



ЭКОЛОГИЯ/ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.15>

EDN: ZTKORF

ФИТОРЕМЕДИАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СОИ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ЧЕРНОЗЕМА НЕФТЕПРОДУКТАМИ В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Научная статья

Попова И.С.¹, Логутенкова П.А.², Первышина Г.Г.^{3,*}¹ORCID : 0000-0002-9099-9537;³ORCID : 0000-0001-5880-5395;^{1,2} Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Российская Федерация³ Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (gpervyshina[at]sfu-kras.ru)

Предложена: 15.07.2026; Принята: 06.08.2026; Опубликовано: 19.08.2026

Аннотация

В процессе выполнения исследований проведена оценка влияния различных доз нефтепродуктов на биометрические параметры и продуктивность сои сорта ЭОС, а также изучена динамика содержания нефтепродуктов в чернозёме выщелоченном. Дана оценка фиторемедиационного потенциалу сои на основе интегральных индексов толерантности, очистки и эффективности фиторемедиации. Проведен анализ целесообразности использования сои для восстановления нефтезагрязнённых почв в условиях Красноярской лесостепи. Максимальная высота растений зафиксирована в контроле; при дозе 5000 мг/кг она снижается на 30%. Наибольшее количество бобов на одном растении отмечено при дозе 3000 мг/кг. Наибольшая степень очистки почвы (60%) достигнута при исходной концентрации нефтепродуктов 3000 мг/кг (остаточное содержание — 1200 мг/кг); при 1000 мг/кг эффективность составила 50%, при 5000 мг/кг — 30%. Индекс эффективности фиторемедиации максимален (54,8%) при дозе 3000 мг/кг, индекс толерантности во всех вариантах превысил 85%.

Ключевые слова: соя сорта ЭОС, чернозем выщелоченный, поллютанты, нефтепродукты, Красноярская лесостепь.

THE PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF SOYBEANS IN CASES OF OIL PRODUCT CONTAMINATION OF BLACK SOIL IN THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE REGION

Research article

Popova I.S.¹, Logutenkova P.A.², Pervishina G.G.^{3,*}¹ORCID : 0000-0002-9099-9537;³ORCID : 0000-0001-5880-5395;^{1,2} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation³ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (gpervyshina[at]sfu-kras.ru)

Suggested: 15.07.2026; Accepted: 06.08.2026; Published: 19.08.2026

Abstract

During the research, an evaluation was carried out of the effect of various doses of petroleum products on the biometric parameters and yield of the EOS soybean variety, and the dynamics of petroleum product content in leached black soil were studied. The phytoremediation potential of soybeans was assessed on the basis of integrated indices of tolerance, remediation and phytoremediation efficiency. An analysis was carried out to determine the suitability of using soybeans for the restoration of oil-contaminated soils in the Krasnoyarsk forest-steppe region. The maximum plant height was recorded in the control; at a dose of 5,000 mg/kg, it decreased by 30%. The highest number of pods per plant was observed at a dose of 3,000 mg/kg. The highest degree of soil remediation (60%) was achieved at an initial concentration of petroleum products of 3,000 mg/kg (residual content — 1,200 mg/kg); at 1,000 mg/kg, the efficiency was 50%, and at 5,000 mg/kg, it was 30%. The phytoremediation efficiency index was highest (54.8%) at a dose of 3,000 mg/kg, whilst the tolerance index exceeded 85% in all variants.

Keywords: EOS soybean variety, leached black soil, pollutants, petroleum products, Krasnoyarsk forest-steppe.

Введение

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами в условиях Красноярской лесостепи приводит к их глубокой деградации, как с точки зрения физико-химических свойств, так и к нарушению гидрологического режима, снижению микробиологической активности и, как следствие, потере плодородия [1], [2], [19]. Особую уязвимость к техногенному прессингу проявляют черноземы выщелоченные, которые составляют основу агроклиматического потенциала Красноярского края, в условиях которого процессы естественного самоочищения таких почв протекают крайне медленно, что требует внедрения эффективных и экологически безопасных методов их детоксикации.

В последние годы многие исследователи [3], [4], [6], [7], [8] отмечают в качестве перспективного направления восстановления загрязненных территорий фиторемедиацию, поскольку растения-фиторемедианты способны не только

аккумулировать поллютанты, но и за счет корневых выделений стимулировать развитие коренных почвенных микроорганизмов-деструкторов углеводородов.

Следует отметить и все более возрастающий интерес к использованию сельскохозяйственных культур, в частности зернобобовых, для очистки нефтезагрязненных земель [5]. В работах [9], [10] особое внимание обращено на сою, которая обладает выраженным фиторемедиационным потенциалом благодаря развитой корневой системе и способности вступать в симбиоз с клубеньковыми бактериями. Особую ценность для Красноярского края представляют ультраранние сорта местной селекции, адаптированные к резко континентальному климату, в частности, сорт сои ЭОС. Однако его устойчивость к углеводородному стрессу и способность стимулировать деградацию нефтепродуктов в черноземах, выщелоченных Красноярской лесостепи остаются малоизученными.

В связи с вышесказанным целью настоящей работы являлась оценка фиторемедиационного потенциала сои сорта ЭОС при различной степени загрязнения чернозема выщелоченного нефтепродуктами в почвенно-климатических условиях Красноярской лесостепи.

Методы и принципы исследования

Экспериментальная часть работы выполнена в условиях модельного микрополевого опыта, заложенного на полигоне ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». Эксперимент проводили в сосудах с рабочей площадью поверхности 0,3 м². В качестве растений-фиторемедиантов была выбрана соя сорта ЭОС, которую посеяли в мае 2024г. в количестве 30 штук на одну емкость, повторность опыта четырехкратная.

Схема опыта включала следующие варианты с искусственным внесением нефтепродуктов (НП) в почву перед посевом семян:

- контроль — естественный фон (без внесения нефтепродуктов);
- вариант НП₁ (низкая доза) — внесение НП в концентрации 1000 мг/кг сухого субстрата;
- вариант НП₂ (высокая доза) — внесение НП в концентрации 3000 мг/кг сухого субстрата;
- вариант НП₃ (очень высокая доза) — внесение НП в концентрации 5000 мг/кг сухого субстрата.

Градации уровней антропогенной нагрузки и интерпретация степени загрязнения почвогрунтов осуществлялись в соответствии с руководящим документом МУ 2.1.7.730–99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест».

Почвенные образцы для лабораторных анализов отбирали послойно из корнеобитаемого горизонта (0–20 см) в двух ключевых временных точках: в начале (исходный фон) и в конце вегетационного периода исследуемой культуры. Процедуру отбора, транспортировки и хранения почвенных проб регламентировали согласно требованиям ГОСТ Р 58595–2019 «Почвы. Отбор проб». Содержание нефтепродуктов в пробах чернозема выщелоченного определяли флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» по аттестованной методике ПНД Ф 16.1:2.21-98.

Основные результаты

В результате исследования было установлено, что наибольшая высота растений сои сорта ЭОС наблюдается в контрольном варианте и составляет 27 см, варианте 3 (5000 мг/кг) высота растений сои сорта ЭОС уменьшилась по сравнению с контролем на 30% (рис. 1).

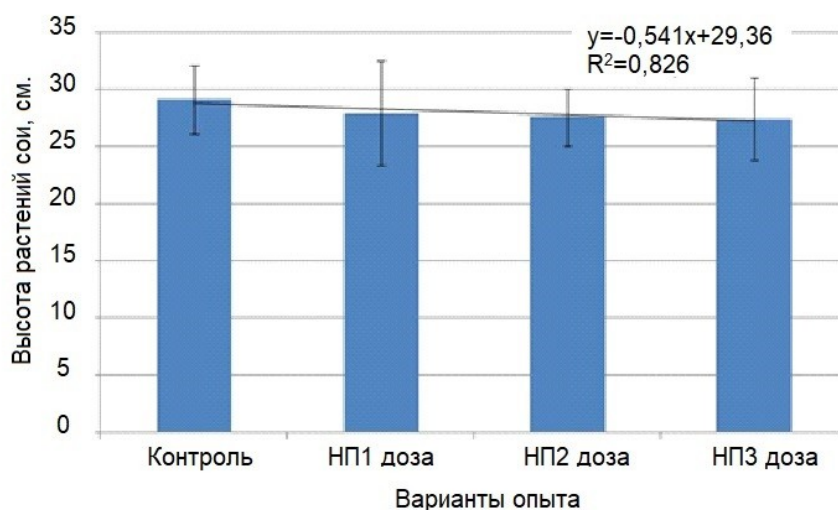


Рисунок 1 - Высота растений сои сорта ЭОС при модельном загрязнении чернозема выщелоченного нефтепродуктами

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.15.1>

Наибольшее количество бобов на одном растении сои сорта ЭОС выявлено в варианте «НП₂ доза» по сравнению с контролем (рис. 2).

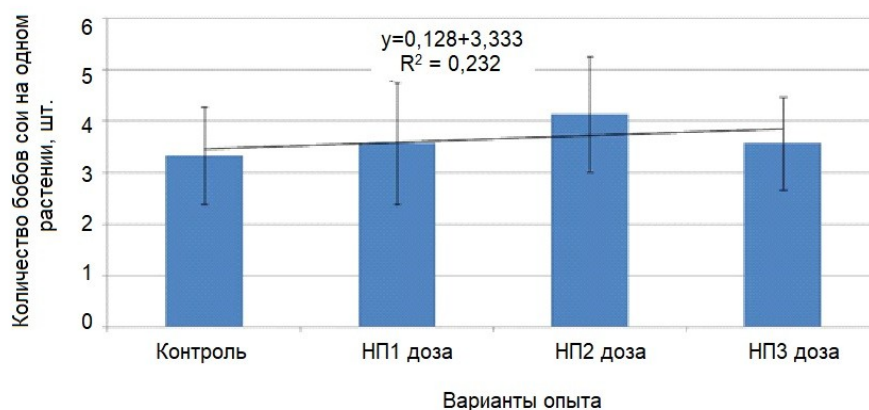


Рисунок 2 - Количество бобов на одном растении сои сорта ЭОС
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.15.2>

Наименьшее количество семян наблюдается с максимальной дозой нефтепродуктов (рис. 3).

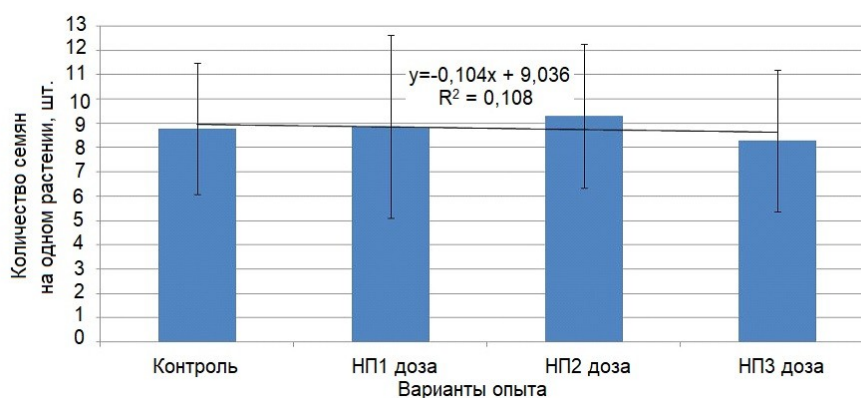


Рисунок 3 - Количество семян на одном растении сои сорта ЭОС
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.15.3>

Одним из ключевых показателей ремедиационной способности растений является снижение концентрации загрязнителя в почве за вегетационный период. В таблице 1 приведена динамика содержания нефтепродуктов в чернозёме выщелоченном под влиянием сои сорта ЭОС.

Таблица 1 - Динамика изменения концентрации нефтепродуктов в почве в течение вегетационного периода

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.15.4>

Исходная концентрация Н), мг/кг	Эффективность очистки, %	Остаточное содержание НП, мг/кг	Категория загрязнения (МУ 2.1.7.730–99)	Влияние на морфобиометрические показатели
1000	50	500	Допустимый/низкий уровень	Стабильное развитие, умеренная биodeградация
3000	60	1200	Средневысокий уровень	Максимальная продуктивность
5000	30	3500	Очень высокий уровень	Ингибирование ремедиационного потенциала

Для комплексной оценки способности сои сорта ЭОС к очистке нефтезагрязнённого чернозёма выщелоченного были рассчитаны следующие интегральные индексы, позволяющие количественно охарактеризовать как толерантность растения к стрессовому воздействию, так и его непосредственную ремедиационную эффективность: индекс толерантности, индекс очистки и индекс интенсивности фиторемедиации (табл.2).

Таблица 2 - Интегральные индексы
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.15.5>

Исходная концентрация НП, мг/кг	Индекс толерантности, %	Очистительная способность, %	Индекс эффективности фиторемедиации, %	Интерпретация
1000	93,1	50	46,6	Стабильная биodeградация при низком фоне стресса
3000	91,4	60	54,8	Оптимум ризоремедиации
5000	83,7	30	26,9	Токсическое подавление

Обсуждение

Анализ биометрических показателей свидетельствует о том, что присутствие нефтепродуктов в почвенном профиле оказывает выраженное ингибирующее действие на ростовые процессы культуры (рис. 1). Наблюдается закономерное снижение высоты растений сои, находящееся в прямой линейной зависимости от концентрации поллютанта. Данная тенденция характеризуется высоким уровнем аппроксимации и описывается линейным уравнением регрессии с высоким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,83$). Физиологически задержка линейного роста растений при нефтяном загрязнении может быть обусловлена ухудшением водно-воздушного режима почвы, гидрофобизацией корневой системы и снижением доступности влаги [11]. Кроме того, легкие фракции нефтепродуктов способны проникать через мембраны клеток корневой системы, вызывая системный токсический стресс и нарушая гормональную регуляцию роста [12].

Оценка параметров семенной продуктивности выявила нелинейный характер отклика растений на антропогенную нагрузку (рис. 2). Наибольшее количество бобов на одном растении сои сорта ЭОС было зафиксировано в варианте «НП₂ доза», что превышало показатели контрольной группы. Меньшее число бобов в контроле, по-видимому, сопряжено со спецификой питательного режима исследуемого субстрата. Наличие умеренных доз углеводов может временно активизировать локальную микрофлору и изменять архитектуру корней, однако дефицит азота и фосфора, часто возникающий при иммобилизации элементов микроорганизмами-деструкторами, в контрольных условиях мог лимитировать раннее плодоношение [13].

Тем не менее, при переходе к максимальной антропогенной нагрузке («НП₃ доза») наблюдалось резкое и статистически значимое падение количества семян на одно растение по сравнению с вариантом «НП₂ доза». В данном случае лимитирующим фактором выступает выраженный фитотоксический эффект высоких концентраций нефтепродуктов. Накопление токсичных ксенобиотиков в тканях приводит к снижению общей жизнеспособности фитоценоза, глубокому угнетению репродуктивной функции и падению способности к полноценному семяобразованию [14].

Эффективность деградации нефтепродуктов (НП) в ризосфере сои имеет нелинейный характер, обусловленный физиологическим откликом растения на токсический стресс (табл. 1). Динамика очистки выщелоченного чернозема обусловлена синергетическим взаимодействием в системе «растение — микроорганизмы — почва». Пиковая урожайность сои при дозе 3000 мг/кг является классическим проявлением бифазного отклика (гормезиса), широко описанного в токсикологии [15]. Умеренная концентрация углеводов выступает в роли субтоксического стрессора, который активирует адаптивные антиоксидантные системы растения и экспрессию генов стрессового отклика. Кроме того, легкоразрушаемые фракции нефти служат дополнительным источником углеродного питания для аборигенной микрофлоры. Снижение концентрации НП при низком и среднем загрязнении происходит главным образом за счет биodeградации углеводов углеводородокисляющими бактериями. Корневая система сои выделяет комплекс экссудатов, которые служат косубстратами для почвенных микроорганизмов, многократно увеличивая их численность и ферментативную активность [16]. Параллельно с микробным разложением бобовые культуры способны к прямой фитоэкстракции низкомолекулярных гидрофобных соединений из почвенного раствора с их последующей транслокацией и фитотрансформацией внутри растительных тканей [17]. Резкое падение эффективности очистки до 30% при исходной дозе 5000 мг/кг свидетельствует о достижении порога фитотоксичности — высокая доза поллютанта вызывает необратимые повреждения клеточных мембран корневой системы, глубокое угнетение фотосинтетического аппарата и супрессию метаболической активности ризосферного микробного биоценоза [18].

Для объективной оценки ремедиационного потенциала использовали показатели индекса эффективности фиторемедиации (ИЭФ), индекса толерантности (ИТ) и очистительной способности (табл. 2). Во всех вариантах ИТ превышает пороговое значение в 85%, а при максимальной дозе растение сохраняет порядка 90% ростовой активности, что свидетельствует о возможной генетически детерминированной устойчивости данного сорта к стресс-факторам нефтезагрязнения. Максимум ИЭФ 54,8% при дозе 3000 мг/кг научно подтверждает гипотезу о формировании оптимального растительно-микробного консорциума в ризосфере сои при умеренных концентрациях



углеводородов [16]. Резкое падение ИЭФ до 26,9% при дозе 5000 мг/кг может свидетельствовать о переходе системы в фазу декомпенсации токсического стресса, при этом ферментативная активность почвенных микроорганизмов-деструкторов и ремедиационные механизмы самого фитокомпонента ингибируются. Это неплохо согласуется с фундаментальными выводами [18] о том, что при высоких концентрациях гидрофобные пленки нефти блокируют транспорт воды и нутриентов, лимитируя очистную способность биосистем.

Полученные нами результаты согласуются с выводами Коротченко И.С. и Медведевой В.А. (2023), показавшими, что оптимальная эффективность фиторемедиации достигается при умеренных уровнях загрязнения, тогда как высокие концентрации поллютантов вызывают подавление ремедиационного потенциала растений [19].

Заключение

Таки образом, на основании проведенной комплексной оценки сои сорта ЭОС можно сделать заключение о возможной рекомендации данного сорта к внедрению в практику рекультивационных работ на территориях с техногенным загрязнением выщелоченных черноземов нефтепродуктами с концентрацией до 3000–5000 мг/кг. Высокая жизнеспособность культуры позволяет эффективно совмещать биоочистку отчужденных земель с сохранением семенного потенциала растений.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Journal of Agriculture and Environment.

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.15.6>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Community of Reviewers of the Journal of Agriculture and Environment.

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.15.6>

Список литературы / References

1. Трофимов С.Я. Исследование нефтезагрязненных почв и перспективные походы к их ремедиации / С.Я. Трофимов, Е.И. Ковалева, Н.А. Аветов и др. // Вестник Московского государственного университета. Серия 17. Почвоведение. — 2023. — 78(4). — С. 83–93. — DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-4-83-93
2. Шулаев Н.С. Комбинированный метод фиторемедиации и электрообработки для очистки почв от нефтепродуктов / Н.С. Шулаев, Р.Р. Кадыров, В.В. Пряничникова // Записки Горного института. — 2024. — 265. — С. 147–155.
3. Ковалева М.А. Фиторемедиация нефтезагрязненных грунтов / М.А. Ковалева, Ю.Н. Безбородов, Ю.Д. Агафонов и др. // Экология и промышленность России. — 2026. — 30(2). — С. 34–38.
4. Шаронова Н.Л. Эффект фиторемедиации на выщелоченном черноземе, загрязненном жидкими углеводородами / Н.Л. Шаронова, И.А. Яппаров, А.М. Ежкова // Агрохимический вестник. — 2015. — 6. — С. 22–25.
5. Степаненко Е.А. Перспективы использования сельскохозяйственных культур при проведении фиторемедиации нефтезагрязненных почв / Е.А. Степаненко, В.А. Алферова, И.В. Волкова // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. — 2025. — 2. — С. 14–18. — DOI: 10.24143/1812-9498-2025-3-14-18
6. Изилиянов А.Ю. Биоремедиация нефтезагрязненных почв / А.Ю. Изилиянов, Н.Н. Минина // Вестник науки. — 2021. — 6(39). — С. 200–203.
7. Кузина Е.В. Биоремедиация нефтезагрязненной почвы, содержащей повышенные концентрации хлорида натрия и тяжелых металлов / Е.В. Кузина, С.Р. Мухаматдырова, М.Г. Искужина и др. // Трансформация экосистем. — 2025. — 8(4). — С. 189–204.
8. Назарько М.Д. Биodeградация нефтезагрязнения черноземов Краснодарского края микробными препаратами / М.Д. Назарько, К.Н. Шурай, В.Г. Лобанов и др. // Известия вузов. Пищевая технология. — 2010. — 5-6. — С. 105–108.
9. Овсянкина С.В. Распространенность семенной инфекции сои в Красноярском крае / С.В. Овсянкина, С.В. Хижняк, А.А. Чураков и др. // Плодородие. — 2024. — 6. — С. 84–88. — DOI: 10.25680/S19948603.2024.141.19
10. Чураков А.А. Эффективность защиты сои от сорной растительности в Центральной Сибири / А.А. Чураков // Агронаука. — 2023. — 1(2). — С. 25–31. — DOI: 10.24412/2949-2211-2023-1-2-25-31
11. Шаркова С.Ю. Изменение химических характеристик почвы под действием нефтезагрязнения / С.Ю. Шаркова // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. — 2011. — 25. — С. 610–613.
12. Снакин В.В. Экология и охрана природы: словарь-справочник / В.В. Снакин. — Москва: Academia, 2000. — 384 с.
13. Смолякова А.И. Состояние пигментного комплекса листьев сои при загрязнении почвы нефтепродуктами / А.И. Смолякова // Студенческая наука — взгляд в будущее : Материалы XIX Всероссийской студенческой научной конференции, Красноярск, 27–29 февраля 2024 года. — Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2024. — С. 242–245.
14. Симонов В.Э. Технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв и грунтов: обзор патентов / В.Э. Симонов, Т.А. Леконцева // Антропогенная трансформация природной среды. — 2024. — 10(2). — С. 65–81. — DOI: 10.17072/2410-8553-2024-2-65-81
15. Calabrese E.J. Hormesis: why it is important to toxicology and toxicologist / E.J. Calabrese // Environ Toxicol Chem. — 2008. — 27(7). — P. 1451–1474. — DOI: 10.1897/07-541
16. Kuiper I. Rhizoremediation: A Beneficial Plant-Microbe Interaction / I. Kuiper, EllenL. Lagendijk, GuidoV. Bloemberg et al. // Molecular Plant-Microbe Interactions. — 2024. — 17(1). — P. 6–15. — DOI: 10.1094/mpmi.2004.17.1.6



17. Pilon-Smits E. Phytoremediation / E. Pilon-Smits // *Annual Review of Plant Biology*. — 2005. — 26. — P. 15–19. — DOI: 10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214
18. Alkorta I. Phytoremediation of organic pollutants in soils / I. Alkorta, C. Garbisu // *Bioresource Technology*. — 2001. — 79(3). — P. 273–276. — DOI: 10.1016/S0960-8524(01)00016-5
19. Коротченко И.С. Оценка фиторемедиационного потенциала горчицы в условиях загрязнения почвы Zn, Pb, Ni / И.С. Коротченко, В.А. Медведева // *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал*. — 2023. — 4(48). — С. 78–86. — URL: http://vestospu.ru/archive/2023/articles/5_48_2023.pdf — DOI: 10.32516/2303-9922.2023.48.5

Список литературы на английском языке / References in English

1. Trofimov S.Ya. Issledovanie neftezagryaznenny'x pochv i perspektivny'e poxody' k ix remediacii [Studies of oil-contaminated soils and forward-looking approaches to their remediation] / S.Ya. Trofimov, E.I. Kovaleva, N.A. Avetov et al. // *Moscow University Bulletin. Series 17. Soil Science*. — 2023. — 78(4). — P. 83–93. — DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-4-83-93 [in Russian]
2. Shulaev N.S. Kombinirovanny'j metod fitoremediacii i e'lektroobrabotki dlya ochistki pochv ot nefteproduktov [Combined phytoremediation and electro-treatment method for soil remediation from petroleum products] / N.S. Shulaev, R.R. Kadyrov, V.V. Pryanichnikova // *Proceedings of the Mining Institute*. — 2024. — 265. — P. 147–155. [in Russian]
3. Kovaleva M.A. Fitoremediaciya neftezagryaznenny'x gruntov [Phytoremediation of oil-contaminated soils] / M.A. Kovaleva, Yu.N. Bezborodov, Yu.D. Agafonov et al. // *Ecology and Industry of Russia*. — 2026. — 30(2). — P. 34–38. [in Russian]
4. Sharonova N.L. E'ffekt fitoremediacii na vy'shelochennom chernozeme, zagryaznenном zhidkimi uglevodorodami [Effect of phytoremediation on leached chernozem contaminated with liquid hydrocarbons] / N.L. Sharonova, I.A. Yapparov, A.M. Ezhkova // *Agrochemical Bulletin*. — 2015. — 6. — P. 22–25. [in Russian]
5. Stepanenko E.A. Perspektiv' ispol'zovaniya sel'skoxozyajstvenny'x kul'tur pri provedenii fitoremediacii neftezagryaznenny'x pochv [Prospects for using agricultural crops in the phytoremediation of oil-contaminated soils] / E.A. Stepanenko, V.A. Alferova, I.V. Volkova // *Oil and Gas Technologies and Environmental Safety*. — 2025. — 2. — P. 14–18. — DOI: 10.24143/1812-9498-2025-3-14-18 [in Russian]
6. Izilyanov A.Yu. Bioremediaciya neftezagryaznenny'x pochv [Bioremediation of oil-contaminated soils] / A.Yu. Izilyanov, N.N. Minina // *Bulletin of Science*. — 2021. — 6(39). — P. 200–203. [in Russian]
7. Kuzina E.V. Bioremediaciya neftezagryaznennoj pochvy', sodershashhej povы'shenny'e koncentracii xlorida natriya i tyazhely'x metallov [Bioremediation of oil-contaminated soil containing elevated concentrations of sodium chloride and heavy metals] / E.V. Kuzina, S.R. Muxamatd'yarova, M.G. Iskuzhina et al. // *Ecosystem transformation*. — 2025. — 8(4). — P. 189–204. [in Russian]
8. Nazar'ko M.D. Biodegradaciya neftezagryazneniya chernozemov Krasnodarskogo kraja mikrobnymi preparatami [Biodegradation of oil contamination in Chernozems of the Krasnodar Territory using microbial preparations] / M.D. Nazar'ko, K.N. Shuraj, V.G. Lobanov et al. // *Proceedings of Universities. Food Technology*. — 2010. — 5-6. — P. 105–108. [in Russian]
9. Ovsyankina S.V. Rasprostranennost' semennoj infekcii soi v Krasnoyarskom krae [Prevalence of soybean seed infection in Krasnoyarsk Krai] / S.V. Ovsyankina, S.V. Xizhnyak, A.A. Churakov et al. // *Fertility*. — 2024. — 6. — P. 84–88. — DOI: 10.25680/S19948603.2024.141.19 [in Russian]
10. Churakov A.A. E'ffektivnost' zashchity' soi ot sornoj rastitel'nosti v Central'noj Sibiri [Efficacy of soybean protection against weeds in Central Siberia] / A.A. Churakov // *Agricultural Science*. — 2023. — 1(2). — P. 25–31. — DOI: 10.24412/2949-2211-2023-1-2-25-31 [in Russian]
11. Sharkova S.Yu. Izmenenie ximicheskix xarakteristik pochvy' pod dejstviem neftezagryazneniya [Changes in soil chemical characteristics due to oil contamination] / S.Yu. Sharkova // *Proceedings of the V.G. Belinsky Penza State Pedagogical University*. — 2011. — 25. — P. 610–613. [in Russian]
12. Snakin V.V. E'kologiya i ohrana prirody: slovar'-spravochnik [Ecology and Nature Conservation: A Reference Dictionary] / V.V. Snakin. — Moscow: Academia, 2000. — 384 p. [in Russian]
13. Smolyakova A.I. Sostoyanie pigmentnogo kompleksa listev soi pri zagryaznenii pochvi nefteproduktami [State of the pigment complex in soybean leaves under soil contamination with petroleum products] / A.I. Smolyakova // *Studencheskaya nauka — vzglyad v budushchee [Student Research — A Look into the Future] : Proceedings of the 19th All-Russian Student Scientific Conference, Krasnoyarsk, February 27–29, 2024*. — Krasnoyarsk: Krasnoyarskii gosudarstvennii agrarnii universitet, 2024. — P. 242–245. [in Russian]
14. Simonov V.E'. Teknologii bioremediacii neftezagryaznenny'x pochv i gruntov: obzor patentov [Bioremediation technologies for oil-contaminated soils and ground: a patent review] / V.E'. Simonov, T.A. Lekonceva // *Anthropogenic transformation of the natural environment*. — 2024. — 10(2). — P. 65–81. — DOI: 10.17072/2410-8553-2024-2-65-81 [in Russian]
15. Calabrese E.J. Hormesis: why it is important to toxicology and toxicologist / E.J. Calabrese // *Environ Toxicol Chem*. — 2008. — 27(7). — P. 1451–1474. — DOI: 10.1897/07-541
16. Kuiper I. Rhizoremediation: A Beneficial Plant-Microbe Interaction / I. Kuiper, EllenL. Lagendijk, GuidoV. Bloemberg et al. // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. — 2024. — 17(1). — P. 6–15. — DOI: 10.1094/mpmi.2004.17.1.6
17. Pilon-Smits E. Phytoremediation / E. Pilon-Smits // *Annual Review of Plant Biology*. — 2005. — 26. — P. 15–19. — DOI: 10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214
18. Alkorta I. Phytoremediation of organic pollutants in soils / I. Alkorta, C. Garbisu // *Bioresource Technology*. — 2001. — 79(3). — P. 273–276. — DOI: 10.1016/S0960-8524(01)00016-5



19. Korotchenko I.S. Ocenka fitoremediacionnogo potenciala gorchicy' v usloviyax zagryazneniya pochvy' Zn, Pb, Ni [Assessment of the phytoremediation potential of mustard in soil contaminated with Zn, Pb, and Ni] / I.S. Korotchenko, V.A. Medvedeva // Bulletin of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal. — 2023. — 4(48). — P. 78–86. — URL: http://vestospu.ru/archive/2023/articles/5_48_2023.pdf — DOI: 10.32516/2303-9922.2023.48.5 [in Russian]