

УДК 631.46

https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/15

Вершинин А.А., Петров А.М., Каримуллин Л.К., Князев И.В., Кузнецова Т.В.

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ПРИ РАЗНОМ ОСТАТОЧНОМ СОДЕРЖАНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Vershinin A.A., Petrov A.M., Karimullin L.K., Knyazev I.V., Kuznetsova T.V.

### PHYSIOLOGICAL ACTIVITY OF RECULTIVATED ALLUVIAL SOILS WITH DIFFERENT RESIDUAL CONTENT OF OIL PRODUCTS

**Аннотация.** Исследованы параметры дыхательной активности различных типов аллювиальных почв при разном остаточном содержании нефтепродуктов. В рекультивированных почвах не обнаружено ингибирующего действия нефтепродуктов на базальное дыхание. Субстрат-индуцированное дыхание большинства почв оставалось на уровне контроля либо несколько снижалось. Почвы значительно отличались по степени устойчивости их микробного пула к действию нефтепродуктов. Микрофлора аллювиальных почв способна преодолевать негативное влияние высоких концентраций нефти. В рекультивированных почвах не выявлено *сильное* влияние нефти на сообщества почвенных микроорганизмов. Преобладало *среднее* или *слабое* воздействие. Микробные сообщества легких аллювиальных почв более устойчивы к воздействию нефтепродуктов. Проведение восстановительных мероприятий на аллювиальных луговых почвах потребует большего внимания, чем рекультивационные работы, проводимые на аллювиальных болотных и луговых почвах.

**Ключевые слова:** аллювиальные почвы; нефтепродукты (НП); микробное сообщество; дыхательная активность; коэффициент микробного дыхания (Qr).

**Сведения об авторах:** Вершинин Анатолий Андреевич, ORCID: 0000-0002-1807-5727, канд. биол. наук, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, A-vershinin@mail.ru; Петров Андрей Михайлович, ORCID: 0000-0002-5117-2609, канд. биол. наук, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, zram2@rambler.ru; Каримуллин Ленар Камилевич, ORCID: 0000-0002-3897-4981, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, Karlenar@yandex.ru; Князев Игорь Владимирович, ORCID: 0000-0002-4336-984X, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, Kneze3@yandex.ru; Кузнецова Татьяна Васильевна ORCID: 0000-0001-7346-6221, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, kuznetsovatyana@mail.ru

**Abstract.** The respiratory activity parameters of various types of alluvial soils with different residual content of oil products were studied. The inhibitory effect of oil products on basal respiration in re-cultivated soils was not found. The substrate-induced respiration of most soils remained at the control level or decreased slightly. Soils differed significantly in the degree of resistance of their microbial pool to oil products. The microflora of alluvial soils is able to overcome the negative effects of high oil concentrations. In remediated soils, a strong effect of oil on the community of soil microorganisms was not found, while medium or low impact prevailed. Microbial communities of light alluvial soils showed more resistance to oil products. Restoration measures on alluvial meadow soils require more attention than remediation of alluvial bog and meadow soils.

**Keywords:** alluvialsoils; oilproducts (OP); microbialcommunity; respiratoryactivity; coefficient of microbial respiration (Qr).

**Information about authors:** Vershinin Anatoly Andreevich, ORCID: 0000-0002-1807-5727, Ph.D., Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Kazan, Russia, A-vershinin@mail.ru; Petrov Andrey Michailovich, ORCID: 0000-0002-5117-2609, Ph.D., Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), zram2@rambler.ru; Karimullin Lenar Kamilovich, ORCID: 0000-0002-3897-4981, Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Karlenar@yandex.ru; Knyazev Igor Vladimirovich, ORCID: 0000-0002-4336-984X, Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kneze3@yandex.ru; Kuznetsova Tatyana Vasilevna, ORCID: 0000-0001-7346-6221, Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), kuznetsovatyana@mail.ru.

Значительная часть речных пойм представлена аллювиальными почвами. Вследствие высокой плодородности на них осуществляется активная сельскохозяйственная деятельность. Загрязнение аллювиальных почв нефтью и продуктами ее трансформации не только снижает их плодородность, но и увеличивает риск попадания поллютантов в поверхностные воды, что требует проведения рекультивационных мероприятий. В связи с этим возникает закономерный вопрос: как уровень

остаточного содержания нефтепродуктов в рекультивированной аллювиальной почве влияет на физиологическую активность микробного пула, способность к восстановлению плодородия?

Рекультивированная почва может сохранять токсичность, обусловленную как самими нефтепродуктами, так и вторичными метаболитами, образующимися в процессе трансформации углеводородов нефти [16]. Аллювиальные почвы характеризуются слоистостью и обладают большим разнообразием состава и свойств. В связи с этим можно предположить, что способность различных типов аллювиальных почв преодолевать негативное воздействие нефтепродуктов будет отличаться. Самовосстановление экосистем определяется поведением аборигенных видов разного уровня организации: водорослей, грибов, травянистых и древесных растений [20]. Ведущая роль в нейтрализации поллютантов в почве отводится микрофлоре [7; 12; 14]. Скорость восстановления нормальных свойств почв определяется активностью ее микробного пула. Для оценки состояния и биологической активности почв применяются различные приемы: определяются качественный и количественный состав микрофлоры [6; 11; 13; 17]; ферментативная активность почв [1; 8; 9; 11]; интенсивность почвенного дыхания [2; 3; 16; 21]. Некоторые исследователи судят о состоянии микробного пула нефтезагрязненных почв по лизису колоний азотобактера, дезаминированию аминокислот и отношению микроорганизмов к кислороду [19].

В настоящем исследовании для определения биологической активности рекультивированных аллювиальных почв были использованы показатели почвенного дыхания. Многими авторами почвенное дыхание рассматривается как наиболее удобный и информативный показатель эколого-физиологического состояния почв [2; 3; 22]. Сведения о состоянии и потенциале микробного пула загрязненных почв позволяют экономически и экологически обосновать, оптимизировать проводимые рекультивационные и восстановительные мероприятия, осуществить разработку региональных нормативов допустимого остаточного содержания нефтепродуктов в почве (ДОСНП).

*Цель исследований* состоит в оценке функционального состояния рекультивированных аллювиальных почв при разном остаточном содержании нефтепродуктов.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводили в модельных опытах. Образцы почв были отобраны на территории Республики Татарстан, Чувашской Республики и Московской области. Изучаемые почвы представлены тремя типами: аллювиальная болотная иловато-глеевая, аллювиальная дерновая, аллювиальная луговая (табл. 1). Воздушно-сухую почву освобождали от механических примесей, остатков растений и вносили различное количество сернистой нефти Ямашинского месторождения Республики Татарстан.

Таблица 1

**Интервалы остаточного содержания нефтепродуктов в опытных вариантах исследованных рекультивированных аллювиальных почв**

Тип почвы	Условное обозначение	Механический состав	НП, г/кг
Аллювиальная болотная иловато-глеевая	Абс	Среднесуглинистая	1,7–11,7
	Абу	Супесчаная	1,1–9,9
Аллювиальная дерновая	Адт(М)	Тяжелосуглинистая	0,8–9,9
	Адт(Ч)	Тяжелосуглинистая	1,8–6,5
	Адт	Тяжелосуглинистая	1,9–6,0
	Адл	Легкосуглинистая	1,6–5,7
Аллювиальная луговая	Алс	Среднесуглинистая	1,6–5,8
	Алу(М)	Супесчаная	1,5–7,9
	Алу	Супесчаная	1,6–12,0

Эксперименты по условной рекультивации проводили в контейнерах размером 180x140x90 мм, содержащих по 1400 г воздушно-сухой почвы, при установленной влажности 60% от полной влагоемкости и температуре окружающего воздуха 20–25 °С. В качестве контроля (К) использовали чистые почвы. Ежедневно проводилось рыхление контрольных и опытных почвенных образцов. Длительность эксперимента составила 6 месяцев. Суммарное содержание нефтепродуктов (НП) в почве определяли ИК-спектрофотометрическим методом на анализаторе КН-2м [15]. Величину почвенного дыхания устанавливали газохроматографическим методом [5]. Были определены скорости базального дыхания ( $V_{\text{базал}}$ ) и субстрат-индуцированного дыхания ( $V_{\text{сид}}$ ) [1], рассчитан коэффициент микробного дыхания ( $Q_T = V_{\text{базал}}/V_{\text{сид}}$ ) [22].

**Результаты исследований.** Среди исследуемых почв встречались как легкие супесчаные почвы, так и почвы с тяжелым механическим составом (тяжелосуглинистые и легкоглинистые). Остаточное

содержание НП в опытных образцах определялось количеством внесенной нефти, типом почв и интенсивностью протекающих в них физико-химических и микробиологических процессов (табл. 1).

Известно, что загрязнение почвы нефтью сопровождается активизацией почвенного дыхания [3; 10]. В проведенных экспериментах интенсивность базального дыхания, отражающая доступность питательных субстратов, характеризовалась большим разнообразием. Выделяются три группы почв:

1. Почвы с низким уровнем  $V_{\text{базал}}$  (Абс, Абу, Адл), Интенсивность дыхания этих почв практически не зависела от остаточного содержания поллютанта и составляла 2,27–3,80 мкг  $\text{CO}_2/\text{г}\cdot\text{час}$  (рис. 1А);

2. В опытных образцах Алу, Адт и Алу(М)  $V_{\text{базал}}$  возрастало по мере увеличения концентрации НП, а затем стабилизировалось либо несколько снижалось;

3. В почвах третьей группы Алс, Адт(М), Адт(Ч)  $V_{\text{базал}}$  возрастала по мере увеличения остаточного содержания НП.

Таблица 1

**Интервалы остаточного содержания нефтепродуктов в опытных вариантах исследованных рекультивированных аллювиальных почв**

Тип почвы	Условное обозначение	Механический состав	НП, г/кг
Аллювиальная болотная иловато-глеевая	Абс	Среднесуглинистая	1,7–11,7
	Абу	Супесчаная	1,1–9,9
Аллювиальная дерновая	Адт(М)	Тяжелосуглинистая	0,8–9,9
	Адт(Ч)	Тяжелосуглинистая	1,8–6,5
	Адт	Тяжелосуглинистая	1,9–6,0
	Адл	Легкосуглинистая	1,6–5,7
Аллювиальная луговая	Алс	Среднесуглинистая	1,6–5,8
	Алу(М)	Супесчаная	1,5–7,9
	Алу	Супесчаная	1,6–12,0

При этом потолок скорости эмиссии  $\text{CO}_2$  в испытанном интервале содержания поллютанта в этих почвах не был достигнут. Существенным обстоятельством является то, что во всех условно рекультивированных почвах даже при максимальных уровнях остаточного содержания не выявлено ингибирующее действие НП на интенсивность базального дыхания. Величина эмиссии  $\text{CO}_2$  в рекультивированных почвах всегда была выше, чем в контрольных почвенных образцах. Повышенный уровень дыхания свидетельствует о продолжающейся деструкции НП.

Субстрат-индуцированное дыхание дает представление о количестве жизнеспособных микробных клеток, что позволяет оценить потенциал микробного пула почвы. В экспериментах обнаружены значительные различия в значениях  $V_{\text{сид}}$  изученных почв. Уровень  $V_{\text{сид}}$  в Абу почве не превышал 8,14 мкг  $\text{CO}_2/\text{г}\cdot\text{час}$ , тогда как в Алс почве он достигал 39,52 мкг  $\text{CO}_2/\text{г}\cdot\text{час}$ . При разном остаточном содержании НП в Адт почве наблюдались выраженные синусоидальные колебания значений  $V_{\text{сид}}$  (рис. 1Б), а в Адт(Ч) почве ее значения были ниже, чем в контроле. Принципиальное отличие  $V_{\text{сид}}$  от  $V_{\text{базал}}$  исследуемых почв состояло в том, что в большинстве рекультивированных почв значения  $V_{\text{сид}}$  были близки к уровню контроля, тогда как значения базального дыхания во всех случаях были значительно выше, чем в контроле (рис. 1 А, Б).

Показатели  $Q_r$  позволяют охарактеризовать устойчивость системы почвенных микроорганизмов к факторам воздействия, оценить стабильность микробного сообщества и разбалансированность почвенных окислительных процессов [3; 22]. Согласно [3; 21], значения  $Q_r = 0,1-0,3$  отражают достаточно устойчивое и стабильное состояние микробного пула. Более высокие величины указывают на наличие неблагоприятных климатических или антропогенных воздействий. Значения  $Q_r$ , равные 1,0 и выше, являются индикатором крайней степени воздействия на микробноценозы почв. Из исследованных наиболее устойчивыми оказались микробные сообщества Алу(М), Алу, Абс почв, значения  $Q_r$  которых в испытанном диапазоне содержания поллютанта варьировали в интервале 0,18–0,27 (рис. 1 В). В опытных вариантах рекультивированной Адт было зарегистрировано наибольшее нарушение стабильности микробного пула, а в Адл и Адт(Ч) почвах разбалансированность процессов регистрировалась при содержании поллютанта выше 4,0 г/кг. Значения коэффициента микробного дыхания Абу, Адт(М) и Алс почв в испытанном диапазоне не превышали 0,4, что близко к «нормальному» состоянию микрофлоры и указывает на их способность к быстрому самовосстановлению свойств и плодородия (рис. 1В).

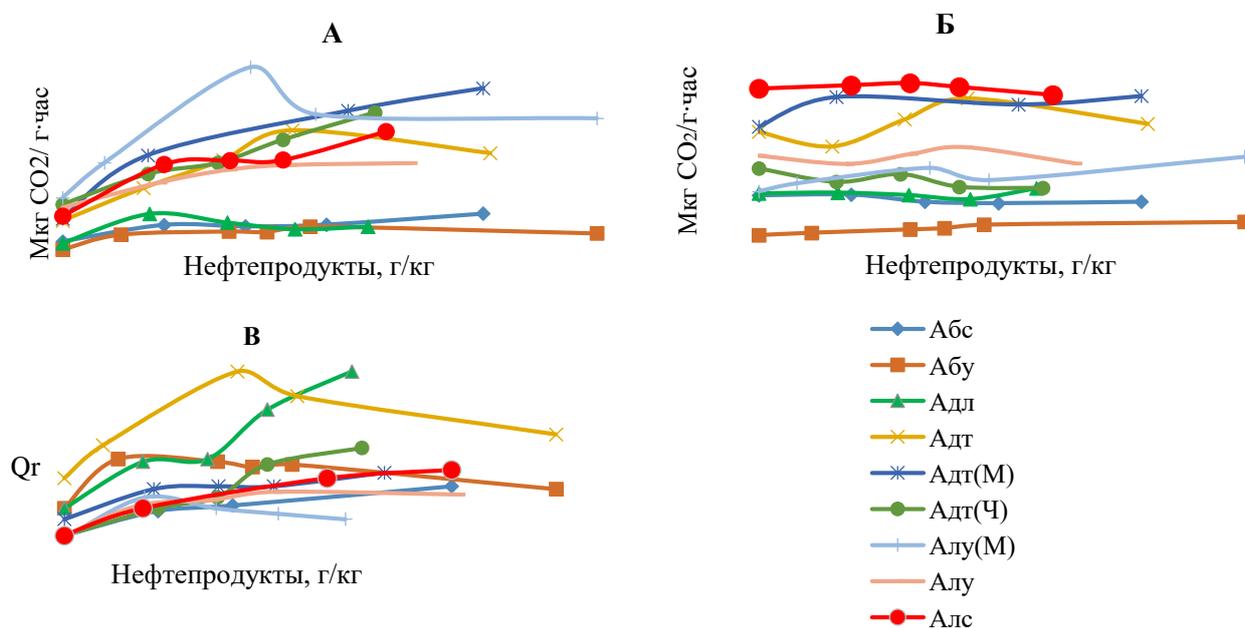


Рис. 1. Дыхательная активность рекультивированных аллювиальных почв: А – Vбазал; Б – Vсид; В – Qg.

Для определения функционального состояния рекультивированных нефтезагрязненных почв был также использован предложенный Благодатской и Ананьевой подход [4], согласно которому, степень негативного воздействия на микробное сообщество оценивается по величине Q`г равной отношению значений Q`г загрязненной почвы к Qg контрольной почвы ( $Q`г = Qg \text{ загр.} / Qg \text{ контр.}$ ) (табл. 2).

Таблица 2

Степень нарушения устойчивости микробного сообщества почв [4]

Величина Q`г	Степень воздействия
1	Отсутствует
1 – 2	Слабое
2 – 5	Среднее
5 – 10	Сильное
>10	Катастрофическое

Во всех рекультивированных аллювиальных почвах проявлялось воздействие НП на сообщество почвенных микроорганизмов (Q`г опытных образцов во всех выше, чем контрольных). Степень нарушения стабильности микробного пула зависела от остаточного содержания НП, типа почвы, и отличалась существенным образом. Слабое влияние НП на микробное сообщество обнаруживалось в Алу, Алу(М) и Абу почвах (рис. 2). Состояние двух последних представляется наиболее благоприятным. В остальных почвах в существующем на момент завершения рекультивации диапазоне остаточных концентраций НП, определена средняя степень воздействия на микробный пул. Наибольшее воздействие НП на микрофлору выявлено в Адт(Ч) при концентрации поллютанта выше 4,0 г/кг и в Алс выше 3,0 г/кг. В Адт(М) и Абс почвах по мере увеличения содержания НП наблюдалось постепенное снижение устойчивости микробного сообщества.

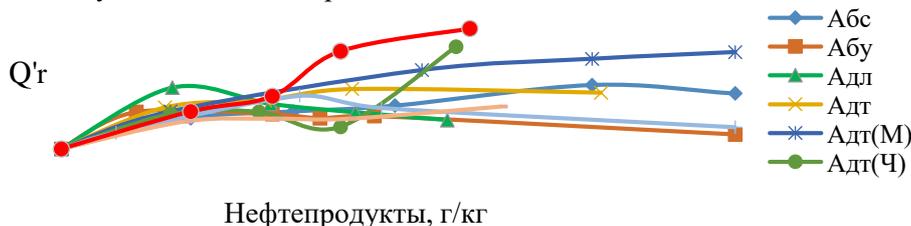


Рис. 2. Воздействие остаточных концентраций НП на коэффициент микробного дыхания рекультивированных аллювиальных почв Q`г ( $Q`г = Qg \text{ загр.} / Qg \text{ контр.}$ )

На основании полученных значений  $Q_g$  и  $Q'_g$  было рассчитано предельное остаточное содержание НП, при котором проявляется их *слабое* воздействие на микробное сообщество (табл. 3). В экспериментах наибольшую устойчивость к нефтяному загрязнению проявили микробные сообщества Абу и Алу(М) почв. В Адт и Адт(М) почвах естественный ход обменных процессов нарушался при остаточном содержании НП меньше 3,0 г/кг.

Таблица 3

**Предельное остаточное содержание (ПОС) НП в почвах,  
при котором наблюдается их слабое воздействие на микробное сообщество**

Тип почвы	Механический состав	Условное обозначение	ПОС НП, г/кг
Аллювиальная болотная	Супесчаная	Абу	9,9
Аллювиальная луговая	Супесчаная	Алу(М)	9,9
Аллювиальная луговая	Супесчаная	Алу	6,5
Аллювиальная дерновая	Легкосуглинистая	Адл	5,7
Аллювиальная луговая	Среднесуглинистая	Алс	5,7
Аллювиальная болотная	Среднесуглинистая	Абс	5,0
Аллювиальная дерновая	Тяжелосуглинистая	Адт(Ч)	4,7
Аллювиальная дерновая	Тяжелосуглинистая	Адт	2,9
Аллювиальная дерновая	Тяжелосуглинистая	Адт(М)	2,7

Проведенное ранжирование аллювиальных почв наглядно показывает, что микробные сообщества легких почв более устойчивы к воздействию НП. Из представленных данных очевидно, что проведение восстановительных мероприятий на аллювиальных луговых почвах потребует большего внимания, чем работы, проводимые на загрязненных аллювиальных болотных и луговых почвах.

#### Выводы

1. Остаточное содержание НП в испытанном диапазоне концентраций стимулировало интенсивность базального дыхания рекультивированных аллювиальных почв. Субстрат-индуцированное дыхание в большинстве случаев оставалось на уровне контроля, а в некоторых почвах незначительно снижалось.

2. Показатели почвенного дыхания ( $V_{\text{базал}}$ ,  $Q_g$ ) свидетельствуют о том, что в рекультивированных аллювиальных почвах на фоне нарушения стабильности сообщества почвенных микроорганизмов продолжается минерализация нефтепродуктов.

3. Микрофлора аллювиальных почв способна преодолевать негативное влияние высоких концентраций нефти. В условиях минимальных рекультивационных мероприятий (увлажнение, рыхление) из 9 изученных почв в 6 выявлена средняя степень воздействия поллютанта на микробный пул; в 3 почвах воздействие определено как слабое.

4. Микробные сообщества легких аллювиальных почв более устойчивы к воздействию нефтепродуктов. Проведение восстановительных мероприятий на аллювиальных луговых почвах потребует большего внимания, чем рекультивационные работы, проводимые на аллювиальных болотных и луговых почвах.

5. Параметры дыхательной активности и сведения о состоянии микробного сообщества в условиях, определенных диапазоном остаточных концентраций НП, могут служить основой для разработки региональных нормативов допустимого остаточного содержания нефтепродуктов в почвах (ДОСНП).

#### Литература

1. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Орлинский Д.Б., Мякшина Т.Н. Методические аспекты определения скорости субстрат-индуцированного дыхания почвенных микроорганизмов // Почвоведение. 1993. №11. С. 72–77.
2. Ананьева Н.Д., Хакимов Ф.И., Деева Н.Ф., Сусьян Е.А. Влияние полихлорированных бифенилов на микробную биомассу и дыхание серой лесной почвы // Почвоведение. 2005. №7. С. 871–876.
3. Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д., Мякшина Т.Н. Характеристика состояния микробного сообщества почвы по величине метаболического коэффициента // Почвоведение. 1995. №2. С. 205–210.
4. Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д. Оценка устойчивости микробных сообществ в процессе разложения поллютантов в почве // Почвоведение. 1996. №11. С. 1341–1346.
5. Гарусов А.В., Алимова Ф.К., Селивановская С.Ю., Захарова Н.Г., Егоров С.Ю. Газовая хроматография в биологическом мониторинге почвы. Казань: Изд-во КГУ, 2006. 90 с.
6. Гузев В.С., Левин С.В. Перспективы эколого-микробиологической экспертизы состояния почв при антропогенных воздействиях // Почвоведение. 1991. № 9. С. 50–62.

7. Гузев В.С., Левин С.В. Техногенные изменения сообщества почвенных микроорганизмов // Перспективы развития почвенной биологии. М: Изд-во МАКС Пресс, 2001. С. 178-219.
8. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Колесников С.И. Использование интегрального показателя для оценки пространственной дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата // Сибирский экологический журнал. 2015. №1. С. 112-120.
9. Каримуллин Л.К., Петров В.М., Вершинин А.А., Шурмина Н.В. Физиологическая активность почв при разных уровнях нефтяного загрязнения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук 2015. Т.17. №4. С. 797-803.
10. Киреева Н.А., Водопьянов В.В., Мифтахов А.М. Биологическая активность нефтезагрязненных почв. Уфа: Гилем, 2001. 376 с.
11. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Ямалетдинова Г.Ф. Диагностические критерии самоочищения почв от нефти // Экология и промышленность России. 2001. №12. С. 34-35.
12. Киреева Н.А., Бакаева М.Д., Галимзянова Н.Ф. Влияние возрастающих концентраций нефти на микромицеты в выщелоченном черноземе // Микология и фитопатология. 2003. Т 3. №2. С. 53–59.
13. Кузнецова Т.В., Петров А.М., Князев И.В., Хабибуллин Р.Э. Состав микробных сообществ при разном содержании нефтепродуктов в серых лесных почвах // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. №14. С. 165-168.
14. Маслов М.Н., Маслова О.А., Ежелев З.С. Микробиологическая трансформация органического вещества в нефтезагрязненных тундровых почвах после рекультивации // Почвоведение. 2019. №1. С. 70–78. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19010106>
15. ПНД Ф 16.1:2222-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии.
16. Петров А.М., Вершинин А.А., Каримуллин Л.К., Акайкин Д.В., Тарасов О.Ю. Динамика эколого-биологических характеристик дерново-подзолистых почв в условиях длительного нефтяного загрязнения // Почвоведение. 2016. №7. С. 848–856. <https://doi.org/107868/S0032180x16050130>
17. Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г. Содержание и структура микробной массы как показатель экологического состояния почв // Почвоведение. 2005. № 6. С. 706-714.
18. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука. 2005. 252 с.
19. Усачева Ю.Н. Функциональная активность и численность микроорганизмов в условиях нефтяного загрязнения // Вестник Нижневартского государственного университета. 2013. №3. С.56-59.
20. Усманов И.Ю., Юмагулова Э.Р., Иванов В.Б., Коркина Е.А., Щербаков А.В., Иванов Н.А., Рябуха А.В. Адаптация экосистем Среднего Приобья в зоне нефтедобычи: иерархия и длительность процессов // Вестник Нижневартского государственного университета. 2016. №2. С.79-86.
21. Anderson T. H., Domsch K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils // Soil biology and biochemistry. 1993. Vol. 25. №3. P. 393-395. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90140-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7)
22. Hund K., Schenk B. The microbial respiration quotient as indicator for bioremediation processes // Chemosphere. 1994. Vol. 28. №3. P. 477-490. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(94\)90292-5](https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)90292-5)

#### References

1. Anan'eva, N.D., Blagodatskaya, E.V., Orlinskij, D.B., & Myakshina, T.N. (1993). Metodicheskie aspekty opredeleniya skorosti substrat-inducirovannogo dyhaniya pochvennyh mikroorganizmov [Methodological aspects of determining the rate of substrate- induced respiration of soil microorganisms]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (11), 72–77.
2. Anan'eva, N.D., Hakimov, F.I., Deeva, N.F., & Sus'yan, E.A. (2005). Vliyanie polihlorirovannyhbifenilov na mikrobnuyu biomassu I dyhanie seroj lesnoj pochvy [Effect of polychlorinated biphenyls on microbial biomass and respiration of gray forest soil]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (7), 871-876.
3. Blagodatskaya, E.V., Anan'eva, N.D., & Myakshina, T.N. (1995). Harakteristika sostoyaniya mikrobnogo soobshchestva pochvy po velichine metabolicheskogo koefficienta [Characteristics of the state of the soil microbial community by the value of the metabolic coefficient]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (2), 205-210.
4. Blagodatskaya, E.V., & Anan'eva, N.D. (1996). Ocenka ustojchivosti mikrobnnyh soobshchestv v processe razlozheniya pollyutantov v pochve [Assessment of the stability of microbial communities in the process of decomposition of pollutants in the soil]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (11), 1341–1346.
5. Garusov, A.V., Alimova, F.K., Selivanovskaya, S.Yu., Zaharova, N.G., & Egorov, S.Yu. (2006). Gazovaya hromatografiya v biologicheskom monitoringe pochvy [Gas chromatography in soil biological monitoring]. Kazan'.
6. Guzev, V.S., & Levin, S.V. (1991). Perspektivy ekologo-mikrobiologicheskoy ekspertizy sostoyaniya pochv pri antropogennyh vozdeystviyah [Prospects for ecological and microbiological examination of soil conditions under anthropogenic influences]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (9), 50–62.
7. Guzev, V.S., & Levin, S.V. (2001). Tekhnogennye izmeneniya soobshchestva pochvennyh mikroorganizmov. In *Perspektivy razvitiya pochvennoj biologii [Technogenic changes in the community of soil microorganisms, Prospects for the development of soil biology]*, Moscow, 178-219.
8. Kazeev, K.Sh., Kozun', Yu.S., & Kolesnikov, S.I. (2015). Ispol'zovanie integral'nogo pokazatelya dlya ocenki prostranstvennoj differenciacii biologicheskikh svojstv pochv yuga Rossii v gradiente aridnosti klimata [Using an integral

indicator to assess the spatial differentiation of biological properties of soils in the South of Russia in the climate aridity gradient]. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal [Publishing House of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences]*. (1). 112-120.

9. Karimullin, L.K., Petrov, V.M., Vershinin, A.A., & Shurmina, N.V. (2015). Fiziologicheskaya aktivnost' pochv pri raznyh urovnyah neftyanogo zagryazneniya [Physiological activity of soils at different levels of oil pollution]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 17(4). 797-803.

10. Kireeva, N.A. (2001). Biologicheskaya aktivnost' neftezagryaznennyh pochv [Biological activity of oil-contaminated soils]. Ufa.

11. Kireeva, N.A., Novoselova, E.I., & Yamaletdinova, G.F. (2001). Diagnosticheskie kriterii samoochishcheniya pochv ot nefti [Diagnostic criterion for soil self-purification from oil]. *Ekologiya I promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]*, (12), 34-35.

12. Kireeva, N.A., Bakaeva, M.D., & Galimzyanova, N.F. (2003). Vliyanie vozrastayushchih koncentracij nefti na mikromicety v vyshchelochennom chernozeme [Influence of increasing oil concentrations on micromycetes in leached Chernozem]. *Mikologiya I fitopatologiya [Mycology and Phytopathology]*, 3(2). 53-59.

13. Kuznetsova, T.V., Petrov, A.M., Knyazev, I.V., & Habibullin, R.E. (2016). Sostav mikrobnih soobshchestv pri raznom soderzhanii nefteproduktov v seryh lesnyh pochvah [Composition of microbial communities with different content of petroleum products in gray forest soils]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan technological university]*, 19(14). 165-168.

14. Maslov, M.N., Maslova, O.A., & Ezhelev, Z.S. (2019). Mikrobiologicheskaya transformaciya organicheskogo veshchestva v neftezagryaznennyh tundrovyyh pochvah posle rekul'tivacii [Microbiological transformation of organic matter in oil-contaminated tundra soils after reclamation]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (1). 70-78. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19010106>

15. PND F 16.1:2.2.22-98. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj doli nefteproduktov v mineral'nyh, organo-mineral'nyh pochvah I donnyh otlozheniyah metodom IK-spektrometrii [Method for measuring the mass fraction of petroleum products in mineral, organo-mineral soils and bottom sediments by IR spectrometry].

16. Petrov, A.M., Vershinin, A.A., Karimullin, L.K., Akajkin, D.V., & Tarasov, O.Yu. (2016). Dinamika ekologo-biologicheskikh harakteristik dernovo-podzolistykh pochv v usloviyah dlitel'nogo neftyanogo zagryazneniya [Dynamics of ecological and biological characteristics of sod-podzolic soils under conditions of long-term oil pollution]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (7). 848-856. <https://doi.org/107868/S0032180x16050130>

17. Polyanskaya, L.M., & Zvyaginцев, D.G. (2005). Soderzhanie I struktura mikrobnj massy kak pokazatel' ekologicheskogo sostoyaniya pochv [Content and structure of microbial mass as an indicator of the ecological state of soils]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (6). 706-714.

18. Haziev, F.H. (2005). Metody pochvennoj enzimologii [Methods of soil Enzymology]. Moscow.

19. Usacheva, Yu.N. (2013). Funkcional'naya aktivnost' I chislennost' mikroorganizmov v usloviyah neftyanogo zagryazneniya [Functional activity and number of microorganisms in conditions of oil pollution]. *Vestnik Nizhneartovskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin Of Nizhneartovsk State University]*, (3), 56-59.

20. Usmanov, I.Yu., Yumagulova, E.R., Ivanov, V.B., Korkina, E.A., Shcherbakov, A.V., Ivanov, N.A., & Ryabuha, A.V. (2016). Adaptaciya ekosistem Srednego Priob'ya v zone nefte dobychi: ierarhiya I dlitel'nost' processov [Adaptation of middle Ob river ecosystems in the oil production zone: hierarchy and duration of processes]. *Vestnik Nizhneartovskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Nizhneartovsk State University]*, (2). 79-86.

21. Anderson, T. H., & Domsch, A. K. (1993). The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil biology and biochemistry*, 25(3), 393-395. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90140-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7)

22. Hund, K., & Schenk, B. (1994). The microbial respiration quotient as indicator for bioremediation processes. *Chemosphere*, 28(3), 477-490. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(94\)90292-5](https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)90292-5)

---

Вершинин А.А., Петров А.М., Каримуллин Л.К., Князев И.В., Кузнецова Т.В. Физиологическая активность рекультивированных аллювиальных почв при разном остаточном содержании нефтепродуктов // Вестник Нижнеартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 112-118. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/15>

Vershinin, A.A., Petrov, A.M., Karimullin, L.K., Knyazev, I.V. & Kuznetsova, T.V. (2021). Physiological Activity of Recultivated Alluvial Soils with Different Residual Content of Oil Products. *Bulletin of Nizhneartovsk State University*. (2(54)). 112-118. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/15>

---

дата поступления: 29.06.2020

дата принятия: 08.09.2020

