

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Научная статья

УДК 631.4

doi: 10.17072/1994-9952-2022-1-64-71

Оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненных почв

Ольга Зиновьевна Еремченко^{1✉}, Руслан Вячеславович Сапцын²,
Евгения Анатольевна Ложкина³, Елизавета Владимировна Тыршу⁴

^{1,2,3,4} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

^{1✉} eremch@psu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3581-0874>

² ruslansaptsyn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3915-0391>

³ lozhkina212@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7333-0121>

⁴ Yelizaveta765@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2088-6980>

Аннотация. Проведена оценка эффективности технической рекультивации нефтезагрязненных почв и способности создавать условия для роста и развития культурных растений. Установлена существенная неоднородность свойств и остаточная фитотоксичность рекультивированного слоя дерново-подзолистой почвы. Выявлено, что серая почва после проведения рекультивационных работ характеризуется повышенным уровнем почвенного плодородия и более благоприятными условиями для роста и развития растений, по сравнению с некультивируемой серой почвой.

Ключевые слова: почвы, нефтезагрязнение, рекультивация, агрохимические свойства, фитотоксичность, экологические функции

Для цитирования: Оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненных почв / О. З. Еремченко, Р. В. Сапцын, Е. А. Ложкина, Е. В. Тыршу // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 1. С. 64–71. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-64-71>.

SOIL SCIENCE

Original article

Assessment of performance of oil-contaminated soil reclamation

Olga Z. Eremchenko^{1✉}, Ruslan V. Saptsyn², Evgeniya A. Lozhkina³,
Elizaveta V. Tyrshu⁴

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

^{1✉} eremch@psu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3581-0874>

² ruslansaptsyn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3915-0391>

³ lozhkina212@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7333-0121>

⁴ Yelizaveta765@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2088-6980>

Abstract. The article is devoted to the performance evaluation assessment of oil-contaminated soil technical remediation and assessment of the ability to create conditions for the growth and development of cultivated plants. A significant heterogeneity of properties and residual phytotoxicity of the reclaimed layer of the soddy-podzolic surface is discovered. The results of investigation showed that gray soil is characterized by an increased level of soil fertility and more favorable conditions for the growth and development of plants, compared with uncultivated gray soil after reclamation.

Keywords: soils, oil pollution, reclamation, agrochemical properties, phytotoxicity, ecological functions

For citation: Eremchenko O. Z., Saptsyn R. V., Lozhkina E. A., Tyrshu E. V. [Assessment of performance of oil-contaminated soil reclamation]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 1 (2022): pp. 64-71. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-64-71>.

Введение

С конца XX в. исследователи связывают качество почвы с ее способностью выполнять экологические функции, в первую очередь, создавать условия для роста и развития живых организмов [Nikitin et al., 2010]. В настоящее время звучат опасения, что антропогенно измененные почвы не смогут выполнять функции воспроизводства и поддержания жизни на Земле [Haygarth, Ritz, 2009; Керженцев, 2010; Кова-

лев, Ковалева, 2020].

В нефтегазовом комплексе России транспортировка нефти и нефтепродуктов от мест добычи и до мест потребления не исключает вероятности аварийных разливов и последующего загрязнения почвенного покрова. Нефтезагрязненные почвы на долгое время выбывают из народно-хозяйственного использования, требуя значительные средства на проведение рекультивации. Современные методы рекультивации направлены не только на устранение нефтезагрязнения, но и на восстановление плодородного слоя почвы¹ [Черняховский и др., 2004]. Формирование благоприятных агрохимических свойств у рекультивированных почв особенно важно на землях сельскохозяйственного назначения, т.к. культурные растения имеют повышенные требования к реакции почвенной среды, содержанию гумуса и питательных веществ.

В южно-таежной подзоне Пермского края, вследствие разгерметизации нефтепровода, произошли разливы нефти и последующее загрязнение дерново-подзолистой на площади около 300 м² (участок № 1) и серой почвы – на площади около 250 м² (участок № 2). Оба загрязненных участка относятся к категории земель «Земли сельскохозяйственного назначения». Сразу после аварии нефть с верхними слоями загрязненной почвы была вывезена для последующей санации. На нарушенных участках был выровнен рельеф путем отсыпки на поверхность незагрязненного почвогрунта, привезенного с территорий складирования отходов животноводства и проведения дорожно-строительных работ. Цель нашей работы – оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненных почв и способности рекультивированного слоя создавать условия для роста и развития культурных растений.

Материалы и методы исследований

Из рекультивированного слоя почв отбирались пробы с глубины 0–20 см равномерно по всей площади участков; каждую отдельную пробу готовили путем смешивания из 3–5 индивидуальных проб. На участке № 1 исследовали три смешанные пробы, а на участке № 2 – пять смешанных проб. На фоновых почвах смешанные пробы отобрали с трех стенок разреза по глубинам 0–20 см.

Содержание остаточной нефти и нефтепродуктов определили по ПНД Ф 16.1:2.2.22-98, величину pH водной суспензии – по ГОСТ 26483-85, содержание органического углерода – по Тюрину, содержание подвижных фосфатов и подвижного калия по ГОСТ Р 54650–2011.

Экологическое состояние и степень токсичности почвогрунта исследовали методом фитотестирования кресс-салатом *Lepidium sativum* L. на основе авторской методики [Пат. RU2620555C1 ..., 2017]. Ответную реакцию тест-культуры на рекультивированных почвах сравнивали с состоянием растений на фоновых почвах.

Высоту и массу кресс-салата, выращенного на почвенных пробах, измерили в 25–кратной повторности; значимость различий с тест-контролем оценили с помощью критерия Стьюдента с доверительной вероятностью 95% и выше ($P < 0.05$).

Редокс-активность растительных экстрактов из листьев кресс-салата определили методом Петта – Прокашева [Практикум ..., 2016]. Биологическая повторность определения редокс-активности – 4-кратная. Сравнение редокс-активности растений, выращенных на пробах почвогрунта, с редокс-активностью растений на фоновой почве провели на основе однофакторного дисперсионного метода с применением критерия Краскела-Уоллиса; значимыми считали различия между сравниваемыми средними величинами с доверительной вероятностью 95% и выше ($P < 0.05$).

Результаты и их обсуждение

Фоновые почвы исследовали на расположенных рядом облесенных участках, в пределах того же рельефа, где произошло нефтезагрязнение почв. В соответствии с современной классификацией почв России [Классификация ..., 2004], фоновая почва вблизи рекультивированного участка № 1 диагностирована как дерново-подзолистая постагрогенная почва. В профиле почвы постагрогумусовый горизонт имеет мощность около 28 см, под ним залегает субэлювиальный горизонт ВЕL, который постепенно переходит в текстурный горизонт ВТ.

Фоновая почва возле участка № 2 определена как серая почва. В профиле почвы под серогумусовым горизонтом АУ мощностью около 25 см залегает гумусово-элювиальный горизонт АЕL мощностью 13 см; ниже выделен субэлювиальный горизонт ВЕL мощностью около 18 см, который постепенно переходит в текстурный горизонт ВТ [Классификация ..., 2004].

Известно, что нефть оказывает на растения прямое токсическое (или стимулирующее) действие, и опосредованное действие – через изменение физико-химических свойств почвы и трансформацию поч-

¹ ГОСТ Р 57447-2017. Рекультивация земель и земельных участков, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. М.: Стандартинформ, 2019. 25 с.

венного микробного сообщества. В обеих рекультивированных почвах количество остаточной нефти превышало фоновый уровень: в дерново-подзолистой в 1.7–3 раза, а в серой почве, за исключением одной пробы, – в 2.3–4 раза (табл. 1).

Таблица 1

Остаточное содержание нефтепродуктов в рекультивированных почвах (слой 0–20 см), мг/кг
[Residue levels of oil products in reclaimed soils (layer 0–20 cm), mg/kg]

Почва	№ пробы	Нефтепродукты
Дерново-подзолистая		
Рекультивированная	1	86
	2	135
	3	148
Фоновая		менее 50
Серая почва		
Рекультивированная	1	50
	2	177
	3	187
	4	147
	5	110
Фоновая		47

Остаточное количество нефтепродуктов в рекультивированных почвах оценили относительно нормативов допустимого остаточного содержания нефтепродуктов (ДОСНП), принятых в Пермском крае¹. Норматив ДОСНП для типа дерново-подзолистых почв категории «Земли сельскохозяйственного назначения» составляет 2400 мг/кг почвы. Остаточное содержание нефтепродуктов в рекультивированной дерново-подзолистой почве в 16–28 раз ниже ДОСНП (табл. 1). Норматив ДОСНП для типа серых почв категории «Земли сельскохозяйственного назначения» составляет 2400–2600 мг/кг почвы. Остаточное содержание нефтепродуктов в рекультивированной серой почве в 13–63 раза ниже ДОСНП.

Таким образом, на обеих почвах проведение технических работ по устранению нефтезагрязнения способствовало существенному снижению количества остаточной нефти относительно ДОСНП, однако по сравнению с фоновым содержанием, в рекультивированных почвах сохраняется некоторый уровень нефтезагрязнения.

Для оценки агрохимического состояния рекультивированного слоя почв проведено сравнение с гумусовым горизонтом фоновых почв. Реакция почвенной среды (рН_(KCl)) в рекультивированной дерново-подзолистой почве была менее кислой, чем в фоновой постагрогенной почве (табл. 2). Содержание гумуса было выше во всех трех пробах по сравнению с фоновым уровнем. Количество подвижных фосфатов и калия в пробе № 1 не отличалось от содержания в фоновой почве, но участки, с которых были отобраны смешанные пробы № 2 и № 3, оказались значительно более обеспеченными питательными элементами. В методике Министерства сельского хозяйства РФ предложена формула расчета показателя плодородия кислых почв²:

$$K_{пп} = \left(\frac{\text{гумус ф.}}{\text{гумус опт.}} + \frac{P_2 O_5 \text{ ф.}}{P_2 O_5 \text{ опт.}} + \frac{K_2 O \text{ ф.}}{K_2 O \text{ опт.}} + \frac{pH_{(KCl)} \text{ ф.}}{pH_{(KCl)} \text{ опт.}} \right) : 4 ,$$

где $K_{пп}$ – показатель почвенного плодородия для каждого типа почв; гумус, P_2O_5 , K_2O , рН – агрохимические показатели; ф. – фактические значения агрохимических показателей; опт. – оптимальные значения агрохимических показателей.

Оптимальные уровни содержания подвижных фосфатов и калия в почвах были выбраны по результатам полевых опытов агрохимической службы Центрального района Нечерноземной зоны [Шафран, Прошкин, 2008]. Диапазон колебаний агрохимических свойств дерново-подзолистых и серых почв охватывал практически все возможные вариации, встречающиеся в почвах Центрального района Нечерноземной зоны. За оптимальный уровень содержания питательных веществ исследователи приняли такое содержание фосфора и калия в почве, при котором прекращался рост урожайности культур по мере увеличения обеспеченности этими элементами питания. Оптимальное содержание питательных веществ в дерново-подзолистой суглинистой почве в Центральном районе Нечерноземной зоны составляло для озимой пшеницы: P_2O_5 – 140 мг/кг, K_2O – 160 мг/кг. Оптимальное содержание питательных веществ в

¹ Об утверждении региональных нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах Пермского края и порядка их применения: Постановление Правительства Пермского края № 813-п от 20 дек. 2018 г. (с изменениями на 23 дек. 2020 г.).

² Методика расчета показателя почвенного плодородия в субъекте Российской Федерации, утвержденная приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 6 июля 2017 г. № 325.

серой почве в Центральном районе Нечерноземной зоны составляло для озимой пшеницы: P₂O₅ – 130 мг/кг, K₂O – 180 мг/кг.

Оптимальные значения pH и количества гумуса для расчета коэффициентов плодородия также были выбраны из базы данных по состоянию почв в Центральном районе Нечерноземной зоны. Согласно этим данным, наиболее благоприятная реакция почвенной среды в серых почвах была равна 6.8 pH, в дерново-подзолистых – 6.9 pH; а наибольшее содержание гумуса в серых почвах составляло 4.6%, а в дерново-подзолистых почвах – 3.6% [Шафран, Прошкин, 2008].

Коэффициент почвенного плодородия (K_{пн}), рассчитанный по основным агрохимическим свойствам для фоновой дерново-подзолистой почвы равен 0.6; для смешанной пробы № 1 он был немного выше (табл. 2). Для почвенных проб № 2 и № 3 K_{пн} оказался выше в несколько раз по сравнению с фоновым значением. Средний коэффициент почвенного плодородия для рекультивированного слоя дерново-подзолистой почвы (K_{пн} = 1.42) был выше коэффициента плодородия у гумусового горизонта постагрогенной почвы. Одновременно следует отметить характерный для смешанных проб высокий интервал колебаний показателей плодородия рекультивированной почвы.

Таблица 2

Свойства фоновой дерново-подзолистой почвы и рекультивированной почвы, слой 0–20 см
[Properties of the background soddy-podzolic soil and reclaimed soil, layer 0-20 cm]

Почва	№ пробы	pH	Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	K _{пн}
Рекультивированная дерново-подзолистая почва	1	4.34	5.64	29	59	0.69
	2	5.81	5.83	455	359	1.99
	3	5.00	5.20	361	246	1.57
Фоновая дерново-подзолистая постагрогенная почва		4.04	4.42	30	63	0.60

Примечание. K_{пн} – коэффициент почвенного плодородия.

Фоновая серая почва имеет кислую реакцию среды, величина pH=4.87 (табл. 3). Все смешанные пробы из рекультивированной серой почвы характеризуются более благоприятной, нейтральной реакцией среды. Содержание гумуса в рекультивированной почве выше, чем в фоновой почве. Во всех пробах из рекультивированной почвы обеспеченность фосфатами и калием выше, чем в фоновой почве. Расчеты K_{пн} показали, что коэффициент почвенного плодородия у рекультивированной почвы в 1.7–2.2 раза выше, по сравнению с коэффициентом плодородия фоновой серой почвы. Таким образом, после проведения рекультивационных работ на нефтезагрязненной серой почве был восстановлен верхний корнеобитаемый слой с повышенными показателями плодородия.

Таблица 3

Свойства фоновой серой почвы и рекультивированной агрогенной почвы, слой 0–20 см
[Properties of the background gray soil and reclaimed agrogenic soil, layer 0-20 cm]

Почва	№ пробы	pH	Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	K _{пн}
Рекультивированная серая почва	1	6.99	4.57	37	121	0.74
	2	6.86	4.89	59	76	0.84
	3	7.10	4.11	45	113	0.73
	4	6.71	7.75	48	146	0.96
	5	7.04	5.77	47	121	0.83
Фоновая серая почва		4.87	3.61	14	29	0.44

Примечание. K_{пн} – коэффициент почвенного плодородия.

В условиях нефтезагрязнения растения являются чувкими индикаторами уровня токсичности почвы [Назаров, Иларионов, 2005; Чугунова и др., 2011]. Кресс-салат используют при анализе почвенных загрязнений, как отдельными поллютантами, так и при их комплексном воздействии [Шунелько, Федорова, 2002; Czerniawska-Kusza et al., 2006; Sujetovienė, Griauslytė, 2008; Lisovitskaya, Terekhova, 2010]. При выращивании кресс-салата на пробах рекультивированной дерново-подзолистой почвы было установлено снижение высоты и массы относительно растений кресс-салата на фоновой почве (рис. 1).

Известно, что неблагоприятные факторы корневой среды вызывают в растениях развитие окислительного стресса [Колупаев, Карпец, 2019]. Ранее в наших экспериментах установлено повышение редокс-активности кресс-салата в ответ на подкисление, засоление, подщелачивание и загрязнение тяжелыми металлами корневой среды [Пат. RU2620555C1 ..., 2017].

По результатам фитотестирования установлено некоторое повышение редокс-активности у кресс-салата, выращенного на пробе № 3 из рекультивированной дерново-подзолистой почвы. Усиление редокс-активности кресс-салата при одновременном снижении высоты и массы свидетельствует о неко-

торой токсичности почвенной пробы; в этой пробе было повышено содержание остаточной нефти (см. табл. 2). Данные о повышенной редокс-активности тест-культуры соответствуют сведениям о накоплении в проростках растений при нефтяном стрессе веществ, характеризующихся восстановительной активностью (антоцианы, рибофлавин, аскорбиновая кислота) [Чупахина, Масленников, 2004]. Таким образом, после проведения технического этапа рекультивационных работ, несмотря на повышенный коэффициент плодородия, почвенные условия для развития растений остаются менее благоприятными, чем у фоновой постагрогенной почвы.

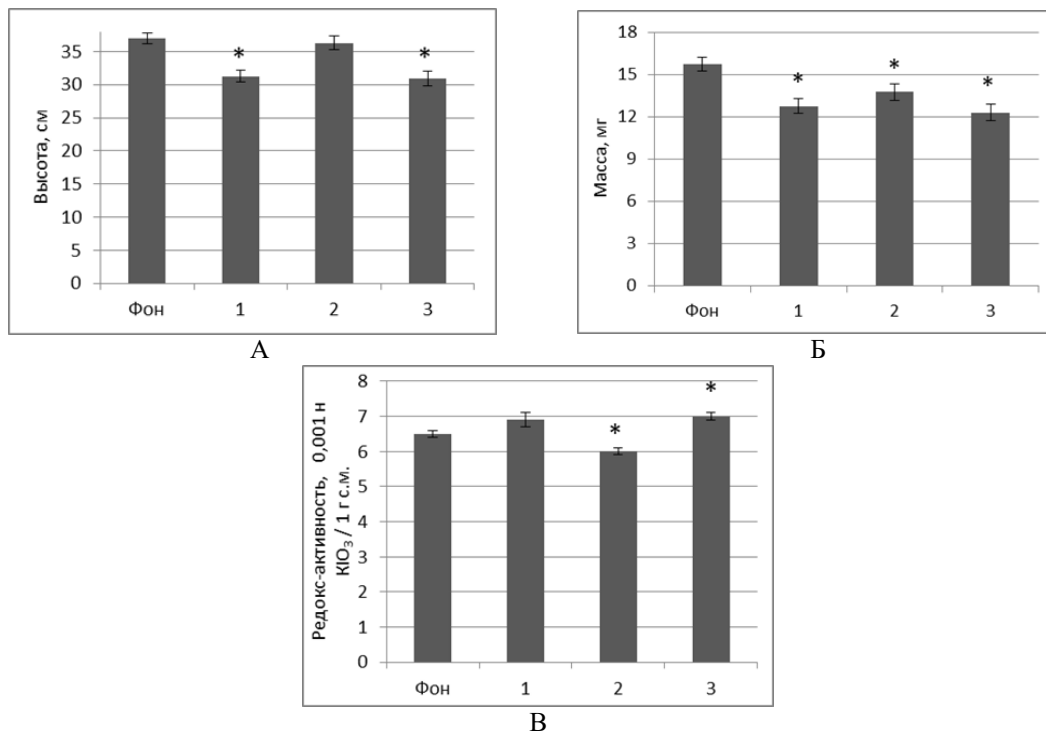


Рис. 1. Высота (А), масса (Б) и редокс-активность (В) кресса-салата на фоновой и рекультивированной дерново-подзолистой почве;

* – значимые различия с фоновыми показателями

[Height, weight and redox activity of watercress on the background and reclaimed soddy-podzolic soil:

* – significant differences with background indicators]

Фитотестирование серой почвы показало, что рекультивированный слой создает лучшие условия для роста и развития кресс-салата; высота и масса растений были выше, чем у растений на фоновой серой почве (рис. 2). Редокс-активность не отличалась от фонового уровня или была немного ниже. По-видимому, остаточное количество нефти в серой почве не оказывает токсического воздействия на тест-культуру.

Для общей оценки эффективности рекультивации нефтезагрязненных почв был использован метод математической оптимизации. Из выборки показателей оптимальных свойств почв ($x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$) выбран экстремум – минимальное (x_{\min}) или максимальное (x_{\max}) значение. Для содержания остаточных нефтепродуктов в качестве лучших были выбраны минимальные значения; а для pH, содержания органического углерода, подвижных фосфатов и калия – максимальные значения. В качестве экстремума для редокс-активности растительных экстрактов был взят минимальный показатель, полученный в опытах на каждом типе почвы. Экстремумом высоты и массы тест-культуры были максимальные показатели растений на каждом типе почвы. Относительно экстремума рассчитали нормированные значения показателей: $x_k = x_{\min} / x_n$, или $x_k = x_n / x_{\max}$. Сложили нормированные значения показателей и получили критерий оптимизации свойств для каждой почвы и почвенной пробы (табл. 4). При данном формализованном подходе был учтен комплекс свойств, тесно связанных с почвенным плодородием (pH, гумус, питательные элементы), а также отражающих способность загрязненных почв создавать условия для роста и развития растений (остаточные нефтепродукты, высота, масса и редокс-активность тест-культуры).

Рекультивация нефтезагрязненной дерново-подзолистой постагрогенной почвы не в полной мере способствовала восстановлению почвенной функции по созданию условий роста и развития растений, т.к. в пределах участка №1 имеются зоны с пониженными критериями оптимизации свойств. У рекультивирован-

рованного слоя серой почвы критерии оптимизации свойств были выше, чем у фоновой некультивируемой серой почвы (табл. 4).

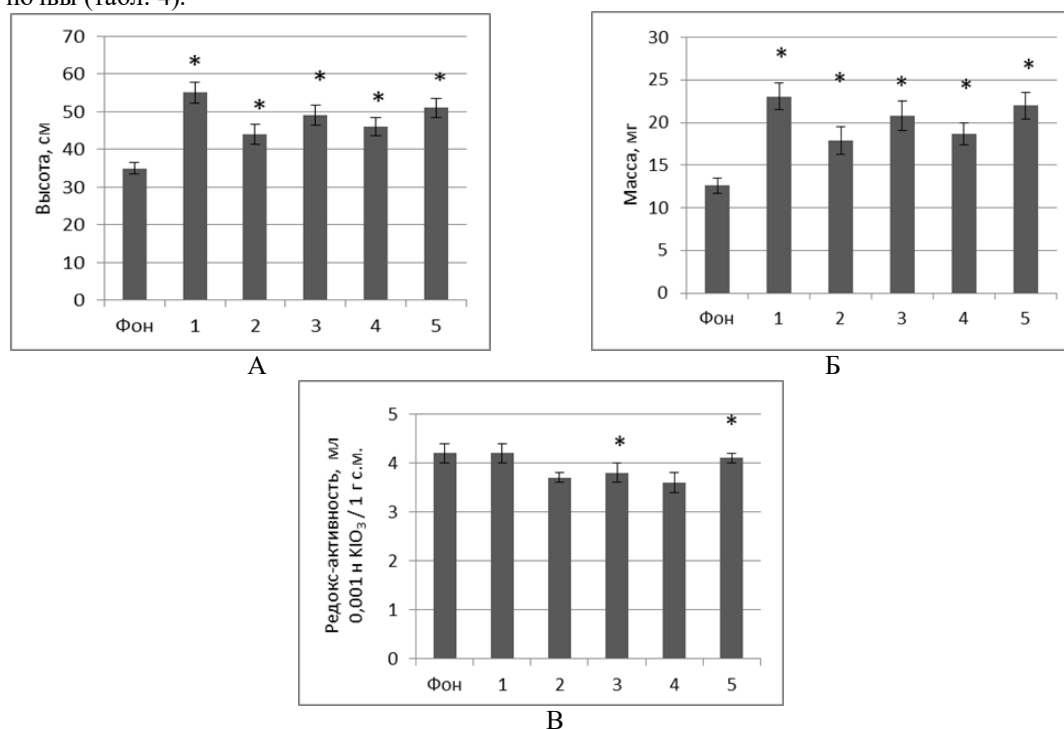


Рис. 2. Высота (А), масса (Б) и редокс-активность (В) кресс-салата на фоновой и рекультивированной серой почве;

* – значимые различия с фоновыми показателями

[Height, weight and redox activity of watercress on background and reclaimed gray soil:

* – significant differences with background indicators]

Таблица 4

Нормированные значения показателей состояния рекультивированных почв, слой 0–20 см
[Normalized values of indicators of the state of reclaimed soils, layer 0-20 cm]

Почва	№ пробы	pH	Гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O	Нефте-продукты	Высота тест-культуры	Масса тест-культуры	Редокс-активность	K _{опт}
Рекультивированная дерново-подзолистая	1	0.7	1.0	0.1	0.2	0.6	0.8	0.8	0.8	5.0
	2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.4	1.0	0.9	1.0	7.3
	3	0.9	0.9	0.8	0.7	0.3	0.8	0.8	0.9	6.1
Фоновая дерново-подзолистая		0.7	0.8	0.1	0.2	1.0	1.0	1.0	0.9	5.7
Рекультивированная серая	1	1.0	0.6	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0	0.9	6.9
	2	1.0	0.6	1.0	0.5	0.2	0.8	0.8	1.0	5.9
	3	1.0	0.5	0.8	0.8	0.2	0.9	0.9	0.9	6.0
	4	0.9	1.0	0.8	1.0	0.3	0.8	0.8	1.0	6.6
	5	1.0	0.7	0.8	0.8	0.4	0.9	0.9	0.9	6.4
Фоновая серая		0.7	0.5	0.2	0.2	0.8	0.6	0.5	0.9	4.4

Примечание. K_{опт} – критерий оптимизации.

Выводы

1. Коэффициенты почвенного плодородия и критерии оптимизации свойств использованы при оценке процесса восстановления экологических функций почв, рекультивированных после нефтезагрязнения.

2. Рекультивированный слой дерново-подзолистой почвы характеризовался существенной неоднородностью агрохимических свойств и остаточной фитотоксичностью; экологическая функция по созданию условий для роста и развития растений восстановлена не в полной мере.

3. Рекультивированный слой серой почвы характеризуется повышенными величинами коэффициента плодородия и критерия оптимизации свойств; отличается более благоприятными условиями для роста и развития растений, по сравнению с неокультуренной серой почвой.

Список источников

1. Керженцев А.С. Механизм функционирования почвы и устойчивость экосистем // Вестник Российской академии наук. 2010. Т. 80, № 8. С. 704–709.
2. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Экологические функции почв и вызовы современности. // Экологический вестник Северного Кавказа. 2020. Т. 16, № 2. С. 4–16.
4. Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Активные формы кислорода, антиоксиданты и устойчивость растений к действию стрессоров. Киев: Логос, 2019. 277 с.
5. Назаров А.В., Иларионов С.А. Изучение причин фитотоксичности нефтезагрязненных почв // Письма в Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2005. № 1. С. 60–65.
6. Пат. RU2620555C1 Российская Федерация, МПК G01N 33/24. Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных почвогрунтов / О.З. Еремченко, Н.В. Митракова; заявитель и патентообладатель О.З. Еремченко, Н.В. Митракова. – № 2016113050; заявл. 05.04.2016; опубл. 26.05.2017. Бюл. № 15.
7. Практикум по физиологии растений: учеб. пособие / Сост. М.Ю. Касаткин, В.В. Коробко, С.А. Степанов. Саратов, 2016. С. 45–47.
8. Черняховский Э.Р. и др. Применение различных технологий при ликвидации последствий аварийных разливов нефти, нефтепродуктов и продуктов переработки нефтесодержащих отходов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2004. № 6. С. 27–29.
9. Чугунова М.В. и др. Особенности биodeградации нефти в почвах Северо-Запада России // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 5 (1). С. 110–117.
10. Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Адаптация растений к нефтяному стрессу // Экология. 2004. № 5. С. 330–335.
11. Шафран С.А., Прошкин В.А. Влияние агрохимических свойств почв Центрального района на урожайность зерновых культур // Агрохимия. 2008. № 7. С. 5–12.
12. Шунелько Е.В., Федорова А.И. Экологическая оценка городских почв и выявление уровня токсичности тяжелых металлов методом биотестирования // Вестник Самарского государственного университета. Сер. География и экология. 2002. № 1. С. 93–104.
13. Czerniawska-Kusza I. et al. Comparison of the Phytotoxkit microbiotest and chemical variables for toxicity evaluation of sediments // Environmental Toxicology: An International Journal. 2006. Vol. 21, № 4. С. 367–372.
14. Haygarth P.M., Ritz K. The future of soils and land use in the UK: soil systems for the provision of land-based ecosystem services // Land use policy. 2009. Vol. 26. P. S187-S197.
15. Lisovitskaya O.V., Terekhova V.A. Phytotesting: basic approaches, problems of the laboratory method and modern solutions // Doklady po ěkologičeskomu počvovedeniju. 2010. № 1. С. 13.
16. Nikitin E.D. et al. Development of the concept of the ecological functions of the soil cover and other geospheres // Eurasian Soil Science. 2010. Vol. 43, № 7. С. 721–727.
17. Sujetovienė G., Griauslytė L. Toxicity Assessment of Roadside Soil Using Wild Oat (*Avenasativa* L.) and Cress (*Lepidium sativum* L.) Morphometric and Biochemical Parameters // Environmental Research, Engineering & Management. 2008. Vol. 46, № 4.

References

1. Kerzhencev A.S. [The mechanism of soil functioning and ecosystem stability]. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. V. 80, No 8 (2010): pp. 704-709. (In Russ.).
2. Shishov L.L., ed. *Klassifikacija i diagnostika počv Rossii* [Classification and diagnostics of soils of Russia]. Smolensk, Ojkumena Publ., 2004. 342 p (In Russ.).
3. Kovalev I.V., Kovaleva N.O. [Ecological functions of soils and challenges of modernity]. *Ėkologičeskij vestnik Severnogo Kavkaza*. V. 16, No 2 (2020): pp. 4-16 (In Russ.).
4. Kolupaev Yu.E., Karpec Yu.V. *Aktivnye formy kisloroda, antioksidanty i ustojčivost' rastenij k dejstvuju stressorov* [Reactive oxygen species, antioxidants and plant resistance to stressors]. Kiev, Logos Publ., 2019. 277 p (In Russ.).
5. Nazarov A.V., Ilarionov S.A. [Studying the causes of phytotoxicity of oil-contaminated soils]. *Pis'ma v Meždunarodnyj naučnyj žurnal "Al'ternativnaja ěnergetika i ěkologija"*. No 1 (2005): pp. 60-65. (In Russ.).

6. Eremchenko O.Z., Mitrakova N.V. *Sposob ocenki biologicheskoj aktivnosti i toksichnosti pochv i tekhnogennyh pochvogruntov* [A method for assessing the biological activity and toxicity of soils and technogenic soils]. Patent RU2620555C1 Russian Federation. 26.05.2017. (In Russ.).

7. Kasatkin M.Yu. et al., comp. *Praktikum po fiziologii rastenij* [Workshop on plant physiology. Study guide]. Saratov, 2016, pp. 45-47. (In Russ.).

8. Chernyakhovsky E.R. et al. [The use of various technologies in the elimination of the consequences of emergency oil spills, petroleum products and products of oil-containing waste processing]. *Problemy bezopasnosti i črezvyčajnykh situacij*. No 6 (2004): pp. 27-29. (In Russ.).

9. Chugunova M.V., Mayachkina N.V., Bakina L.G., Kapel'kina L.P. [Features of oil biodegradation in soils of the North-West of Russia]. *Vestnik Nižegorodskogo universiteta im. N.I. Lobačevskogo*. No 5(1) (2011): pp. 110-117. (In Russ.).

10. Chupahina G.N., Maslennikov P.V. [Adaptation of plants to oil stress]. *Ėkologija*. No 5 (2004): pp. 330-335. (In Russ.).

11. Shafran S.A., Proshkin V.A. [The influence of agrochemical properties of soils of the Central district on the yield of grain crops]. *Agrochimija*. No 7 (2008): pp. 5-12. (In Russ.).

12. Shunel'ko E.V., Fedorova A.I. [Ecological assessment of urban soils and identification of the level of toxicity of heavy metals by biotesting]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografija i Ėkologija*. No 1 (2002): pp. 93-104. (In Russ.).

13. Czerniawska-Kusza I. et al. Comparison of the Phytotoxkit microbiotest and chemical variables for toxicity evaluation of sediments. *Environmental Toxicology: An International Journal*. V. 21, No 4 (2006): pp. 367-372.

14. Haygarth P.M., Ritz K. The future of soils and land use in the UK: soil systems for the provision of land-based ecosystem services. *Land use policy*. V. 26 (2009): pp. S187-S197.

15. Lisovitskaya O.V., Terekhova V.A. Phytotesting: basic approaches, problems of the laboratory method and modern solutions. *Doklady po ėkologičeskomu počvovedeniju*. No 1 (2010): p. 13.

16. Nikitin E.D. et al. Development of the concept of the ecological functions of the soil cover and other geospheres. *Eurasian Soil Science*. V. 43, No 7 (2010): pp. 721-727.

17. Sujetovienė G., Griauslytė L. Toxicity Assessment of Roadside Soil Using Wild Oat (*Avenasativa* L.) and Cress (*Lepidium sativum* L.) Morphometric and Biochemical Parameters. *Environmental Research, Engineering & Management*. V. 46, No 4 (2008).

Статья поступила в редакцию 01.02.2022; одобрена после рецензирования 09.03.2022; принята к публикации 14.03.2022.

The article was submitted 01.02.2022; approved after reviewing 09.03.2022; accepted for publication 14.03.2022.

Информация об авторах

О. З. Еремченко – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой физиологии растений и экологии почв;

Р. В. Сапцын – аспирант кафедры физиологии растений и экологии почв;

Е. А. Ложкина – студент кафедры физиологии растений и экологии почв;

Е. В. Тыршу – студент кафедры физиологии растений и экологии почв.

Information about the authors

O. Z. Eremchenko, Doctor of Biology, PhD, professor, head of the Department of Plant Physiology and Soil Ecology;

R. V. Sapsyn – postgraduate of the Department of Plant Physiology and Soil Ecology;

E. A. Lozhkina – student of the Department of Plant Physiology and Soil Ecology;

E. V. Tyrshu – student of the Department of Plant Physiology and Soil Ecology.

Вклад авторов:

Еремченко О.З. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; доработка текста; итоговые выводы.

Сапцын Р. В. – сбор полевого материала, написание исходного текста.

Ложкина Е. А. – получение лабораторного материала, статистическая обработка материала.

Тыршу Е. В. – получение лабораторного материала, оформление таблиц, рисунков.

Contribution of the authors:

Eremchenko O.Z. – scientific guidance; research concept; development of methodology; text revision; final conclusions.

Sapsyn R.V. – collection of field material, writing the original text.

Lozhkina E. A. – obtaining laboratory material, statistical processing of the material.

Tyrshu E.V. – obtaining laboratory material, designing tables, figures.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.