УДК 504.064 DOI: 10.5281/zenodo.20799760 EDN: EPDKRO

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ТЕХНОГЕННО-ЗАСОЛЁННЫХ ПОЧВ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: ОБЗОР МЕТОДОВ И СОБСТВЕННЫЙ ОПЫТ

© 2026. ***М. В. Носова, В. П. Середина, С. А. Стовбуник***

В статье представлена разработка и успешная реализация комплексной системы рекультивации техногенно-засоленных почв, основанной на тщательном анализе существующих методов рекультивации, а также отечественного и зарубежного опыта в области восстановления почв. Рекультивация была организована в три этапа: подготовительный, технический и биологический, каждый из которых включал определенные мероприятия для эффективного устранения засоления. На подготовительном этапе (2010–2011 гг.) была проведена установка системы дренажных канав, что способствовало вымыванию солей из почвы. Для дополнительного промывания использовалась методика формирования снежных валов, что позволило значительно снизить концентрацию хлорид-ионов к 2015 году. На техническом этапе (2011–2013 гг.) применялись гипсовые удобрения, а также механизированная обработка почвы, что способствовало улучшению ее структуры. Биологический этап (2013–2015 гг.) включал внесение семян солетолерантных растений, что способствовало восстановлению растительности на участке ЗУ–1 на уровне 90 %. Однако на участке ЗУ–2 восстановление растительности не произошло, что подчеркивает необходимость дальнейшей адаптации и доработки методов рекультивации для сильно загрязненных территорий. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности предложенной системы рекультивации, что открывает перспективы для ее применения на других техногенно-засоленных участках.

Ключевые слова: загрязнение почв, рекультивация, техногенно-засоленные почвы, дренаж, гипсовые удобрения, солетолерантные растения.

Введение. Техногенное засоление почв является одной из самых актуальных и масштабных экологических проблем, затрагивающих большое количество территорий в России. Проблема засоления почв обусловлена воздействием различных антропогенных факторов, в первую очередь, загрязнением почвы нефтяными продуктами, химическими веществами, а также неправильным использованием природных ресурсов. В частности, в среднетаёжной подзоне Западной Сибири техногенные процессы, связанные с деятельностью нефтедобывающих компаний, приводят к накоплению солей в верхних горизонтах почвы, что существенно снижает её плодородие и ухудшает экологическое состояние территории.

Масштаб проблемы техногенного засоления почв в Западной Сибири требует комплексного подхода к исследованию и разработке методов восстановления. В настоящее время, существует дефицит нормативных актов и комплексных методик, направленных на решение проблемы засоления почв. Существующие государственные и региональные программы в основном ориентированы на регулирование водных экосистем и их защиты, тогда как вопрос засоления почв остаётся недостаточно проработанным на уровне законодательных актов и природоохранных мероприятий.

В исследовательской практике есть работы, которые рассматривают техногенное загрязнение почв и его последствия для экосистем Западной Сибири. Например, исследование Носовой М. В. [1] описывает влияние нефтесолевого загрязнения на почвы поймы реки Оби, где в результате воздействия нефтепродуктов и минерализованных вод произошло существенное ухудшение качества почв, что

потребовало применения комплексных методов рекультивации. Также работа Геннадиева А. Н. [2] подчеркивают важность мониторинга и разработки новых технологий очистки почв, чтобы предотвратить их деградацию, особенно в условиях техногенных загрязнений.

Одним из ключевых аспектов в решении проблемы является понимание процессов техногенного галогенеза – накопления хлоридов и других растворимых солей в почвах, что приводит к ухудшению их структуры. Работа Серединой В. П. и её коллег [3] показывает, что применение комплексных методов, включая внесение гипса и органических веществ, помогает существенно снизить концентрацию солей и восстановить почву.

Цель исследования – изучить особенности техногенного галогенеза в почвах среднетаёжной подзоны Западной Сибири и оценить эффективность различных методов рекультивации техногенно-засолённых почв, с акцентом на изменения концентрации хлорид-ионов в процессе восстановления.

Материал и методы исследований. Отбор почвенных проб для химического анализа является важнейшей процедурой при оценке степени техногенного засоления, а также для мониторинга эффективности рекультивационных мероприятий. Для получения объективных данных, пробы почвы на загрязнённом участке отбирались в несколько этапов: как во время проведения восстановительных работ, так и в процессе длительного мониторинга. Это позволяло отслеживать динамику изменения состояния почвы и оценить долгосрочную эффективность применённых мер.

Одним из ключевых этапов было использование метода объединённой пробы, которая состояла из 30 точечных проб (ГОСТ 17.4.3.01-2017 и ГОСТ 17.4.4.02-2017) Точечные пробы отбирались равномерно по всему исследуемому участку. Глубина отбора составляла 30 см, что охватывает корнеобитаемый слой почвы и является оптимальным для оценки состояния зоны, где протекает наиболее интенсивная биологическая активность.

Для подготовки проб и проведения анализа содержания легкорастворимых солей в водной вытяжке использовался ГОСТ 26423-85. Определение концентрации хлорид-ионов проводилось по ГОСТ 26425-85. Помимо хлорид-ионов в почве определялись нефтепродукты флуориметрическим методом (ПНД Ф 16.1:2.21–98).

Объектом исследования являлись почвы, загрязнённые минерализованными сеноманскими водами. Загрязнение произошло в результате аварийного отказа водовода высокого давления на водораздельной равнине левобережья реки Оби. Площадь загрязнённого участка составила 0,6 га (ЗУ–1). Возникновение очага загрязнения привело к накоплению солей в почве, что повлияло на её агрохимические свойства, снизив плодородие и нарушив экологическое равновесие. В дальнейшем данный участок послужил опытной площадкой, где были проведены рекультивационные работы. Рекультивационные мероприятия, реализованные на исследуемой площадке, включали совокупность приёмов, направленных на снижение засоленности, улучшение структуры почвы и восстановление растительного покрова. При этом использовались известные решения, адаптированные под локальные условия, включая регулирование поверхностного стока, внесение минеральных компонентов и использование солеустойчивых растений. Изучение этого участка позволило получить данные о процессе восстановления почвы после воздействия техногенных факторов (аварийных ситуация на водоводе) и выявить возможные пути её реабилитации. Контрольным объектом исследования послужил соседний участок (ЗУ–2) площадью 0,2 га, загрязненный минерализованными жидкостями, где мероприятия по восстановлению почв не проводились (табл. 1).

Таблица 1

Объекты исследования

Горизонт	Глубина (см)	Описание горизонта	Растительный покров	Количество проб
ЗУ–1: Хемоземы техногенно-засоленные по подзолистой почве [4] *(Chloridictechnic Salictechnic Gleyic Podzol [5])*				
$OT_{s,x}$	0–7	Тёмно-серый, структура – органо-минеральная, в основном аморфная, с наличием разложившихся растительных остатков. На поверхности почвы присутствуют белые кристаллы солей.	Берёза повислая *(Betula pendula* Roth, 1788), осина обыкновенная *(Populus tremula* L., 1753*)*, ива белая *(Salix alba* L., 1753*)*, хвощ полевой *(Equisetum arvense* L., 1753*)*, мятлик луговой *(Poa pratensis* L., 1753*)*	510 точечных / 17 объединённых
$EL_{s,x}$	7–30	Светло-серый. Горизонт уплотнен, присутствуют белые выцветы солей.	–	
ЗУ–2: Хемоземы техногенно-засоленные по подзолистой почве [4] *(Chloridictechnic Salictechnic Gleyic Podzol [5])*				
$OT_{s,x}$	0–7	Тёмно-серый, структура – органо-минеральная, в основном аморфная, с наличием разложившихся растительных остатков. На поверхности почвы присутствуют белые кристаллы солей.	Берёза повислая *(B. pendula)*, осина обыкновенная *(P. tremula)*, ива белая *(S. alba)*, хвощ полевой *(E. arvense)*, мятлик луговой *(P. pratensis)*	330 точечных / 11 объединённых
$EL_{s,x}$	7–30	Светло-серый. Горизонт уплотнен, присутствуют белые выцветы солей.	–	

Почвы обоих участков характеризуются высокой засолённостью, однако почва под номером 2 имеет более выраженную степень загрязненности минерализованными солями, что сказывается на растительном покрове и общем состоянии почвы. В условиях этих почв растительность ограничена в основном солеустойчивыми видами, и типичный для таких территорий растительный комплекс значительно изменён по сравнению с природными экосистемами региона.

С целью мониторинга динамики изменений почвы и оценки состояния экосистемы в постзагрязнённой зоне проводились регулярные химические (содержание хлорид-ионов и нефтепродуктов) и биологические анализы (восстановление проективного покрытия). Результаты этих исследований стали основой для разработки рекомендаций по улучшению состояния почвы и предотвращению дальнейшего ухудшения её качества.

Результаты и обсуждение. Рекультивация техногенно-засоленных почв является одной из важнейших задач в экологическом восстановлении земель, пострадавших от антропогенной деятельности. Засоление почв возникает в результате избыточного поступления солей, что приводит к ухудшению их физико-химических свойств и снижению плодородия. Для эффективной борьбы с этим явлением разработано множество методов, как традиционных, так и современных, каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и ограничения. Перед разработкой собственной методики рекультивации почв был выполнен анализ существующих способов восстановления техногенно-засоленных почв. Далее кратко рассмотрим их.

Одним из самых распространённых методов является использование гипсования почвы. Гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) вносится в почву с целью снижения концентрации натрия, который является одним из основных виновников засоления. Гипс помогает обменивать ионы натрия на кальций, что способствует улучшению структуры почвы и увеличению её водопроницаемости. Этот метод активно используется в странах с засушливыми климатическими условиями, например, в Австралии и США, где большие площади почв подверглись засолению в результате ирригации [6].

Другим популярным способом является применение различных сорбентов. К таким сорбентам относятся природные и искусственные цеолиты. Они имеют уникальную способность удерживать ионы, что способствует снижению концентрации солей в почве. На практике в ряде стран, таких как Турция и Египет, успешно применяют натрий цеолитовые препараты для восстановления почв, подвергшихся засолению в результате использования воды с высоким содержанием солей [7].

Биологический метод рекультивации также набирает популярность. Один из вариантов заключается в использовании различных видов растений, устойчивых к солям, таких как солеросы или астрагалы. Эти растения не только выживают в условиях засоления, но и могут способствовать снижению концентрации солей через корневую систему. Существуют примеры успешного восстановления засолённых земель в Израиле и в Казахстане, где активно используют такие растения для восстановления почв. Также применяются методы, связанные с улучшением почвенной микробиоты, например, с использованием микроорганизмов, способных расщеплять соли и уменьшать их содержание. Микробиологические препараты на основе штаммов *Azotobacter* или *Pseudomonas*, нашли широкое применение в сельском хозяйстве, например, в Индии и Южной Африке [8].

Физические методы рекультивации, такие как промывка почвы, включают в себя процессы вымывания солей с помощью воды. Однако такой метод требует значительных объёмов водных ресурсов и может быть экономически нецелесообразен в условиях ограниченных водных ресурсов, как это наблюдается в странах Ближнего Востока. Для снижения негативных последствий такого способа можно применять ультразвуковое воздействие, которое помогает улучшить структуру почвы и ускорить процесс вымывания солей, что подтверждается исследованиями в лабораториях и на полевых участках в Японии [9].

В последние десятилетия появились более высокотехнологичные методы, такие как электрофорез и электролиз, которые предполагают использование электрического поля для перемещения ионов солей в почве. Электрофорез активно исследуется в России, где применяются электрофильтры для улучшения структуры почвы, что приводит к снижению её засоленности. Этот метод особенно перспективен для малых и средних участков, где традиционные методы оказываются неэффективными.

Применение органических веществ, таких как компосты или гуматы, улучшает водоудерживающую способность почвы, способствует развитию полезной микрофлоры и уменьшает негативное воздействие солей. Например, в Казахстане активно используются органические добавки в рамках комплексной программы по рекультивации засолённых земель, что дало положительные результаты для восстановления сельскохозяйственного потенциала [10].

Порой для рекультивации техногенно-засолённых почв применяют метод биоремедиации, заключающийся в использовании микроорганизмов для восстановления почвы. Некоторые виды бактерий, например *Bacillus* и *Pseudomonas*, способны переводить токсичные соли в менее токсичные формы, что приводит к

улучшению состояния почвы. Этот метод активно используется в Европе, где на базе университетов и научных лабораторий разработаны биопрепараты для восстановления засолённых земель [11].

Кроме того, для долгосрочной рекультивации почв важно соблюдение грамотного агротехнического подхода. Одним из таких методов является агролесоводство, когда на засолённых участках высаживаются многолетние культуры и лесные растения, которые помогают снижать уровень соли в почве и стабилизируют её структуру. В Казахстане и в Средней Азии такой подход активно используется для восстановления земель, пострадавших от орошения.

Современные методы рекультивации включают также использование новых наноматериалов и нанотехнологий. Например, наноразмерные порошки, обладающие высокой сорбционной способностью, могут быть использованы для удаления солей и других токсичных веществ из почвы. Это инновационное направление активно исследуется в России и Китае [12].

Восстановление почв, подвергшихся техногенному засолению, требует применения многоуровневого подхода, учитывающего специфику ландшафта, климат и характер загрязнения. Анализ литературных источников показал, что наиболее устойчивыми результатами характеризуются мероприятия, в которых сочетаются гидромелиоративные, агрохимические и биологические методы. При этом важно не столько использование новейших технологий, сколько адаптация проверенных решений под конкретные почвенно-климатические условия.

В рамках работы была реализована последовательность мероприятий, направленных на стабилизацию водного режима, снижение концентрации растворимых солей и запуск процессов восстановления растительного покрова. Ключевыми этапами выступали: организация отвода избыточной влаги с засоленных участков; регулирование ионного баланса почвы с помощью известных химических приёмов; применение устойчивых к солям форм растительности в биологическом контуре рекультивации. Данные были частично опубликованы в более ранних работах авторов [13] (табл. 2).

Таблица 2

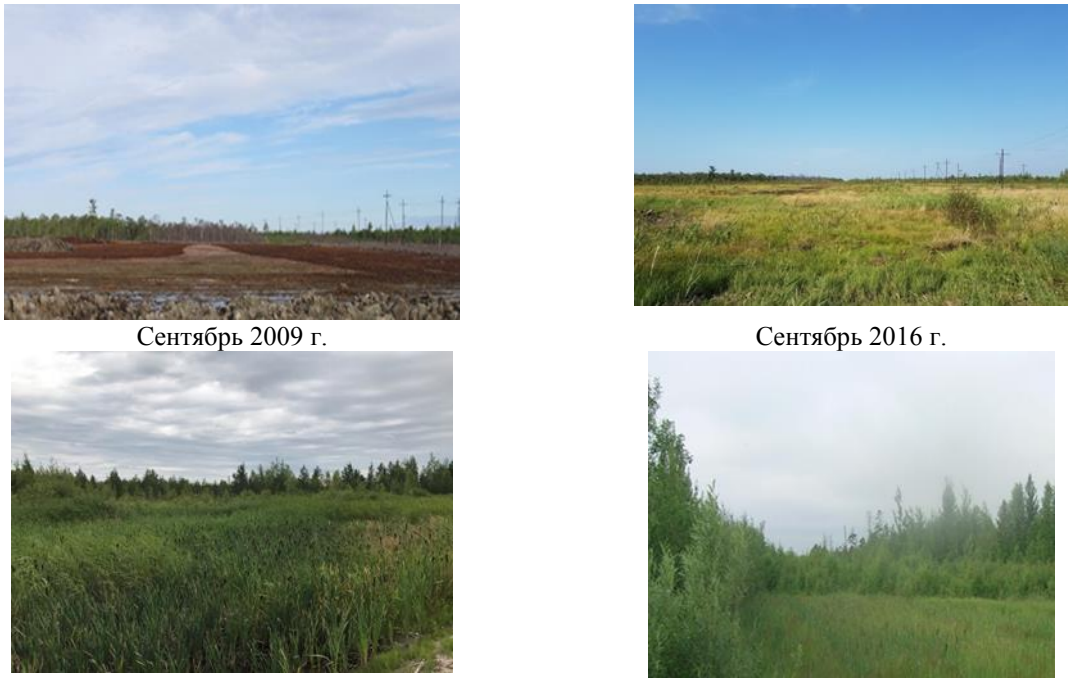
Результаты эксперимента по восстановлению техногенно-засоленных почв в объединённой пробе

Этап	Временной промежуток	Содержание загрязняющих веществ				Восстановление растительного покрова, %	
		НП, г/100 г почвы		Хлорид-ионы, ммоль(экв)/100 г почвы			
		ЗУ–1	ЗУ–2	ЗУ–1	ЗУ–2	ЗУ–1	ЗУ–2
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
начало ОПИ	Сентябрь 2009	≤ 2,5	≤ 2,5	66 870	100 530	отсутствует	
подготови-тельный	Сентябрь 2010	≤ 2,5	–	30 260	–		
	Июнь 2011	≤ 2,5	–	8 600	–		
технический	Сентябрь 2011	≤ 2,5	–	8 840	–		
	Сентябрь 2011	≤ 2,5	–	6 220	–		
	Май 2012	≤ 2,5	–	7 000	–		
биологи-ческий	Июнь 2013	≤ 2,5	–	1 590	–		
мониторинг	Август 2014	≤ 2,5	≤ 2,5	2 810	51 260	35–40 %	отсутствует
	Сентябрь 2015	≤ 2,5	≤ 2,5	1 300	–		

Продолжение табл. 2

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
	Август 2016	≤ 2,5	≤ 2,5	440	–		отсутствует
	Август 2017	≤ 2,5	≤ 2,5	280	–	40–70 %	
	Август 2018	≤ 2,5	≤ 2,5	110	–		
	Август 2019	≤ 2,5	≤ 2,5	80	–		
	Август 2020	≤ 2,5	≤ 2,5	50	–	70–85 %	
	Август 2021	≤ 2,5	≤ 2,5	30	–		
	Август 2022	≤ 2,5	≤ 2,5	20	40 060	85 %	
	Август 2023	≤ 2,5	≤ 2,5	10	39 850	90 %	

Комплекс мероприятий по восстановлению почвенного покрова был реализован поэтапно (рис. 1) с использованием адаптированного набора подходов, соответствующих условиям среднетаёжной подзоны. На первом этапе, в 2010–2011 гг., основное внимание было уделено регулированию водного режима участка ЗУ–1. Были применены дренажные решения, обеспечившие локальное снижение засоленности за счёт естественного промывания почвенных горизонтов.



Сентябрь 2009 г. Сентябрь 2016 г.

Сентябрь 2019 г. Сентябрь 2023 г.

Рис. 1. Изменения участка ЗУ–1 в ходе проведения рекультивационных мероприятий

К осени 2011 года на фоне проводимых мероприятий отмечено существенное снижение концентрации хлорид-ионов. После стабилизации показателей на участке проведено выравнивание рельефа и закрытие дренажной сети.

В 2011–2013 гг. реализация технического этапа включала внесение агрохимических компонентов, традиционно применяемых в мелиорации засолённых почв, а также механическую обработку для улучшения структуры грунта. Эти действия способствовали повышению водопроницаемости и снижению плотности почвы.

Биологический этап (2013–2015 гг.) был направлен на восстановление растительного покрова. Мониторинг показал, что в 2015 году наблюдалось кратковременное повышение солености, связанное с вертикальной миграцией солей.

Это подтвердило важность продолжения биологических и мелиоративных мероприятий. К 2023 году концентрация хлорид-ионов в верхнем горизонте почвы на участке ЗУ–1 снизилась до минимальных значений, а степень зарастания местной растительностью приблизилась к 90 %. В то же время на контрольном участке ЗУ–2 сохранялась высокая степень засоления и отсутствие растительного покрова, что подчёркивает необходимость применения комплекса восстановительных мер. Кроме того, реализация описанного комплекса мероприятий имеет значительный эколого-экономический эффект, который подтверждается проведенными расчетами [14, 15].

Выводы. В результате реализации разработанной системы рекультивации техногенно-засоленных почв удалось значительно снизить концентрацию хлорид-ионов и восстановить естественное биоразнообразие на рекультивируемых участках. Комплекс мероприятий, включающий дренажные работы, внесение гипсовых и минеральных удобрений, а также использование солетолерантных растений, позволил эффективно справиться с проблемой почвенного засоления. На участке ЗУ–1 к 2023 году концентрация хлорид-ионов снизилась до минимального уровня, а степень зарастания местной растительностью достигла 90 %. В то же время, на участке ЗУ–2, не наблюдается восстановление растительности.

Результаты демонстрируют, что мероприятия, ориентированные на стабилизацию водного режима, коррекцию солевого состава и биологическое восстановление, могут быть успешно использованы при рекультивации загрязнённых участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Носова М.В. Влияние нефтесолевого загрязнения на экологическое состояние почв поймы реки Оби в условиях среднетаежной подзоны Западной Сибири: дис. … канд. биол. наук. – Томск., 2024. – 213 с.
2. Геннадиев А.Н. Нефть и окружающая среда // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. – 2016. – № 6. – С. 30–39.
3. Середина В.П., Андреева Т.А., Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Терещенко Н.Н. Нефтезагрязнённые почвы: свойства и рекультивация. – Томск : Изд-во ТПУ, 2006. – 270 с.
4. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: ООО Ойкумена, 2004. – 342 с.
5. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS). – Vienna, Austria, 2022. – 236 p.
6. Корольков В.И. Гипсование почв как метод борьбы с засолением // Почвоведение. – 2012. – № 10. – С. 55–62.
7. Öztürk M. The use of zeolites and other sorbents for soil reclamation / M. Öztürk, I. Çelik, C. Kaya // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. – 2018. – Vol. 18, N 4. – P. 1000–1010.
8. Singh S. Microbial approaches for the reclamation of saline soils / S. Singh, A. Choudhury, P. Sharma // Environmental Sustainability. – 2020. – Vol. 2, N 2. – P. 119–132.
9. Kobayashi Y. Electrophoresis and electrolysis as advanced methods for soil salinity management / Y. Kobayashi, Y. Tanaka, M. Saito // Soil Science and Plant Nutrition. – 2015. – Vol. 61, N 6. – P. 523–530.
10. Яковлева А.Н. Использование органических удобрений при рекультивации засолённых почв Казахстана // Технологии сельского хозяйства. – 2019. – № 11. – С. 134–142.
11. Pivato A. Bioremediation of saline soils using bacteria and fungi / A. Pivato, A. Turrini, E. Bellini // International Journal of Phytoremediation. – 2016. – Vol. 18, N 7. – P. 665–673.
12. Chen X. Nanomaterials for the reclamation of saline-alkaline soils: Recent advances and future prospects / X. Chen, Z. Zhang, H. Liu // Environmental Pollution. – 2020. – Vol. 259. – P. 113775.
13. Носова М.В. Опыт проведения локальных рекультивационных мероприятий по восстановлению техногенно-засоленных почв / М.В. Носова, В.П. Середина, С.А. Стовбуник // Принципы экологии. 2024. – № 3. – С. 64–73.
14. Носова М. В. Сравнительная характеристика свойств нефтезагрязненных и техногенно-засоленных почв в условиях Западной Сибири / М. В. Носова, В. П. Середина, С. А. Стовбуник // Вестник

Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2025. – № 1. – С. 127–137. – DOI: 10.5281/zenodo.14923475.
15. Носова М. В. Эколого-экономическая оценка эффективности внедрения мероприятий по рекультивации техногенно-засоленных почв / М. В. Носова, В. П. Середина, С. А. Стовбуник // Вестник национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2025. – № 4. – С. 130–137. – DOI: 10.5281/zenodo.17200022.

REFERENCES

1. Nosova, M.V. (2024) *Vliyanie neftesolevogo zagryazneniya na ekologicheskoe sostoyanie pochv pojmy reki Obi v usloviyakh srednetaezhnoj podzony Zapadnoj Sibiri.* PhD (Biological Sciences) thesis. Tomsk. 213 p. (In Russian).
2. Gennadiev, A.N. (2016) Neft i okruzhayushchaya sreda. *Vestnik Moskovskogo universiteta.* Seriya 5. Geografiya. 6, 30–39. (In Russian).
3. Seredina, V.P., Andreeva, T.A., Alekseeva, T.P., Burmistrova, T.I. & Tereshchenko, N.N. (2006) *Neftezagryaznennye pochvy: svojstva i rekultivaciya.* Tomsk, TPU Publishing House. 270 p. (In Russian).
4. Shishov, L.L., Tonkonogov, V.D., Lebedeva, I.I. & Gerasimova, M.I. (2004) Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii. Smolensk, Oikumena LLC. 342 p. (In Russian).
5. IUSS Working Group WRB (2022) *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.* 4th ed. Vienna, Austria, International Union of Soil Sciences (IUSS). 236 p.
6. Korolkov, V.I. (2012) Gipsovanie pochv kak metod borby s zasoleniem. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science.* 10, 55–62. (In Russian).
7. Öztürk, M., Çelik, I. & Kaya, C. (2018) The use of zeolites and other sorbents for soil reclamation. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 18 (4), 1000–1010.
8. Singh, S., Choudhury, A. & Sharma, P. (2020) Microbial approaches for the reclamation of saline soils. *Environmental Sustainability*. 2 (2), 119–132.
9. Kobayashi, Y., Tanaka, Y. & Saito, M. (2015) Electrophoresis and electrolysis as advanced methods for soil salinity management. *Soil Science and Plant Nutrition*. 61 (6), 523–530.
10. Yakovleva, A.N. (2019) Ispolzovanie organicheskikh udobrenij pri rekultivacii zasolyonnykh pochv Kazakhstana. *Tekhnologii selskokhozyajstva.* 11, 134–142. (In Russian).
11. Pivato, A., Turrini, A. & Bellini, E. (2016) Bioremediation of saline soils using bacteria and fungi. *International Journal of Phytoremediation.* 18 (7), 665–673.
12. Chen, X., Zhang, Z. & Liu, H. (2020) Nanomaterials for the reclamation of saline‐alkaline soils: Recent advances and future prospects. *Environmental Pollution.* 259, 113775.
13. Nosova, M.V., Seredina, V.P. & Stovbunik, S.A. (2024) [Experience in conducting local reclamation measures for the restoration of technogenically saline soils]. *Principles of Ecology.* 3, 61–71, doi: 10.15393/j1.art.2024.14964. (In Russian).
14. Nosova, M.V., Seredina, V.P. & Stovbunik, S.A. (2025) Comparative characteristics of the properties of oil-contaminated and technogenically saline soils in the middle taiga subzone of Western Siberia. *Bulletin of Donetsk National University. Series A. Natural sciences. 1*, 127–137, doi: 10.5281/zenodo.14923475. (In Russian).
15. Nosova, M.V., Seredina, V.P. & Stovbunik, S.A. (2025) Ecological and economic efficiency of reclamation of technogenically saline soils. *Bulletin of Donetsk National University. Series A. Natural sciences. 4*, 130–137, doi: 10.5281/zenodo.17200022. (In Russian).

EFFECTIVENESS OF RECULTIMATION MEASURES FOR RESTORATION OF TECHNOGENIC-SALINATED SOILS IN THE MIDDLE TAIGA SUBZONE OF WESTERN SIBERIA: REVIEW OF METHODS AND OWN EXPERIENCE

M. V. Nosova, V. P. Seredina, S. A. Stovbunik

The article presents the development and successful implementation of a comprehensive system for the reclamation of technogenically saline soils based on a thorough analysis of existing reclamation methods, as well as domestic and foreign experience in the field of soil restoration. The reclamation was organized in three stages: preparatory, technical and biological, each of which included certain measures to effectively eliminate salinization. At the preparatory stage (2010–2011), a drainage canal system was installed, which contributed to

the leaching of salts from the soil. For additional leaching, a snow bank formation technique was used, which made it possible to significantly reduce the concentration of chloride ions by 2015. At the technical stage (2011–2013), gypsum fertilizers were used, as well as mechanized soil cultivation, which contributed to the improvement of its structure. The biological stage (2013–2015) included the introduction of salt-tolerant plant seeds, which contributed to the restoration of vegetation in the ZU-1 area at a level of 90%. However, in the ZU-2 area, despite the high level of salinity, vegetation restoration did not occur, which emphasizes the need for further adaptation and refinement of reclamation methods for heavily contaminated areas. The results obtained indicate the high efficiency of the proposed reclamation system, which opens up prospects for its application in other man-made saline areas.

Keywords: soil pollution, reclamation, technogenically saline soils, drainage, gypsum fertilizers, salt-tolerant plants.

Поступила в редакцию 07.05.2026 г.

Носова Мария Владимировна
кандидат биологических наук,
специалист по экологической безопасности,
ООО «Сахалинская Энергия», г. Южно-Сахалинск, РФ.
E-mail: *nsmvsh@mail.ru*
ORCID: 0000-0001-7985-6474
AuthorID: 1043987

Nosova Maria Vladimirovna
Candidate of Biological Sciences;
environmental protection specialist,
Sakhalin Energy LLC, Yuzhno-Sakhalinsk, RF.

Середина Валентина Петровна
доктор биологических наук,
профессор кафедры почвоведения и экологии почв,
Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, РФ.
E-mail: *seredina_v@mail.ru*
ORCID: 0000-0002-7432-1726
SPIN-код: 3383-2731
AuthorID: 434107

Seredina Valentina Petrovna
Doctor of Biological Sciences;
Professor of the Department of Soil Science and Soil Ecology of the National Research Tomsk State University, Tomsk, RF.

Стовбуник Сергей Анатольевич
главный специалист Управления экологии,
ООО «РН-Проектирование Добыча», г. Томск, РФ.
E-mail: *StovbunikSA@rn-pd.rosneft.ru*

Stovbunik Sergey Anatolievich
Chief Specialist of the Ecology Department of RN-Design Extraction LLC, Tomsk, RF.