

Вершинин А.А., Петров А.М., Зайнулгабидинов Э.Р., Каримуллин Л.К.

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1807-5727>, <https://orcid.org/0000-0002-5117-2609>,

<https://orcid.org/0000-0002-5372-9984>, <https://orcid.org/0000-0002-3897-4981>,

E-mail: A-vershinin@mail.ru

НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ПОЧВ

Изучено содержание углерода микробной биомассы (Смик) в светло-серой лесной среднесуглинистой, серой лесной легкосуглинистой, темно-серой лесной легкосуглинистой, дерново-подзолистой супесчаной и дерново-подзолистой среднесуглинистой почвах при разных уровнях остаточного содержания нефтепродуктов. Характер изменения содержания углерода микробной биомассы и доли микробного углерода в органическом веществе почвы (Смик/Сорг) зависел от типа почвы, его гранулометрического состава и остаточного содержания нефтепродуктов. Увеличение содержания неполярных углеводородов приводило к снижению значений углерода микробной биомассы и Смик/Сорг. Среди изученных почв наиболее подвержена негативному воздействию нефти микрофлора дерново-подзолистой супесчаной почвы. В темно-серой лесной легкосуглинистой почве содержание углерода микробной биомассы оставалось на высоком уровне и, практически, не менялось даже при высоких дозах поллютанта. В испытанном диапазоне содержания нефтепродуктов не выявлено их ингибирующего действия на базальное дыхание изученных почв, что указывает на достаточно интенсивное деструкцию нефтяных углеводородов. На фоне отсутствия влияния содержания поллютанта на скорость базального дыхания, увеличение содержания нефтепродуктов приводило к снижению скорости субстрат-индуцированного дыхания, которое было наиболее выражено в опытных вариантах легкой дерново-подзолистой супесчаной почвы. В темно-серой лесной легкосуглинистой почве 10% снижение активности зарегистрировано только в вариантах содержащих 4,94 и 6,45 г/кг нефтепродуктов. Практически во всех вариантах опытов зафиксировано ингибирующее действие нефтяных загрязнений на рост корней пшеницы. Дерново-подзолистая супесчаная почва была наиболее подвержена негативному воздействию поллютанта, для нее был характерен высокий уровень ингибирования роста корней пшеницы во всех вариантах эксперимента. В остальных почвах фитозащитный эффект определялся остаточным содержанием нефтепродуктов в почве. В ходе проведенных исследований обнаружена определенная взаимосвязь между микробным потенциалом (Смик и Смик/Сорг) и токсичностью загрязненных нефтью почв. Максимальная токсичность для высших растений была выявлена в дерново-подзолистой супесчаной почве, обладающей минимальным запасом микробного углерода.

Ключевые слова: нефть, углерод микробной биомассы, органический углерод, базальное дыхание, субстрат-индуцированное дыхание, токсичность.

Vershinin A.A., Petrov A.M., Zaynulgabidinov E.R., Karimullin L.K.

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences

(separate subdivision of State institution «Tatarstan Academy of Sciences»), Kazan, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1807-5727>, <https://orcid.org/0000-0002-5117-2609>,

<https://orcid.org/0000-0002-5372-9984>, <https://orcid.org/0000-0002-3897-4981>,

E-mail: A-vershinin@mail.ru

OIL POLLUTION AND MICROBIAL BIOMASS IN DIFFERENT TYPES OF SOILS

Content of microbial biomass carbon (Cmic) in light-grey forest medium loamy soil, grey forest light loamy soil, dark-grey forest light loamy soil, sod-podzolic sandy loamy soil and sod-podzolic medium loamy soil under different levels of residual content of oil products was studied. The nature of change of microbe biomass carbon and share of microbial carbon in organic substance of soil (Cmic/Corg) dependent on soil type, granulometric composition and residual content of oil. Increase of non-polar hydrocarbons concentration led to decrease both microbial biomass carbon and Cmic/Corg. Among the soils studied microbiota of sod-podzolic sabulous soil appeared to be the most sensitive to oil pollution. Carbone content of dark-grey forest light loamy soil remained at high level and virtually unchanged even high doses of pollutant. The lack of inhibitory effect on the basal respiration of studied soils within the using range of pollutant concentrations indicates sufficiently intensive degradation of oil hydrocarbons. Against the background of absence of influence of pollutant concentration on the speed of basal respiration, increase in content of oil products led to a increase in the speed of substrate-induced respiration. This effect is most pronounced in the experimental variants of light sod-podzolic sandy loamy soil. The decrease in activity of substrate-induced respiration of dark-grey forest light loamy soil in 10% is registered only in variants containing 4,94 and 6,45 g/kg of oil products. Practically in all variants of experiment the inhibitory effect of oil pollution on the growth of wheat roots was recorded. Sod-podzolic sandy loamy soil was most exposed to the negative influence of the pollutant. In other soils, phytoeffect is determinate by the residual oil content in soil. In the course of conducted researches some interrelation between microbial potential (Cmic and Cmic/Corg) and toxicity of oil polluted soils was found. The maximum toxicity for higher plants were identified in the sod-podzolic sandy loamy soil, with a minimum reserve of microbial carbon.

Key words: oil, microbial biomass carbon (Cmic), organic carbon (Corg), basal respiration, substrate-induced respiration, toxicity

Микробная биомасса является компонентом почвенного органического вещества. Несмотря на сравнительно небольшое содержание микробного углерода (1–4%) в составе органического вещества почвы, этот пул играет исключительно важную роль в круговороте биогенных элементов и трансформации веществ различной природы [1]. Одной из главных причин устойчивости почвы к неблагоприятным факторам, по-видимому, является наличие в ней «избыточной биомассы» в сочетании с «избыточным» же видовым разнообразием [2]–[4]. Содержание микробного углерода (Смик) является важным эколого-физиологическим показателем, отражающим потенциал почвенного микробного сообщества и его способность преодолевать неблагоприятные климатические или антропогенные воздействия. Известны исследования, в которых изучалось содержание и динамика Смик в различных типах почв [5], [6], а также в почвах разных ландшафтов [7] и экосистем [8]–[10]. В работе [11] отражено влияние агротехнических приемов на запасы микробной массы почв сельскохозяйственных угодий. Менее известно о том, что происходит с микробной массой почв в условиях нефтяного загрязнения.

Цель исследований заключалась в изучении доли микробного углерода в различных типах почв, при разном остаточном содержании нефтепродуктов.

Материалы и методы

Были изучены следующие почвы: светло-серая лесная среднесуглинистая (Ссл); серая лесная легкосуглинистая (Сл); темно-серая лесная легкосуглинистая (Тсл); дерново-подзолистая супесчаная (Дп-сп) и дерново-подзолистая среднесуглинистая (Дп-сг). В опытные образцы почв вносили разные дозы сернистой нефти Ямашинского месторождения Республики Татарстан. В ходе пятимесячной инкубации при температуре 20–24 °С и влажности 60% от полной влагоемкости проводилось еженедельное рыхление контрольных (К) и опытных образцов почв. Конечное остаточное содержание нефтепродуктов (НП) в опытных образцах [12] составило: в Ссл – 0,73; 1,98; 3,73 и 6,0 г/кг; Сл – 0,93; 2,05; 4,20 и 5,80 г/кг; Тсл – 1,33; 1,79; 4,94

и 6,45 г/кг; Дп-сп – 1,53; 3,35; 4,80 и 8,30 г/кг; Дп-сг – 1,12; 2,60; 4,80 и 7,00 г/кг, соответственно в вариантах В1, В2, В3 и В4.

Содержание органического углерода (Сорг) в почвах устанавливали методом бихроматного окисления [13]. Интенсивность почвенного дыхания определяли на газовом хроматографе «Хроматек Кристалл 5000.2». Колонка длиной 3,0 м, внутренним диаметром 3 мм. Адсорбент Hayesep N 80/100. В качестве детектора был использован катарометр. На основе хроматографических измерений [14] были определены базальное (Vбазал) и субстрат-индуцированное (Vсид) дыхание [15]. Скорость дыхания выражали в мкг CO₂/г сухой почвы в час. Содержание углерода микробной биомассы (Смик) вычисляли по уравнению: Смик (мкг/г) = Vсид (мкл CO₂/г·час)·40,04+0,37 [16]. Острую токсичность почвенных проб определяли по изменению длины корней проростков пшеницы [17]. Результаты обработаны статистически при помощи специализированной программы.

Результаты и обсуждение

Загрязнение почв нефтью сопровождалось закономерным усилением почвенного дыхания. Степень влияния остаточного содержания поллютанта на величину эмиссии CO₂ была различной. Более всего Vбазал возрастала в Тсл (в 2,1–3,0 раза) и Ссл (1,7–2,5 раза) почвах, тогда как дыхательная активность опытных образцов Дп-сп почвы увеличивалась только в 1,1–1,6 раза (табл. 1). Интенсивность почвенного дыхания указывает на продолжающиеся процессы минерализации органического вещества почвы и, в первую очередь, на деструкцию нефтяных углеводородов.

На фоне повышения Vбазал в конце эксперимента зарегистрировано снижение величины Vсид (табл. 2), которое было наиболее выражено в опытных вариантах Дп-сп почвы (60–40% от кон-

Таблица 1 – Базальное дыхание почв (мкг CO₂/ г час)

Вариант	Почва				
	Сл	Ссл	Тсл	Дп-сп	Дп-сг
К	3,82	3,29	4,90	3,71	4,83
В1	6,35	5,72	10,19	4,46	6,20
В2	6,74	8,08	10,25	4,14	6,94
В3	7,61	9,01	11,77	5,02	9,52
В4	8,32	9,33	14,79	5,79	11,91

троля). Практически не проявлялось влияние присутствующих в почве поллютантов на активность микробного пула Тсл почвы, 10% снижение активности в которой зарегистрировано только в вариантах содержащих 4,94 и 6,45 г/кг нефтепродуктов. В других вариантах ингибирующее действие НП на микрофлору было более выражено, что проявлялось в замедлении эмиссии CO₂, обозначая снижение количества жизнеспособных микробных клеток в почвенных ценозах.

Практически во всех опытных вариантах было зафиксировано ингибирующее действие

поллютанта на рост корней пшеницы (рис. 1). В варианте В1 Ссл почвы отсутствие токсического действия определяется самым низким остаточным содержанием нефтепродуктов (0,73 г/кг). В данном варианте зарегистрирована достоверная стимуляция роста корней пшеницы. Наиболее подвержена негативному воздействию НП Дп-сп почва, для нее характерен высокий уровень ингибирования во всех опытных вариантах эксперимента. В остальных почвах фитозащитный эффект определялся остаточным содержанием нефтепродуктов в почве.

Исследуемые почвы значительно отличались друг от друга по содержанию Сорг. В контрольных образцах максимальный уровень органического углерода обнаружен в Ссл и Дп-сп почвах, минимальный в Дп-сп почве. Внесение дополнительного источника углерода (нефти) приводило к увеличению концентрации Сорг во всех опытных образцах (рис. 2).

Углерод микробной биомассы является составной частью органического углерода почвы и рассматривается как индикатор со-

Таблица 2 – Субстрат-индуцированное дыхание почв (мкг CO₂/ г час)

Вариант	Почва				
	Сл	Ссл	Тсл	Дп-сп	Дп-сг
К	45,31	70,23	52,77	31,44	43,26
В1	40,23	58,30	51,96	20,16	33,96
В2	41,30	58,41	54,02	15,84	32,11
В3	35,73	51,95	47,37	13,25	28,35
В4	31,96	51,04	49,09	13,10	32,92

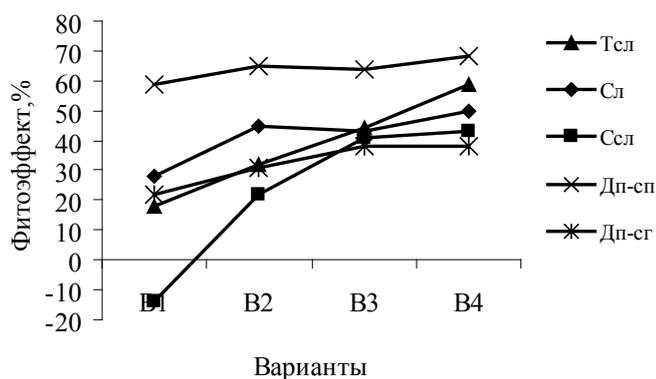


Рисунок 1 – Токсичность нефтезагрязненных почв (тест-объект – пшеница)

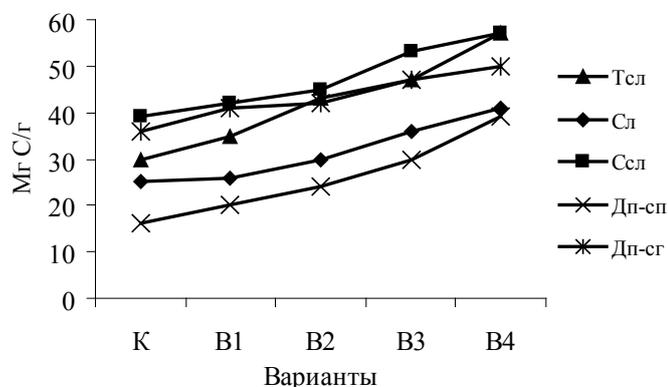


Рисунок 2 – Содержание органического углерода в почвах (мг/г).

стояния пула органического углерода почв [9]. Существует несколько методов определения Смик: фумигации-экстракции [18]; фумигации-инкубации [19]; субстрат-индуцированного дыхания [16]. Российские исследователи отдают предпочтение последнему. Величина Смик в чистых исследуемых почвах располагалась в интервале 0,632–1,412 мг С/г. Наиболее велики запасы Смик в Ссл почве, в легкой ДП-сп почве минимальны (рис. 3).

Характер изменения содержания микробного углерода зависел от типа почв и дозы вносимого поллютанта. В большинстве опытных образцов прослеживалась тенденция к уменьшению содержания Смик по мере увеличения остаточного содержания нефтепродуктов. Минимальное воздействие нефтяных углеводородов на содержание микробного углерода зарегистрировано в Тсл почве.

В почвоведческой практике зачастую вычисляется индекс Смик/Сорг. Он, наряду с абсолютным содержанием Смик, использует-

ся для характеристики состояния почв. Этот показатель служит индикатором доступности органического углерода для почвенной микрофлоры. Чем выше этот индекс, тем больше органического вещества фиксируется в микробной массе. В изученных нами контрольных почвах величина Смик/Сорг располагалась в интервале 2,42–3,95%, что соответствует данным других авторов для различных типов почв [3]. Эксперименты показали, что нефтяное загрязнение закономерно существенно снижает соотношение Смик/Сорг почвах. В образцах ДП-сп почвы, остаточное содержание нефтепродуктов мало влияло на долю содержащегося в ней микробного углерода, тогда как более бедное микробное сообщество Дп-сп почвы было сильно подвержено влиянию поллютанта (рис. 4).

Заключение

Исследуемые почвы существенно отличались друг от друга по запасам микробной биомассы. Наиболее богаты микробным углеродом

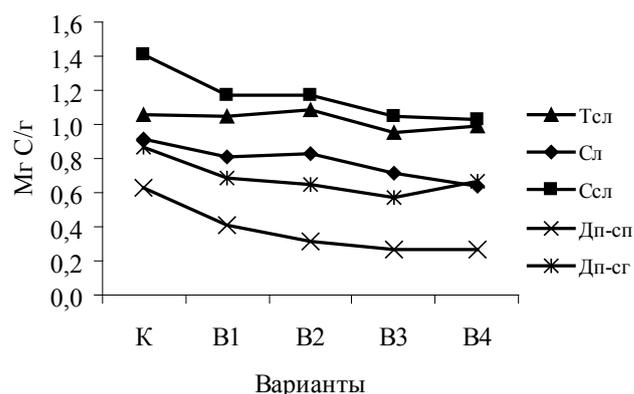


Рисунок 3 – Содержание углерода микробной биомассы в почвах (мг/г)

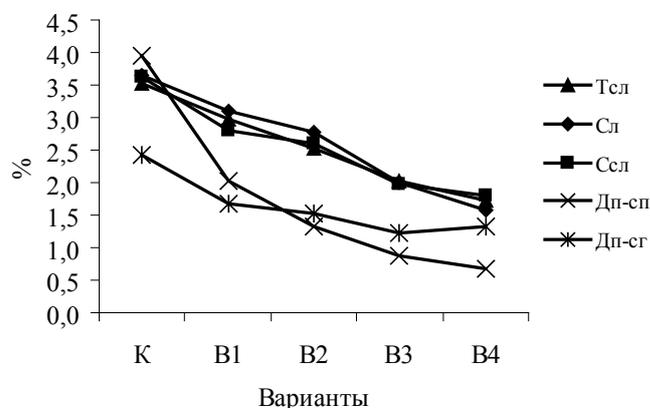


Рисунок 4 – Доля микробного углерода в органическом веществе почвы (Смик/Сорг)

серые лесные почвы, что и определяет их повышенный потенциал, способность к преодолению неблагоприятных климатических и антропогенных воздействий. Загрязнение почв нефтью усиливало базальное дыхание, что указывает на доступность источников углерода для микробного сообщества и активную деструкцию органического субстрата.

Вместе с тем, поступление токсичного субстрата приводило к элиминации ряда микроорганизмов, активно окисляющих более простые и природные субстраты, следствием которой являлось снижение содержания микробного углерода в почве, уменьшение количества жизнеспособных микробных клеток. Тенденция снижения содержания микробного углерода выявлена во всех исследованных почвах. Характер изменения содержания Смик зависел от типа почвы и остаточного содержания нефтепродуктов. На фоне изученных почв, выделялась Тсл почва, содержание Смик в которой оставалось на высоком уровне и, практически, не менялось даже при высоких дозах поллютанта.

Внесение органического вещества в виде нефти не приводило к увеличению численности почвенных микроорганизмов, под его воздействием доля микробного углерода в органическом веществе почвы снижалась. Величина Смик/Сорг в различных подтипах серой лесной почвы менялась сходным образом. В дерново-

подзолистых почвах характер изменения этого индекса отличался существенным образом. В чистой супесчаной дерново-подзолистой почве отношение Смик/Сорг было максимальным, однако резко снижалось в условиях нефтяного загрязнения. В ДП-сг почве, напротив, при повышении содержания поллютанта доля микробного углерода менялась незначительно.

Таким образом, нефтяное загрязнение вызывает снижение доли микробного углерода в органическом веществе почвы, означая снижение потенциала микробного сообщества, а также уменьшение видового разнообразия почвенной микрофлоры. Установленные параметры (Смик и Смик/Сорг) позволяют заключить, что наиболее подвержено негативному воздействию микрофлора легкой ДП-сп почвы. Вместе с тем, в испытанном диапазоне концентрации загрязнителя не выявлено его ингибирующее действие на базальное дыхание почв, что указывает на то, что во всех почвах с различной интенсивностью происходит деструкция нефтяных углеводородов.

В ходе проведенных исследований обнаружена определенная взаимосвязь между микробным потенциалом (Смик и Смик/Сорг) и токсичностью загрязненных нефтью почв. Максимальная токсичность для высших растений выявлена на Дп-сп почве, обладающей минимальным запасом микробного углерода.

15.11.2017

Список литературы:

1. Кудеяров, В.Н. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах / В.Н. Кудеяров. – Москва: Наука, 2007. – 315 с.
2. Полянская, Л.М. Содержание и структура микробной массы как показатель экологического состояния почв / Л.М. Полянская, Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. – 2005. – №6. – С. 706–714.
3. Состав микробных сообществ при различном содержании нефтепродуктов в серых лесных почвах / Т.В. Кузнецова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т.19. – №14. – С. 165–168.
4. Методы биологической диагностики почв / И.А. Дегтярева [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20. – №24. – С. 163–168.
5. Углерод микробной биомассы в профиле лесных почв южной тайги / Е.А. Сусьян [и др.] // Почвоведение. – 2009. – №10. – С. 1233–1240.
6. Приходько, В.Е. Базальное дыхание и состав микробной биомассы целинных, агро- и лесомелиорированных полупустынных почв северного Прикаспия / В.Е. Приходько, М.Л. Сиземская // Почвоведение. – 2015. – №8. – С. 974–983.
7. Углерод микробной биомассы и микробное продуцирование двуокси углерода дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов и коренных ельков Южной тайги (Костромская область) / Н.Д. Ананьева [и др.] // Почвоведение. – 2009. – №9. – С. 1108–1116.
8. Биомасса и дыхательная активность почвенных микроорганизмов в антропогенно-измененных экосистемах (Московская область) / К.В. Иващенко [и др.] // Почвоведение. – 2014. – №9. – С. 1077–1088.
9. Жукова, А.Д. Показатели микробного дыхания в почвенном покрове импактной зоны предприятия по производству минеральных удобрений / А.Д. Жукова, Д.М. Хомяков // Почвоведение. – 2015. – №8. – С. 984–982.
10. Влияние остаточного содержания нефтепродуктов на состав и активность почвенного микробного сообщества / А.М. Петров [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 23. – №17. – С. 356–359.
11. Баланс углерода в почвах залежей Подмосковья / И.Н. Курганова [и др.] // Почвоведение. – 2007. – №1. – С. 60–68.
12. ПНД Ф 16.1.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. – М.: 1998. – 11 с.
13. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – Москва: МГУ, 1961. – 491 с.
14. Газовая хроматография в биологическом мониторинге почвы / А.В. Гарусов [и др.]. – Казань: Изд-во КГУ, 2006. – 90 с.

15. Методические аспекты определения скорости субстрат-индуцированного дыхания почвенных микроорганизмов / Н.Д. Ананьева [и др.] // Почвоведение. – 1993. – №11. – С. 72–77.
16. Anderson, T.-H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils / T.-H. Anderson, K.H. Domsch // *Soil Biol. Biochem.* – 1978. – Vol. 10. – N 3. – P. 215–221.
17. ФР. 1.39.2006.02264. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв. – С-П.: 2009. – 20 с.
18. Chlopoform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil / P.C. Brookes [et al.] // *Soil Biol. Biochem.* – 1985. – Vol. 17. – P. 837–842.
19. Jenkinson, D.S. The soil biomass / D.S. Jenkinson // *New Zeland Soil News.* – 1977. – Vol. 25. – P. 213–218.

References:

1. Kudeyarov V.N. *Puly i potoki ugleroda v nazemnykh ehkositemah* [Pools and carbon fluxes in terrestrial ecosystems]. Moskva: Nauka, 2007, 315 p.
2. Polyanskaya L.M., Zvyaginets D.G. Soderzhanie i struktura mikrobnoy massy kak pokazatel' ehkologicheskogo sostoyaniya pochv. *Pochvovedenie* [Pedology], 2005, no. 6, pp. 706–714.
3. Kuznecova T.V. et al. Sostav mikrobnyykh soobshchestv pri razlichnom soderzhanii nefteproduktov v seryh lesnykh pochvah. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2016, vol. 19, no. 14, pp. 165–168.
4. Degtyareva I.A. et al. Metodika biologicheskoy diagnostiki pochv. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2017, vol. 20, no. 24, pp. 163–168.
5. Sus'yan E.A. et al. Uglerod mikrobnoy biomassy v profile lesnykh pochv yuzhnoy tajgi. *Pochvovedenie* [Pedology], 2009, no. 10, pp. 1233–1240.
6. Prihod'ko V.E., Sizemskaya M.L. Bazal'noe dyhanie i sostav mikrobnoy biomassy celinnykh, agro- i lesomeliorirovannykh polupustynnykh pochv severnogo Prikaspiya. *Pochvovedenie* [Pedology], 2015, no. 8, pp. 974–983.
7. Anan'eva N.D. et al. Uglerod mikrobnoy biomassy i mikrobnое producirovaniye dvooukisi ugleroda demno-podzolistymi pochvami postagrogennykh biogeocenovozov i korenykh el'kov YUzhnoy tajgi (Kostromskaya oblast'). *Pochvovedenie* [Pedology], 2009, no. 9, pp. 1108–1116.
8. Ivashchenko K.V. et al. Biomassa i dyhatel'naya aktivnost' pochvennykh mikroorganizmov v antropogenno-izmenennykh ehkositemah (Moskovskaya oblast'). *Pochvovedenie* [Pedology], 2014, no. 9, pp. 1077–1088.
9. Zhukova A.D., Homyakov D.M. Pokazateli mikrobnogo dyhaniya v pochvennom pokrove impaktnoy zony predpriyatiya po proizvodstvu mineral'nykh udobreniy. *Pochvovedenie* [Pedology], 2015, no. 8, pp. 984–982.
10. Petrov A.M. et al. Vliyaniye ostatochnogo soderzhaniya nefteproduktov na sostav i aktivnost' pochvennogo mikrobnogo soobshchestva. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2014, vol. 23, no. 17, pp. 356–359.
11. Kurganova I.N. et al. Balans ugleroda v pochvah zalezhej Podmoskov'ya. *Pochvovedenie* [Pedology], 2007, no. 1, pp. 60–68.
12. PND F 16.1.2.2.22-98. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli nefteproduktov v mineral'nykh, organogennykh, organo-mineral'nykh pochvah i donnykh otlozheniyah metodom IK-spektrometrii. M.: 1998, 11 p.
13. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv* [Guidelines for the chemical analysis of soils]. Moskva: MGU, 1961, 491 p.
14. Garusov A.V. et al. *Gazovaya hromatografiya v biologicheskoy monitoringe pochvy* [Gas chromatography in biological soil monitoring]. Kazan: Izd-vo KGU, 2006, 90 p.
15. Anan'eva N.D. et al. Metodicheskie aspekty opredeleniya skorosti substrat-inducirovannogo dyhaniya pochvennykh mikroorganizmov. *Pochvovedenie* [Pedology], 1993, no. 11, pp. 72–77.
16. Anderson T.-H., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 1978, vol. 10, no. 3, pp. 215–221.
17. FR. 1.39.2006.02264. Metodika vypolneniya izmereniy vskhozhesti semyan i dliny kornej prorostkov vysshikh rasteniy dlya opredeleniya toksichnosti tekhnogenno zagryaznennykh pochv. S-P.: 2009, 20 p.
18. Brookes P.C. et al. Chlopoform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 1985, vol. 17, pp. 837–842.
19. Jenkinson D.S. The soil biomass. *New Zeland Soil News*, 1977, vol. 25, pp. 213–218.

Сведения об авторах:

Вершинин Анатолий Андреевич, старший научный сотрудник лаборатории экологических биотехнологий Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, кандидат биологических наук, ORCID 0000-0002-1807-5727, E-mail: A-vershinin@mail.ru

Петров Андрей Михайлович, заведующий лабораторией экологических биотехнологий Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, кандидат биологических наук, ORCID 0000-0002-5117-2609, E-mail: zram2@rambler.ru

Зайнулгабидинов Эрик Ринатович, старший научный сотрудник лаборатории экологических биотехнологий Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, кандидат биологических наук, ORCID 000-0002-5372-9984, E-mail: CompOS@mail.ru

Каримуллин Ленар Камилович, младший научный сотрудник лаборатории экологических биотехнологий Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, ORCID 0000-0002-3897-4981, E-mail: Karlenar@yandex.ru
420087, г. Казань, ул. Даурская, 28;