea borealis* L.), костяника (*Rubus saxatilis* L.), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.), вейник тупокословый (*Calamagrostis obtusata* Trin.). Общее проективное покрытие составляет до 30–45%. На границе загрязнения древесный ярус представлен кедром с примесью осины; в кустарниковом ярусе отмечается рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.), багульник болотный, брусника. В травянистом ярусе преобладают сфагновые мхи (*Sphagnum* sp.), кукушкин лен. Проективное покрытие увеличивается до 75–100%. Согласно принятым классификациям, почву следует отнести к хемозему техногенно-засоленному по подзолистой почве (*Solonchaks Gleyic Toxic*).

В нефтезагрязненных аллювиальных почвах (p-2) наибольшие морфологические преобразования отмечены в корнеобитаемом слое. Верхняя часть почвенного профиля запечатана под

⁴ ГОСТ 26425-85 Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке.

⁵ ГОСТ 26428-85 Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке.

⁶ ГОСТ 26424-85 Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке.

плотной битуминозной коркой. Корнеобитаемые горизонты ($AY_{v,x}$, AY_x , $AYC_{g,x}$) сильно уплотнены. В гумусовых горизонтах ($AY_{v,x}$, $AY_{g,x}$) присутствуют антропогенные включения ($> 20\%$) в виде строительного мусора, синтетических твердых отходов и сырой нефти. На основании этих признаков исследованные почвы следует отнести к хемозему нефтезагрязненному по аллювиальной почве (*Technosols Urbic Toxic (до глубины 40 см) или Solonchaks Fluvic Toxic*).

В самом эпицентре загрязнения наблюдается полная деградация древесно-кустарничкового яруса. Встречаются единичные экземпляры таволги иволжистой, горошка мышинового, лютика ползучего, калужницы с выраженными морфологическими изменениями: темная окраска, нарушение нормальных пропорций, высохшие стебли и листья. К импактной зоне загрязнения приурочены частично деградированные кустарниковые ассоциации рябины сибирской, таволги средней (*Spiraea media* L.), шиповника иглистого (*Rosa acicularis* L.) с проективным покрытием до 45–65%. На границе загрязнения в травянистых ассоциациях присутствуют подростки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) и осины. Проективное покрытие в этой зоне увеличивается до 80–100%.

Содержание НП в хемоземе по подзолистой почве и в фоновых почвах ниже предела обнаружения (Табл. 1). В гумусово-аккумулятивных горизонтах хемоземов по аллювиальной почве максимальное содержание НП отмечено в эпицентре загрязнения. По мере движения к границе импактной зоны содержание НП в среднем уменьшается в 1.2 раза. Полученные данные согласуются с полевыми исследованиями. Из-за поступления углеводородов нефти гумусовые горизонты ($AY_{v,x}$, $AYC_{g,x}$) хемозема по аллювиальной почве окрашены темнее по сравнению с фоновой.

Подтоварные воды сырой нефти и высокоминерализованные жидкости, используемые при извлечении нефти – источники засоления в рассмотренных техногенно загрязненных почвах. Результаты анализа водной вытяжки показывают, что воздействие минерализованных вод оказывает более сильное влияние на почвы, чем воздействие нефти и нефтепродуктов (Табл. 1). По сравнению с фоновыми почвами в хемоземах происходит смещение реакции среды в нейтральную или слабощелочную сторону. Зона аккумуляции легкорастворимых солей приурочена к эпицентру, по мере продвижения к границам разлива их содержание снижается. Во всех изученных почвах отмечается широкий градиент уровней засоления – от слабого до сильного.

Хемоземы по подзолистой почве отличаются сильной степенью засоления. Отмечается вынос хлоридов при слабой миграции карбонатов в профиле (Рис. 1).

Отношение Cl^-/SO_4^{2-} изменяется от 1.96/1.77 ммоль(экв)/100 г почвы в слое 0–10 см до 12.4/4.56 ммоль(экв)/100 г почвы в нижней части профиля, что свидетельствует об отсутствии прогрессивного накопления солей. В профиле выражены две зоны: верхние 60 см, где происходит активный вынос ионов, и нижележащие горизонты, где аккумулируются продукты выноса. Тип химизма по всему профилю – сульфатно-хлоридный натриевый, что характерно для загрязнения минерализованными водами. Концентрация Cl^- и Na^+ с глубиной возрастает и снижается от эпицентра разлива к его периферии. Доля хлорид-иона в миграционных потоках составляет около 80%.

Хемоземы по аллювиальной почве характеризуются средней степенью засоления в эпицентре и слабой в импактной зоне (Табл. 1). Для нефтезагрязненных почв характерен сульфатно-натриевый тип засоления, обусловленный сернистостью нефти и составом подтоварных вод. По результатам корреляционного анализа выявлена статистически значимая положительная связь между содержанием легкорастворимых солей и НП ($R_p = 0.87$ (на глубине 0–10 см) и 0.83 (на глубине 10–30 см), $p < 0.05$).

В отличие от хемоземов по подзолистой почве, в хемоземах по аллювиальной почве концентрация солей достигает максимума в поверхностном слое и затем постепенно снижается с глубиной (Рис. 2). Такой рисунок распределения солей может быть связан с сезонным подъемом грунтовых вод и миграцией солей до горизонтов тяжелого гранулометрического состава.

Опасность техногенного засоления связана не только с общим содержанием солей в корнеобитаемых горизонтах почв, но и с их токсичностью для высших растений. Главным диагностическим признаком экологического действия техногенного галогенеза принято считать суммарное содержание токсичных солей. Степень токсичности солей определяется их составом и растворимостью – чем легче соли поступают в организм растений, тем ярче выражено отрицательное воздействие. В хемоземах по подзолистой почве токсичные техногенные соли представлены $NaHCO_3$, Na_2SO_4 , $MgCl_2$. Их сумма ($\sum_{токс}$) в профиле возрастает с глубиной и достигает 1.15% в нижних горизонтах. Это может свидетельствовать о вымывании солей из почвенного профиля с понижением уровня грунтовых вод. Такой солевой профиль характерен для солончакового типа засоления.

В хемоземе по аллювиальной почве токсичные техногенные соли представлены $NaCl$, Na_2SO_4 , $MgCl_2$. Высокие концентрации токсичных солей в нижележащих горизонтах почв при их постепенном поступлении в корнеобитаемые горизонты с грунтовыми водами могут вызывать вторичное засоление. Таким образом, особенности нефтесоле-

Табл. 1. Солевой состав и тип засоления почв различных зон загрязнения. Над чертой указано среднее \pm SD, под чертой – пределы (min–max).

	Плотный остаток, %	Степень засоления	Тип засоления по анионному составу	Тип засоления по катионному составу	Сумма токсичных солей, %	Содержание НП в г/100 г почвы	pH _{вод}
Загрязнения минерализованными жидкостями (p-1)							
Эпицентр загрязнения	Глубина 0–10 см	1.22 ± 0.09 <u>1.58–1.66</u>	сильная	сульфатно-хлоридный	натриевый	0.25 ± 0.13 <u>0.17–0.33</u>	< 2.5 6.32–6.81
	Глубина 10–30 см	0.76 ± 0.31 <u>0.58–0.88</u>	от средней до слабой	сульфатно-хлоридный	натриевый	0.26 ± 0.05 <u>0.23–0.3</u>	< 2.5 6.26–7.28
Импактная зона загрязнения	Глубина 0–10 см	0.74 ± 1.17 <u>0.34–1.68</u>	от сильной до слабой	сульфатно-хлоридный	натриевый	0.22 ± 0.1 <u>0.17–0.35</u>	< 2.5 6.04–6.73
	Глубина 10–30 см	0.46 ± 0.51 <u>0.30–0.84</u>	от средней до слабой	сульфатно-хлоридный	натриевый	0.26 ± 0.04 <u>0.20–0.33</u>	< 2.5 5.94–6.39
Загрязнения нефтяными эмульсиями (p-2)							
Эпицентр загрязнения	Глубина 0–10 см	1.02 ± 0.34 <u>0.35–1.57</u>	от средней до сильной	сульфатный	натриевый	0.45 ± 0.09 <u>0.28–0.59</u>	66.45 ± 13.16 <u>16.23–72.26</u> 7.6–8.5
	Глубина 10–30 см	0.58 ± 0.71 <u>0.45–1.15</u>	от слабой до средней	сульфатный	натриевый	0.37 ± 0.11 <u>0.18–0.44</u>	50.72 ± 12.75 <u>11.82–65.61</u> 6.9–8.5
Импактная зона загрязнения	Глубина 0–10 см	0.48 ± 0.03 <u>0.45–0.55</u>	слабая	сульфатный	натриевый	0.28 ± 0.08 <u>0.19–0.35</u>	52.02 ± 8.98 <u>11.53–68.12</u> 6.3–7.6
	Глубина 10–30 см	0.36 ± 0.09 <u>0.3–0.75</u>	слабая	сульфатный	натриевый	0.23 ± 0.04 <u>0.15–0.27</u>	43.47 ± 9.09 <u>4.43–50.23</u> 5.9–6.7

вого загрязнения создают возможность развития сопутствующего солончакового процесса наряду с основными процессами, формирующими профиль аллювиальных почв (дернового, аллювиального).

В связи с ежегодным увеличением площадей загрязненных земель, неоднократно предлагались технологии рекультивации засоленных участков, однако эти приемы приводят лишь к локальным улучшениям и не являются комплексными мероприятиями по восстановлению почв. Для техногенно засоленных почв не разработана общепринятая система критериев по оценке степени и опасности засоления и, как следствие, отсутствуют нормативы допустимого остаточного содержания солей после рекультивации. Эти параметры необходимы для мониторинга состояния рекультивированных участков после восстановительных работ. Основной целью систематического наблюдения является постоянный контроль над снижением степени засоления относительно исходного состояния, развитием потенциала самоочищения почв и восстановлением естественной флоры.

Исходя из анализа открытых литературных источников (Мустафаев и др., 2015; Фоминых, 2013; Широкова и др., 2007), полевых наблюдений и собственных лабораторных исследований, авторы предлагают рекомендации по рекультивации техногенно засоленных почв.

Для определения глубины проникновения солей, а также стадии засоления/рассоления почв перед началом рекультивационных работ предлагается заложить почвенный разрез. Целесообразно располагать его в пониженной части каскадно-геохимической системы ландшафтов – в зонах максимальной аккумуляции загрязнителей. Исследование миграции солей в почвенном разрезе даст возможность оценить глубину их проникновения, стадию засоления, запас солей и составить набор типовых мероприятий в технологической карте рекультивации. Это определит целесообразность проведения ремедиации почв и позволит оптимизировать набор подготовительных работ для конкретного загрязнения. Весь последующий комплекс работ предлагается разделить на три стандартных этапа: подготовительный, технический и биологический.

Подготовительный этап основан на готовых технических решениях по мелиорации почв и предложениях авторов, имеющих практический опыт рекультивации техногенно-засоленных почв (Мустафаев и др., 2015; Фоминых, 2013; Широкова и др., 2007). Первоочередная задача на этом этапе – создание благоприятных условий для ускорения рассоления почв. Для этого на всей площади засоленной территории необходимо обустроить систему временных дренажных траншей.

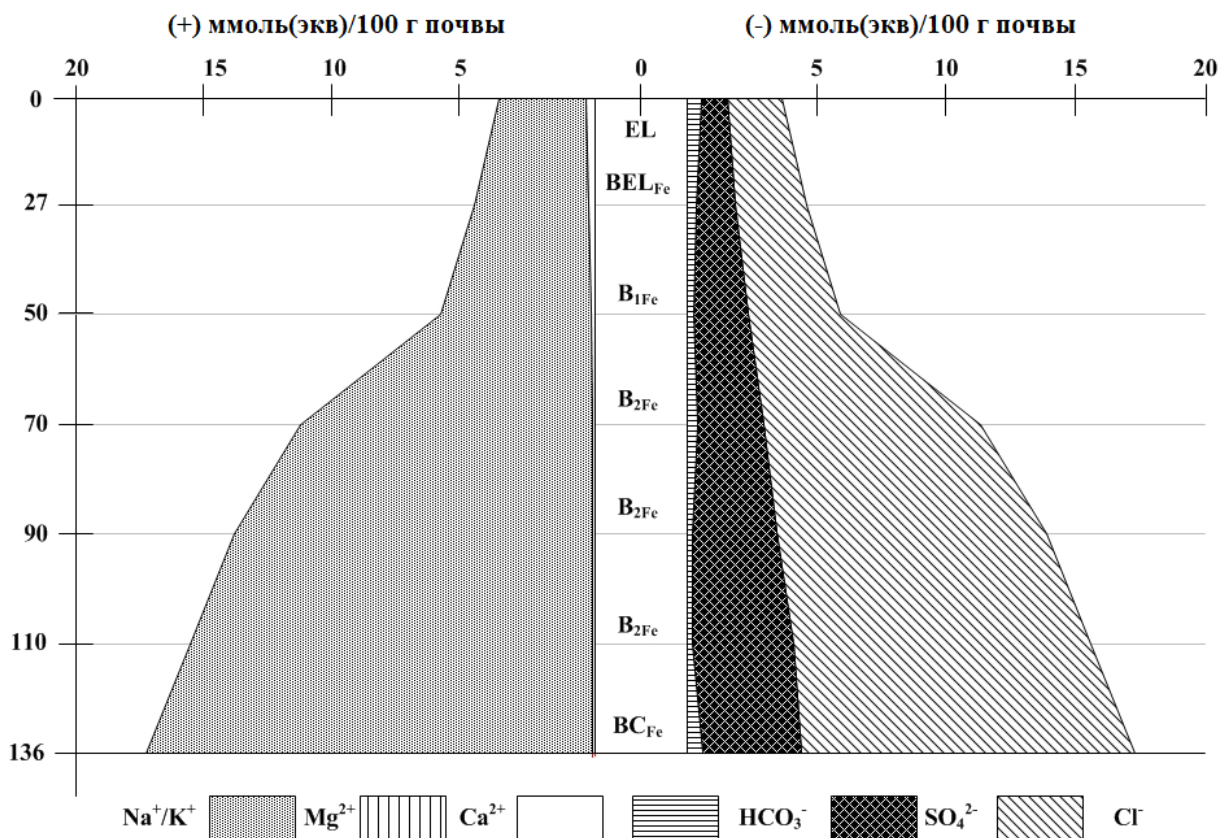


Рис. 1. Солевой профиль хемозема по подзолистой почве.

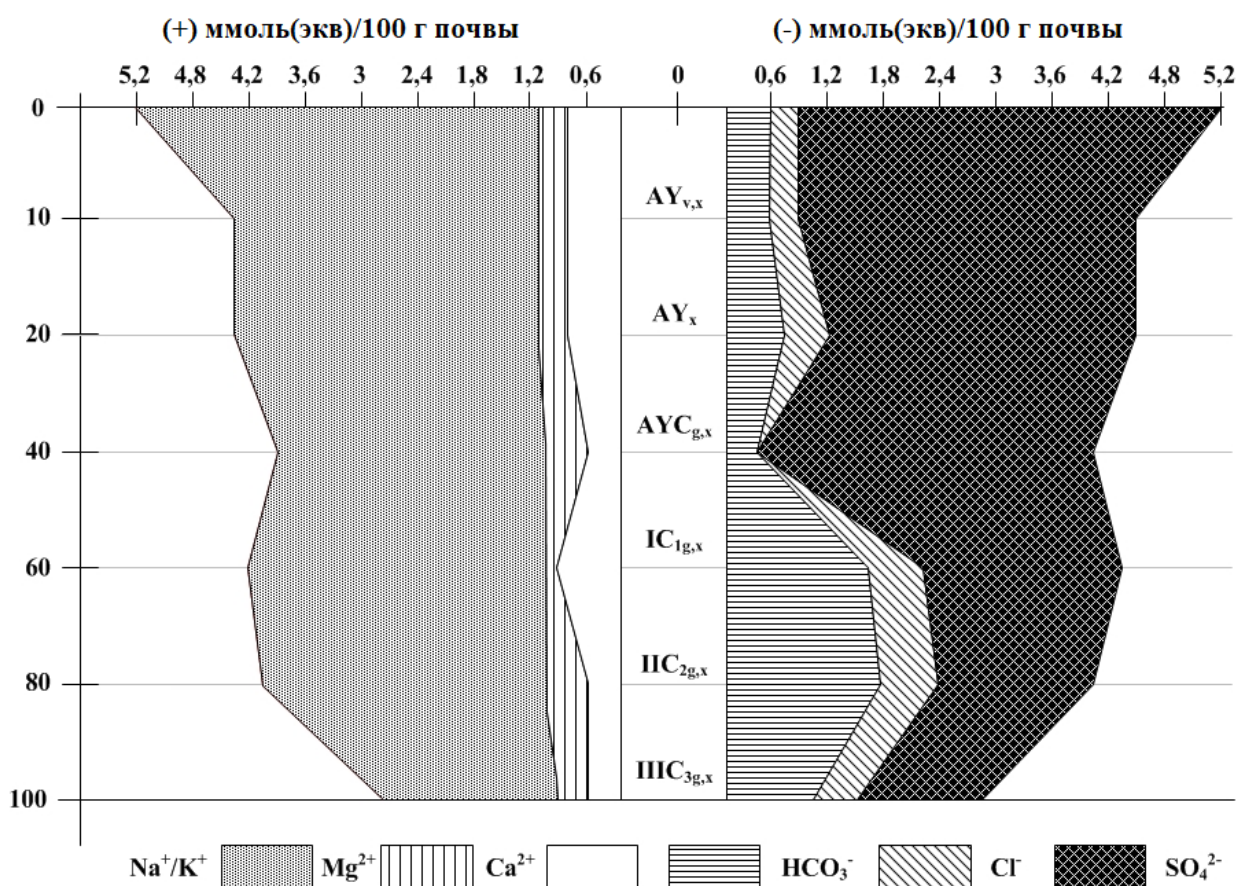


Рис. 2. Солевой профиль хемозема по аллювиальной почве.

Засоленные промывочные воды поступают в перехватывающую канаву, обустроенную по контуру загрязнения участка. Глубина дренажной канавы должна быть ниже уровня системы траншей. Во избежание лишних эксплуатационных вложений на полив техногенно засоленных почв пресными водами, систему траншей целесообразно дополнить размещением на участке снежных валов. Весной, при таянии запасенного в снежных валах снега, начнется постепенная промывка почвенного профиля талой водой и снижение концентрации солей в почвенном горизонте.

При многократной миграции солей в результате пульсации уровня грунтовых вод из нижней части почвенного профиля к корнеобитаемому слою существует риск образования в почвах новых соленасыщенных горизонтов и плотных соляных корок. Эти горизонты могут стать источником формирования в почвах новых соединений токсичных солей. Поэтому следующим этапом в рекультивации техногенно засоленных почв является технический комплекс работ по улучшению агрономического состояния почв с помощью фрезерования. Механическая обработка верхнего слоя почвы ускоряет поверхностный вынос солей, улучшает гранулометрический состав и водно-фи-

зические свойства почвы (влажность завядания растений, диапазон активной влаги).

При проведении биологического этапа рекультивации рекомендуется гипсование почв для устранения остаточного действия токсичных солей. В случае низкой обеспеченности почв питательными элементами (N, P, K) необходимо вносить минеральные удобрения с последующей фитомелиорацией участка растениями-галофитами. Важной особенностью рекультивации в условиях гумидного климата является использование аборигенной или адаптированной к местной природно-климатической обстановке растительности (представителей семейств Маревые, Подорожниковые, Злаковые). Применение всего комплекса восстановительных мероприятий позволит снизить содержание легкорастворимых солей до допустимых значений – не более 0.3 % в наиболее засоленном горизонте (Зайдельман, 2017).

Заключение

Сравнение двух типов загрязнения почв позволяет выявить следующие особенности. На разливах сырой нефти максимальное содержание солей приурочено только к верхним корнеобитаемым горизонтам, а в нижележащих горизонтах их

концентрации невелики. Ведущую роль в процессе фракционирования солей играют ионы SO_4^{2-} и Na^+ . В целом распределение солей в пределах почвенного профиля равномерное. В почвах, загрязненных минерализованными жидкостями, напротив, максимум солей смещен до глубины 130 см, формируя за счет интенсивного выноса Cl^- и Na^+ горизонт соленакопления. При этом в почвах каждого типа загрязнения создается возможность вторичного засоления почв. В свою очередь, это может привести к трансформации в техногенные поверхностные образования (ТПО) и техногенные солончаки. По естественным причинам (гумидный климат, промывной тип водного режима) на территории исследования данное явление невозможно.

Наблюдение за миграцией и аккумуляцией солей в антропогенно преобразованных почвах позволяет объективно оценить их экологическое состояние. Легкорастворимые соли, поступающие в экосистемы вследствие локальных аварийных ситуаций, аккумулируются в корнеобитаемом слое и оказывают токсическое действие на высшие растения. Токсичные соли также могут накапливаться в почвах на значительной глубине, способствуя вторичному засолению почв из-за дополнительного притока солей в верхние горизонты почв вследствие подъема грунтовых вод во время весенних паводков. Поэтому главной проблемой при сдаче рекультивированных участков контролирующим органам является сложность создания равномерного по густоте и площади растительного слоя. При разработке подходов и методов восстановления почв нефтесолевого загрязнения необходимо учитывать тип почв, характер загрязнения (степень засоления, химизм засоления и запас солей в почвенном профиле), тип загрязнителя (сырая нефть, минерализованные жидкости), а также положение почв в ландшафтно-геохимической картине. Учет всех этих параметров позволит завершить процессы восстановления почв.

ORCID

М.В. Носова  [0000-0001-7985-6474](https://orcid.org/0000-0001-7985-6474)

В.П. Середина  [0000-0002-7432-1726](https://orcid.org/0000-0002-7432-1726)

Список литературы

- Геннадиев, А.Н., 2016. Нефть и окружающая среда. *Вестник Московского университета. Серия 5. География* 6, 30–39.
- Зайдельман, Ф.Р., 2017. Мелиорация почв. Учебник. КДУ, Москва, Россия, 290 с.
- Мустафаев, Ж.С., Козыкеева, А.Т., Безбородов, Ю.Г., Карлыханов, Т.К., Абдешев, К.Б., 2015. Технология промывки засоленных почв с учетом экологического ограничения. *Международный научный форум «Проблемы управления водными и земельными ресурсами»*. Москва, Россия, 31–41.
- Середина, В.П., Андреева, Т.А., Алексеева, Т.П., Бурмистрова, Т.И., Терещенко, Н.Н., 2006. Нефтезагрязненные почвы: свойства и рекультивация. НИ ТПУ, Томск, Россия, 270 с.
- Середина, В.П., Колесникова, Е.В., Кондыков, В.А., Непотребный, А.И., Огнев, С.А., 2017. Особенности влияния нефтяного загрязнения на почвы средней тайги Западной Сибири. *Нефтяное хозяйство* 5, 108–112.
- Солнцева, Н.П., 2002. Эволюционные тренды почв в зоне техногенеза. *Почвоведение* 1, 9–16.
- Фоминых, Д.Е., 2013. Техногенное засоление почв как геоэкологический фактор при разработке нефтяных месторождений Среднего Приобья. *Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук*. Томск, Россия, 165 с.
- Широкова, Ю.И., Полуашова, Г., Ражабов, К., Кошекков, Р., 2007. Эффективность промывных поливов. *Международная научно-практическая конференция, посвященная 15-летию со дня создания Межгосударственной координационной Водохозяйственной Комиссии Центральной Азии (МКВК) «Исследования в сфере ирригации и дренажа»*. Алматы, Казахстан, 1–14.
- Шишов, Л.Л., Тонконогов, В.Д., Лебедева, И.И., Герасимова, М.И., 2004. Классификация и диагностика почв России. Ойкумена, Смоленск, Россия, 342 с.
- Capra, G.F., Ganga, A., Grilli, E., Vacca, S., Buondonno, A., 2015. A review on anthropogenic soils from a worldwide perspective. *Journal of Soils and Sediments* 15, 1602–1618.
- Nosova, M.V., Seredina, V.P., Rybin, A.S., 2020. Ecological state of technogeneously saline soil of oil-contaminated alluvial ecosystems and their remediation techniques. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 921, 1–7. (In Russian). <http://www.doi.org/10.1088/1757-899x/921/1/012018>
- Nosova, M.V., Seredina, V.P., Fedorchuk, I.M., 2021. Transformation features of the main physicochemical and physical parameters of oil-contaminated alluvial soils in humid soil formation environment (Western Siberia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 723, 1–6.

(In Russian). <http://www.doi.org/10.1088/1755-1315/723/5/052029>

Wiens, J.A., 2013. Oil in the environment: legacies and lessons of the Exxon Valdez oil spill. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 482 p.

World Reference Base for Soil Resources, 2014. IUSS Working Group WRB, World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, Italy, 181 p.

References

Capra, G.F., Ganga, A., Grilli, E., Vacca, S., Buondonno, A., 2015. A review on anthropogenic soils from a worldwide perspective. *Journal of Soils and Sediments* **15**, 1602–1618.

Fominikh, D.E., 2013. Tekhnogennoe zasolenie pochv kak geokologicheskij faktor pri razrabotke neftyanyh mestorozhdenij Srednego Priob'ya [Technogenic salinization of soils as a geoecological factor in the development of oil fields in the Middle Priobie]. *PhD dissertation in Geology and Mineralogy*. Tomsk, Russia, 165 p. (In Russian).

Gennadiev, A.N., 2016. Neft' i okruzhayushchaya sreda [Oil and the environment]. *Vestnik Moscovskogo universiteta. Seriya 5. Geographia [Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography]* **6**, 30–39. (In Russian).

Mustafaev, Zh.S., Kozykeeva, A.T., Bezborodov, Yu.G., Karlykhanov, T.K., Abdeshev K.B., 2015. Tekhnologiya promyvki zasolennykh pochv s uchetom ekologicheskogo ogranicheniya [Technology of washing saline soils taking into account environmental restrictions]. *Mezhdunarodnyj nauchnyj forum "Problemy upravleniya vodnymi i zemel'nymi resursami" [International scientific forum "Problems of water and land management"]*. Moscow, Russia, 31–41. (In Russian).

Nosova, M.V., Seredina, V.P., Rybin, A.S., 2020. Ecological state of technogeneously saline soil of oil-contaminated alluvial ecosystems and their remediation techniques. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* **921**, 1–7. (In Russian). <http://www.doi.org/10.1088/1757-899x/921/1/012018>

Nosova, M.V., Seredina, V.P., Fedorchuk, I.M., 2021. Transformation features of the main physicochemical and physical parameters of oil-contaminated alluvial soils in humid soil formation environment (Western Siberia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **723**, 1–6.

(In Russian). <http://www.doi.org/10.1088/1755-1315/723/5/052029>

Seredina, V.P., Andreeva, T.A., Alexeeva, T.P., Burmistrova, T.I., Tereshchenko, N.N., 2006. Neftezagryaznennyye pochvy: svoystva i rekul'tivaciya [Oil-contaminated soils: properties and reclamation] Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, 270 p. (In Russian).

Seredina, V.P., Kolesnikova, E.V., Kondykov, V.A., Nepotrebny, A.I., Ognev, S.A., 2017. Osobennosti vliyaniya neftyanogo zagryazneniya na pochvy srednej tajgi Zapadnoj Sibiri [Peculiarities of oil pollution impact on middle taiga soils in Western Siberia] *Neftyanoe hozyajstvo [Oil Industry]* **5**, 108–112. (In Russian).

Solntseva, N.P., 2002. Trends in soil evolution under technogenic impacts. *Eurasian Soil Science* **1**, 6–16.

Shirokova, Y.I., Poluashova, G., Rzhabov, K., Koshekov, R., 2007. Effektivnost' promyvnykh polivov [Efficiency of washing irrigations]. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya 15-letiyu so dnya sozdaniya Mezhdunarodnoy koordinatsionnoy Vodohozyajstvennoj Komissii Central'noj Azii (MKVK) "Issledovaniya v sfere irrigacii i drenazha" [International Scientific-Practical Conference Dedicated to the 15th Anniversary of the Interstate Coordination Water Management Commission of Central Asia (ICWC) "Research in the Field of Irrigation and Drainage"]*. Almaty, Kazakhstan, 1–14. (In Russian).

Shishov, L.L., Tonkonogov, V.D., Lebedeva, I.I., Gerasimova, M.I., 2004. Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of Russian soils]. Oykumena, Smolensk, Russia, 342 p. (In Russian).

Wiens, J.A., 2013. Oil in the environment: legacies and lessons of the Exxon Valdez oil spill. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 482 p.

World Reference Base for Soil Resources, 2014. IUSS Working Group WRB, World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, Italy, 181 p.

Zaidelman, F.R., 2017. Melioraciya pochv. Uchebnik [Soil reclamation. Textbook]. KDU, Moscow, 290 p. (In Russian).

Capra, G.F., Ganga, A., Grilli, E., Vacca, S., Buondonno, A., 2015. A review on anthropogenic soils from a worldwide perspective. *Journal of Soils and Sediments* **15**, 1602–1618.