

Биотестирование почв города Когалыма в системе комплексного экологического мониторинга

Е. В. Плешакова¹✉, А. Е. Мурзина¹, Е. В. Глинская¹, А. С. Коробейникова¹,
М. В. Решетников², А. Ш. Шеуджен²

¹Саратовский национальный исследовательский государственный
университет имени Н. Г. Чернышевского, Российская Федерация
(410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83)

²Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», Российская Федерация
(628486, г. Когалым, ул. Центральная, 19)

Аннотация. Цель – оценка экологического состояния почв города Когалыма методом биотестирования в сочетании с исследованием эколого-геохимических и микробиологических показателей.

Материалы и методы. В июне 2021 года были отобраны и изучены 53 почвенные пробы на территории города Когалыма и 10 фоновых проб на удалении 10 км от города. Проведено биотестирование почв путём оценки активности дегидрогеназ микроорганизма *Dietzia maris* AM3. Определено содержание подвижных кислоторастворимых форм Pb, Zn, Ni и Cu, общая численность культивируемых гетеротрофных микроорганизмов, количество микроорганизмов азотного цикла (аммонификаторов, денитрификаторов, нитрификаторов, азотфиксаторов).

Результаты и обсуждение. По результатам биотестирования выявлена высокая степень токсичности в 15 пробах почв, отобранных в Восточной и Северной промышленной зоне города. В почвах промышленных зон также обнаружено сниженное количество микроорганизмов азотного цикла, наибольший уровень аккумуляции подвижных форм Ni и Cu. Корреляционные взаимосвязи указывали на ингибирующее действие тяжёлых металлов на развитие денитрификаторов и зависимость степени токсичности почвы от их численности.

Выводы. Результаты биотестирования почв города Когалыма, эколого-геохимических и микробиологических анализов свидетельствовали о негативных изменениях в биологических и геохимических свойствах почв промышленных городских зон, что требует регулярного проведения комплексного мониторинга.

Ключевые слова: комплексный экологический мониторинг, почва, тяжёлые металлы, биотестирование, дегидрогеназная активность.

Для цитирования: Плешакова Е. В., Мурзина А. Е., Глинская Е. В., Коробейникова А. С., Решетников М. В., Шеуджен А. Ш. Биотестирование почв города Когалыма в системе комплексного экологического мониторинга // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2024, № 4, с. 157-163. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/157-163>

ВВЕДЕНИЕ

Город Когалым расположен на территории Ханты-Мансийского автономного округа, занимающего ведущее место в экономике России по добыче нефти и газа. В 17 км северо-западнее города находится Когалымское нефтяное месторождение, освоение которого началось в 1985 году. Основная отрасль промышленности – нефтедобывающая, здесь также производится обработка и транспортировка углеводородной продукции.

В районах нефтедобычи и нефтепереработки почвы нередко загрязняются нефтяными углеводородами и тяжёлыми металлами (ТМ), которые присутствуют в сырой нефти и буровых растворах, такими как: Ni, Cd, Pb, Cr, Zn и V [9]. ТМ негативно влияют на численность и видовое разнообразие почвенной микробиоты, могут оказывать мутагенное и микростатическое действие, нарушать последовательность биохимических путей в

биогеохимических циклах почвы [7]. Стерилизующий эффект поликомпонентных загрязнений приводит к смене доминирующих и соподчинённых видов микроорганизмов, их гибели, а распад микробных ценозов приводит к деградации экосистем [6].

Комплексная оценка эколого-функционального состояния почв районов нефтедобычи является приоритетной задачей в современной природоохранной сфере, решение которой необходимо для обеспечения устойчивого функционирования и восстановления антропогенно нарушенных экосистем [8]. При реализации комплексного подхода можно сопоставить данные элементного анализа и биодиагностики почв со шкалой оценки потери качества природной среды, всесторонне оценить степень нарушения биогеоценозов [1, 4].

Цель настоящей работы состояла в оценке экологического состояния почв города Когалыма методом



Условные обозначения: 1 – кварталы застройки, 2 – водные объекты, 3 – железная дорога, 4 – автодорога, 5 – площадки опробования

Рис. 1. Схема расположения площадок опробования на территории города Когалыма
[Fig. 1. The layout of the testing areas on the territory of Kogalym]

биотестирования в сочетании с исследованием эколого-геохимических и микробиологических показателей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В июне 2021 года на территории города Когалыма на пересечении основных автомобильных дорог были отобраны в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84¹ и проанализированы 53 почвенные пробы. Пробы с 1 по 26 отобраны в центральной селитебной части города, с 27 по 33 – в Северной промышленной зоне, с 34 по 53 – в Восточной промышленной зоне (рис. 1).

Отбор проб верхней части почвенного горизонта «А» (5 см) осуществляли методом «конверта». 10 контрольных (фоновых) проб были отобраны на удалении 10 км в западном направлении от территории города в идентичных городским геоморфологическим и геологическим условиям. Почвы Когалыма – подзолы иллювиально-гумусовые, торфяные болотные верховые и торфяные болотные переходные с мелкими термокарстовыми озёрами, пойменные заболоченные. Почвообразующие породы – песчаные.

¹ ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: Межгосударственные стандарты. Москва: Стандартинформ, 2008. 8 с.



Условные обозначения: 1 – $<0,29$ мг/л (почвы нетоксичные), 2 – $0,29-0,44$ мг/л (слаботоксичные почвы), 3 – $0,44-0,59$ мг/л (среднетоксичные почвы), 4 – $>0,59$ мг/л (высокотоксичные почвы)

Рис. 2. Характер распределения количества 2,3,5-ТФФ, образованного дегидрогеназами *D. maris* AM3 (мг/л), измеренного для оценки степени токсичности почв города Когалыма

[Fig. 2. The pattern of the distribution of the amount of 2,3,5-TTPP formed by *D. maris* AM3 dehydrogenases (mg/L), measured to assess the degree of toxicity of soils in the city of Kogalym]

Подвижные кислоторастворимые формы ТМ (Pb, Zn, Ni, Cu) в почве определяли атомно-абсорбционной спектрометрией с пламенной атомизацией на спектрофотометре «Квант-2АТ» (ООО «КОРТЭК», Россия) в вытяжках 1 M HNO_3 ². Оценку общей численности культивируемых гетеротрофных микроорганизмов производили на ГРМ-агаре, численности культивируемых микроорганизмов азотного цикла

(аммонификаторов, денитрификаторов, нитрификаторов, азотфиксаторов) – на агаризованных селективных средах [3]. Биотестирование почв осуществляли методом, основанным на способности дегидрогеназ *Dietzia maris* AM3 восстанавливать за счёт дегидрирования бесцветный субстрат 2,3,5-трифенилтетразолийхлорид (2,3,5-ТТХ) до 2,3,5-трифенилформаза (2,3,5-ТФФ) тёмно-красного цвета [5]. Количество

²РД 52.18.191-89. Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. Москва: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, 1990. 32 с.

2,3,5-ТФФ рассчитывали по предварительно построенной калибровочной кривой, выражая в мг/мл. При разнице показателей в исследуемых пробах до 10 % по сравнению с контролем почву считали экологически чистой, разница в 10-30 % указывала на слабую токсичность почвы, 30-50 % – на среднюю степень, выше 50 % – на высокую степень токсичности почвы. Для обработки и анализа полученных данных использовали пакет STATISTICA 13.0 (TIBCO Software Inc. 2017, Statsoft Russia). Корреляционный анализ взаимосвязей между изученными показателями проводили с помощью расчёта коэффициента Пирсона (r).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты биотестирования показали, что количество 2,3,5-ТФФ, образованного дегидрогеназами *D. maris* AM3, в 53 пробах почв города Когалыма варьировало от 0,159 до 0,755 мг/мл (рис. 2).

Наиболее сильное ингибирование дегидрогеназной активности *D. maris* AM3 было выявлено в четырёх пробах. Три из них были отобраны в Восточной промышленной зоне (№35, 37 и 48), одна проба (№30) отобрана в Северной промышленной зоне города. Именно в этих промышленных зонах города в почвенных пробах было зафиксировано минимальное количество 2,3,5-ТФФ. Из 53 почвенных проб 11 оказались нетоксичными, 15 проб – слаботоксичными, 14 проб характеризовались средней токсичностью, 15 проб – высокой токсичностью. В жилотечной зоне города почвы были преимущественно нетоксичными или слаботоксичными. По данным эколого-геохимического анализа (табл. 1) в почвах г. Когалыма концентрация подвижных форм Cu варьировала от 0,16 до 11,55 мг/кг почвы, в 12 пробах она превышала ПДК (3,0 мг/кг) [2].

Таблица 1

Результаты эколого-геохимического и микробиологического анализа почв города Когалыма
[Table 1. Results of ecological-geochemical and microbiological analysis of Kogalym soil samples]

Показатели / Parameters	Минимальное значение / Minimum value	Максимальное значение / Maximum value	Среднее значение / Average value	Стандартное от- клонение (S) / Standard deviation (S)
	Концентрация металла, мг/кг почвы / Metal concentration, mg/kg of soil			
C_{Ni}	0,24	8,73	2,96	0,50
C_{Cu}	0,16	11,55	2,60	0,55
C_{Pb}	0,08	2,93	0,99	0,13
C_{Zn}	1,76	26,01	12,15	2,60
Количество микроорганизмов, КОЕ/ г почвы / The amount of microorganisms, CFU/g of soil				
ОЧГМ/ TNHM	$5,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^{10}$	$1,5 \times 10^5$	0,70
Численность/ Number АФМ/NFM	$1,0 \times 10^4$	$1,0 \times 10^7$	$4,5 \times 10^5$	1,30
АММ/AMM	$2,0 \times 10^4$	$5,0 \times 10^{10}$	$1,9 \times 10^5$	0,95
ДНМ/DNM	$5,0 \times 10^3$	$5,0 \times 10^6$	$5,4 \times 10^4$	1,45

Примечание: С – концентрация металла; ОЧГМ – общая численность гетеротрофных микроорганизмов; АФМ – азотфиксирующие микроорганизмы; АММ – аммонифицирующие микроорганизмы; ДНМ – денитрифицирующие микроорганизмы.

[Notes: C – metal concentration; TNHM – total number of heterotrophic microorganisms; NFM – nitrogen-fixing microorganisms; AMM – ammonifying microorganisms; DNM – denitrifying microorganisms]

Концентрация подвижных форм Ni варьировала от 0,24 до 8,73 мг/кг почвы, превышая ПДК (4,0 мг/кг)³ в 14 пробах. В Восточной промышленной зоне города было отмечено превышение концентрации подвижных форм Cu и Ni над ПДК в большинстве проб. Максимальное превышение содержания подвижных форм Cu (3,85 ПДК) обнаружено в пробе №38, Ni (2,2 ПДК) – в пробе №47. Концентрация подвижных форм Pb (от 0,08 до 2,93 мг/кг почвы) не превышала ПДК (6,0 мг/кг почвы)³ во всех пробах. Содержание подвижных форм Zn в большинстве проб было в пределах нормы, варьируя от 1,76 до 26,01 мг/кг почвы, за исключением трёх проб с незначительным превыше-

нием ПДК (23,0 мг/кг почвы)³. Средняя концентрация подвижных форм TM в фоновых пробах была значительно ниже ПДК, составляя: Cu и Ni – 0,18 мг/кг; Zn – 0,04 мг/кг; Pb – 0,61 мг/кг почвы. Установлено (табл. 1), что почвы г. Когалыма не отличались богатством гетеротрофных микроорганизмов и были обеднены аммонификаторами, денитрификаторами, азотфиксаторами, очень обеднены нитрификаторами. Среднее значение ОЧГМ в городских почвах составило $1,5 \times 10^5$ КОЕ/г почвы, численности аммонификаторов – $1,9 \times 10^5$ КОЕ/г почвы, что было в 3 раза выше, чем в фоновых пробах. Среднее содержание азотфиксаторов в городских почвах было значительно выше (примерно

³ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (Раздел IV. Почва населенных мест и сельскохозяйственных угодий), 2021. 987 с.

в 45 раз), чем в фоновых пробах, составляя $4,5 \times 10^5$ КОЕ/г почвы. Скорее всего, это связано с развитием в окультуренной почве ризосферных и симбиотических микроорганизмов. Среднее содержание денитрификаторов в почвах города составило $5,4 \times 10^4$ КОЕ/г почвы, что было в 1,3 раза ниже, чем в фоновых пробах. В промышленных зонах города содержание аммонификаторов, де-

нитрификаторов и азотфиксаторов было минимальным, особенно в Восточной промышленной зоне.

Была установлена (табл. 2) значимая отрицательная корреляция между количеством денитрификаторов и содержанием в почве подвижных форм Ni и Cu ($r = -0,53$ и $r = -0,44$), что свидетельствовало о негативном действии данных ТМ на развитие денитрификаторов.

Таблица 2

Корреляция между показателями биотестирования и эколого-геохимическими, микробиологическими свойствами почв

[Table 2. Correlation between parameters of biotesting and ecological-geochemical, microbiological properties of soils]

Показатели / Parameters	C_{Ni}	C_{Pb}	C_{Zn}	C_{Cu}	Концентрация 2,3,5-ТФФ / Concentration of 2,3,5-TPP	ОЧГМ / TNHM	Численность / Number		
							АФМ / NFM	АММ / AMM	ДНМ / DNM
C_{Ni}	1				-0,30*		-0,35*	-0,35*	-0,53*
C_{Pb}		1			0,20		0,36*	0,10	0,20
C_{Zn}			1		-0,33*		0,23	-0,38*	-0,33*
C_{Cu}				1	-0,21		-0,25	-0,32*	-0,44*
Концентрация 2,3,5-ТФФ / Concentration of 2,3,5-TPP					1	0,17	0,14	0,10	0,31*
ОЧГМ/TNHM						1	0,32*	0,04	0,02
Численность / Number АФМ/NFM						0,29	1	0,22	0,32*
АММ/AMM						0,84*		1	0,21
ДНМ/DNM						0,25			1

Примечание: *Значимая корреляция, при r , соответствующем уровню статистической значимости при $p \leq 0,05$. Сокращения: C – концентрация металла; ОЧГМ – общая численность гетеротрофных микроорганизмов; АФМ – азотфиксирующие микроорганизмы; АММ – аммонифицирующие микроорганизмы; ДНМ – денитрифицирующие микроорганизмы

[Notes: *Significant correlation, with r corresponding to the level of statistical significance at $p \leq 0,05$. Abbreviations: C – metal concentration; TNHM – total number of heterotrophic microorganisms; NFM – nitrogen-fixing microorganisms; AMM – ammonifying microorganisms; DNM – denitrifying microorganisms]

Слабая положительная корреляция выявлена между дегидрогеназной активностью *D. maris* AM3 и количеством в почве денитрификаторов ($r = 0,31$), что указывало на зависимость степени токсичности почвы от их численности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты биотестирования почв соответствовали результатам биогеохимического обследования территории г. Когалыма. Было показано, что приоритетными загрязнителями среди ТМ являются подвижные формы Ni и Cu. Наибольший уровень аккумуляции данных ТМ имеют почвы Восточной и Северной промышленных зон города. Высокая степень токсичности почв этих промышленных зон согласно результатам биотестирования, а также максимально сниженное количество микроорганизмов азотного цикла (аммонификаторов, денитрификаторов и азотфиксаторов) указывает на изменение биологических свойств городских почв. Состояние таких почв требует внима-

ния и постоянного контроля, целесообразно регулярно проводить их комплексный мониторинг.

Экологическое состояние почв селитебной зоны города Когалыма более благоприятное по сравнению с промышленными районами. Результаты комплексного анализа городских почв Когалыма имеют большое значение как для характеристики эколого-биологического состояния почв на современном этапе, так и дальнейшего прогнозирования экологических последствий деятельности человека на данной территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексный подход в оценке экологического состояния городских почв / С.Г. Скугорева, Т.И. Кутявина, С.Ю. Огородникова и др. // *Теоретическая и прикладная экология*, 2019, № 3, с. 57-65.
2. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственной и продукционной растениеводства / А.В. Кузнецов, А.П. Фесюн, С.Г. Самохвалов, Э.П. Махонько. Москва: ЦИНАО, 1992. 61 с.
3. Нетрусов А.И., Егорова М.А., Захарчук Л.М. *Практикум по микробиологии*. Москва: Академия, 2005. 608 с.

4. Особенности системного подхода в экологическом мониторинге урбанизированных почв / А. Л. Сальников, Н. А. Сальникова, А. В. Синцов, М. В. Валов // *Геология, география и глобальная энергия*, 2018, № 1 (68), с. 109-119.

5. Плешакова Е. В. Разработка нового метода определения токсичности нефтезагрязнённой почвы // *Вестник СГТУ*, 2010, № 3, с. 188-193.

6. Структура микробных комплексов при моделировании полиметаллического загрязнения и ремедиации агродерново-подзолистых почв / В. А. Терехова, Е. В. Федосеева, Ю. В. Бельфег и др. // *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*, 2021, № 1, с. 38-45.

7. Тяжелые металлы как фактор изменения метаболизма у микроорганизмов (обзор) / А. И. Фокина, Т. Я. Ашихмина,

Л. И. Домрачева и др. // *Теоретическая и прикладная экология*, 2015, № 2, с. 5-17.

8. Терехова В. А. Биотестирование экотоксичности почв при химическом загрязнении: современные подходы к интеграции для оценки экологического состояния (обзор) // *Почвоведение*, 2022, № 5, с. 586-599.

9. Oil Spill Related Heavy Metal: a Review // A. D. Mustafa, H. Juahir, K. Yunus et al. // *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 2015, vol. 19, no. 6, pp. 1348-1360.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 09.09.2023

Принята к публикации: 02.12.2024

UDC 504.064(631.461)

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/157-163>

Biotesting of Kogalym City Soils in the System of Integrated Environmental Monitoring

E. V. Pleshakova¹ ✉, A. E. Murzina¹, E. V. Glinskaya¹, A. S. Korobeynikova¹,
M. V. Reshetnikov², A. S. Sheudzen²

¹Saratov National Research State University named after N.G. Chernyshevsky, Russian Federation
(83, Astrakhanskaya str., Saratov, 410012)

²LLC "LUKOIL-Engineering" "KogalymNIPIneft", Russian Federation
(19, Central'naya str., Kogalym, 628486)

Abstract. The purpose is to assess the ecological soil condition of Kogalym city using biotesting method in combination with the analysis of ecological, geochemical and microbiological indicators.

Materials and methods. In June 2021, 53 soil samples were collected and analyzed within the city of Kogalym, along with 10 background samples taken 10 kilometers away from the city. Soil biotesting was conducted by assessing the dehydrogenase activity of the microorganism *Dietzia maris* AM3. The content of mobile, acid-soluble forms of Pb, Zn, Ni and Cu, the total population of cultivated heterotrophic microorganisms and the quantity of microorganisms involved in the nitrogen cycle (ammonifiers, denitrifiers, nitrifiers, nitrogen fixers) were determined.

Results and discussion. Based on the results of biotesting, a high degree of toxicity was identified in 15 soil samples collected from the Eastern and Northern industrial zones of the city. In the soils of industrial zones, reduced numbers of nitrogen cycle microorganisms were also found, along with the highest levels of accumulation of mobile forms of Ni and Cu. Correlations indicated the inhibitory effect of heavy metals on the development of denitrifiers and the dependence of soil toxicity on their abundance.

Conclusions. The results of biotesting of soils of Kogalym city and ecological, geochemical and microbiological analyses indicated negative changes in biological and geochemical properties of soils in industrial urban areas, highlighting the need for regular comprehensive monitoring.

Key words: comprehensive environmental monitoring, soil, heavy metals, biotesting, dehydrogenase activity.

For citation: Pleshakova E. V., Murzina A. E., Glinskaya E. V., Korobeynikova A. S., Reshetnikov M. V., Sheudzen A. S. Biotesting of soils in the city of Kogalym in the system of complex environmental monitoring. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografia. Geoekologia*, 2024, no. 4, pp. 157-163 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/157-163>

REFERENCES

1. Kompleksnyj podhod v ocenke ekologicheskogo sostoyaniya gorodskih pochv [An Integrated Approach to Assessing the Ecological State of Urban Soils] / S. G. Skugoreva, T. I. Kutavyina, S. Yu. Ogorodnikova i dr. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2019, no. 3, pp. 57-65. (In Russ.)

2. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelyh metallov v pochvah sel'hozugodij i produkcii rastenievodstva [Guidelines for the Determination of Heavy Metals in Agricultural Soils and Crop Products] / A. V. Kuznetsov, A. P. Fesyun, S. G. Samokhvalov, E. P. Makhonko. Moscow: CINAО, 1992. 61 p. (In Russ.)



3. Netrusov A. I., Egorova M. A., Zakharchuk L. M. *Praktikum po mikrobiologii*. [Workshop on Microbiology]. Moscow: Akademiya, 2005. 608 p. (In Russ.)

4. Osobennosti sistemnogo podhoda v ekologicheskom monitoringe urbanizirovannykh pochv [Features of a Systematic Approach in the Ecological Monitoring of Urbanized Soils] / A. L. Salnikov, N. A. Salnikova, A. V. Sintsov, M. V. Shafts. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*, 2018, vol. 1 (68), pp. 109-119. (In Russ.)

5. Pleshakova E. V. Razrabotka novogo metoda opredeleniya toksichnosti neftezagryaznyonnoy pochvy [Development of a New Method for Determining the Toxicity of Oil-Contaminated Soil] / *Vestnik SGTU*, 2010, no. 3, pp. 188-193. (In Russ.)

6. Struktura mikrobykh kompleksov pri modelirovanii polimetallichesko zagryazneniya i remediacii agrodernovo-podzolistykh pochv [The Structure of Microbial Complexes in Modeling Polymetallic Pollution and Remediation of Agro-Sod-Podzolic Soils] / V. A. Terekhova, E. V. Fedoseeva, Yu. V. Bel'feg i dr. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie*, 2021, no. 1, pp. 38-45. (In Russ.)

7. Tyazhelye metally kak faktor izmeneniya metabolizma u mikroorganizmov (obzor) [Heavy metals as a factor in changes in metabolism in microorganisms (review)] / A. I. Fokina, T. Ya. Ashihmina, L. I. Domracheva i dr. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2015, no. 2, pp. 5-17. (In Russ.)

8. Terekhova V. A. Biotestirovanie jekotoksichnosti pochv pri himicheskom zagraznenii: sovremennye podhody k integracii dlja ocenki jekologicheskogo sostojaniya (obzor) [Biotesting of Soil Ecotoxicity in Case of Chemical Contamination: Modern Approaches to Integration for Environmental Assessment (a Review)] / *Pochvovedenie*, 2022, no. 5, pp. 586-599. (In Russ.)

9. Oil Spill Related Heavy Metal: a Review. A. D. Mustafa, H. Juahir, K. Yunus et al. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 2015, vol. 19, no. 6, pp. 1348-1360.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 09.09.2023

Accepted: 02.12.2024

Плешакова Екатерина Владимировна

Профессор кафедры биохимии и биофизики Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, г. Саратов, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-3836-0258, e-mail: plekat@yandex.ru

Мурзина Анастасия Евгеньевна

Магистрант биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, г. Саратов, Российская Федерация, ORCID: 0009-0001-1083-7838, e-mail: aemurzina@gmail.com

Глинская Елена Владимировна

Доцент кафедры микробиологии и физиологии растений Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, г. Саратов, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-1675-5438, e-mail: elenavg-2007@yandex.ru

Коробейникова Анастасия Сергеевна

Магистрант биологического факультета, инженер кафедры микробиологии и физиологии растений Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, г. Саратов, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-3157-693X, e-mail: korobeinikovaanastasija@yandex.ru

Решетников Михаил Владимирович

Начальник отдела минералогических исследований Управления комплексных исследований ядра Центра исследования ядра и пластовых флюидов Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть», г. Когалым, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-8298-029X, e-mail: rmv85@list.ru

Шеуджен Александр Шхамирович

Специалист 1 категории отдела геолого-экономической оценки запасов Управления комплексных исследований ядра Центра исследования ядра и пластовых флюидов Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть», г. Когалым, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-0000-2909, e-mail: Aleksandr.Sheudzhen@lukoil.com

Yekaterina V. Pleshakova

Prof. at the Department of Biochemistry and Biophysics of the Saratov National Research State University named after N. G. Chernyshevsky, Saratov, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3836-0258, e-mail: plekat@yandex.ru

Anastasija E. Murzina

Master's student at the Faculty of Biology of the Faculty of Biology of the Saratov National Research State University named after N. G. Chernyshevsky, Saratov, Russian Federation, ORCID: e-mail: aemurzina@gmail.com

Elena V. Glinskaya

Assoc. Prof. at the Department of Microbiology and Plant Physiology of the Saratov National Research State University named after N. G. Chernyshevsky, Saratov, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-1675-5438, e-mail: elenavg-2007@yandex.ru

Anastasija S. Korobeinikova

Master's student at the Faculty of Biology, Engineer at the Department of Microbiology and Plant Physiology of the Saratov National Research State University named after N. G. Chernyshevsky, Saratov, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-3157-693X, e-mail: korobeinikovaanastasija@yandex.ru

Michael V. Reshetnikov

Head of the Mineralogical Research Department of the Integrated Core Research Department of the Centre for Core and Reservoir Fluids Research of the Branch of «LLC LUKOIL-Engineering» «Perm Oil Research and Design Institute», Kogalym, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-8298-029X, e-mail: rmv85@list.ru

Aleksandr Sh. Sheudzhen,

Category 1 Specialist of the Geological and Economic Evaluation of Reserves Department of the Mineralogical Research Department of the Integrated Core Research Department of the Centre for Core and Reservoir Fluids Research of the Branch of «LLC LUKOIL-Engineering» «Perm Oil Research and Design Institute», Kogalym, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-0000-2909, e-mail: Aleksandr.Sheudzhen@lukoil.com