

Научная статья

УДК 579.6:631.46

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-2-310-320>



## Влияние нового гуминового препарата на ремедиацию нефтезагрязненной почвы

Наталья Викторовна Фомичева, Юлия Дмитриевна Смирнова,  
Галина Юрьевна Рабинович

ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»,  
г. Москва, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Фомичева Наталья Викторовна, [nvfomi@mail.ru](mailto:nvfomi@mail.ru)

**Аннотация.** Во Всероссийском научно-исследовательском институте мелиорированных земель (филиале ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева») разработан гуминовый препарат БоГум, полученный щелочной экстракцией гуминосодержащего сырья. Цель работы – изучение влияния гуминового препарата БоГум на ремедиацию нефтезагрязненной дерново-подзолистой почвы. В модельном эксперименте по ремедиации почвы, искусственно загрязненной нефтью в количестве 5%, БоГум применяли в 3-х дозах: как стимулятор аборигенной микрофлоры (300 л/га), как удобрение (3000 л/га), как сорбент (30000 л/га). Установлено, что БоГум эффективнее в качестве стимулятора аборигенной микрофлоры, максимум которой наблюдался спустя месяц после внесения препарата, а степень деструкции нефти за два месяца эксперимента составила 40,1%. Определено, что при применении БоГум в качестве сорбента гуминовые вещества препарата на протяжении всего эксперимента являлись более доступным источником питания для почвенной микрофлоры, нефтяные углеводороды вследствие сорбции были малодоступны для микроорганизмов, в итоге деструкция нефти была наименьшей. Максимальную степень деструкции (44,9%) обеспечило совместное применение микробного препарата МикроБак (разработка Института биохимии и физиологии микроорганизмов РАН) и гуминового препарата БоГум в дозировке 300 л/га. Препараты проявили синергетический эффект, что отразилось на активном развитии как углеводородокисляющих микроорганизмов, так и аборигенной микрофлоры. Процентное содержание углеводородокисляющих микроорганизмов от общей численности гетеротрофов во всех вариантах опыта было максимальным через две недели, далее снижалось с разной интенсивностью. Рассчитанные уравнения множественной регрессии позволили оценить влияние исследуемых физиологических групп микроорганизмов на степень деструкции.

**Ключевые слова:** нефть, гуминовый препарат, микробный препарат, степень деструкции, углеводородокисляющие микроорганизмы, аборигенная микрофлора

**Для цитирования:** Фомичева Н. В., Смирнова Ю. Д., Рабинович Г. Ю. Влияние нового гуминового препарата на ремедиацию нефтезагрязненной почвы // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. N 2. С. 310–320. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-2-310-320>.

## Influence of new humic preparation on remediation of oil-contaminated soil

Natalia V. Fomicheva, Yulia D. Smirnova,  
Galina Yu. Rabinovich

FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute,  
Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Natalia V. Fomicheva, nvfomi@mail.ru

**Abstract.** A humic preparation obtained through alkaline extraction of humic-containing raw materials at the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (branch of the V. V. Dokuchaev Soil Science Institute) is presented. The aim of the work is to study the effect of the humic preparation – named BoGum – on the remediation of oil-contaminated podzols. In a model experiment for soil remediation, artificially contaminated with oil in an amount of 5%, BoGum was used in 3 doses: as a stimulant of aboriginal microflora (300 l/ha), as a fertiliser (3000 l/ha), and as a sorbent (30000 l/ha). BoGum was found to be more effective as a stimulator of aboriginal microflora, whose maximum was observed one month following application, while the degree of destruction of oil over the two months of the experiment was 40.1%. Over the course of the experiment, it was determined that humic substances of the preparation were a more affordable source of nutrition for the soil microflora when BoGum was used as a sorbent; the breakdown of oil was the lowest when petroleum hydrocarbons were inaccessible to microorganisms due to sorption. The maximum degree of breakdown (44.9%) occurred with the combined use of the microbial preparation MicroBak (development of the Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms of the Russian Academy of Sciences) and the humic preparation BoGum at a dosage of 300 l/ha. The preparation demonstrated a synergistic effect, which affected the active development of both hydrocarbon-oxidising microorganisms and aboriginal microflora. The percentage of the hydrocarbon-oxidising microorganisms from the total number of heterotrophs in all experimental variants was maximum in two weeks; this was reduced at different intensities. Calculated multiple regression equations were used to estimate the physiological influence of the groups of microorganisms on the degree of degradation being investigated.

**Keywords:** oil, humic preparation, microbial preparation, the degree of degradation, hydrocarbon-oxidising microorganisms, aboriginal microflora

**For citation:** Fomicheva N. V., Smirnova Yu. D., Rabinovich G. Yu. Influence of new humic preparation on remediation of oil-contaminated soil. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(2):310-320. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-2-310-320>.

### ВВЕДЕНИЕ

Среди антропогенных факторов по степени вредного влияния на экосистемы одно из главных мест занимают нефть и нефтепродукты. Существуют различные способы ликвидации и рекультивации нефтяных загрязнений [1, 2]. При этом ни один из известных методов не позволяет полностью решить проблему очистки нефтезагрязненной почвы. Актуальным остается создание новых и совершенствование существующих способов очистки почв и рекультивации почвенного покрова, в том числе поиск предназначенных для этого новых реагентов и препаратов [3].

В России и за рубежом для ремедиации нефтезагрязненных почв применяют гуминовые препараты, разработка, освоение и широкое использование которых считаются важнейшим элементом успешного решения проблемы детоксикации и восстановления плодородия нефтезагрязненных почв [4, 5].

Так, ряд ученых [6] для ремедиации искус-

ственно загрязненной нефтью почвы (концентрация нефти 15 г/кг) использовали гуминовые кислоты, полученные механохимическим способом из низинного торфа. Растворы гуминовых кислот вносили в почву на 3 и 5-е сутки культивирования из расчета 2 мл раствора гуминовых кислот в концентрации 5 г/л на 100 г почвы. За 30 суток проведения эксперимента содержание экстрагируемых битумоидов снизилось до 40% масс. Исследователи отмечают, что почвенная микрофлора, стимулированная гуминовыми препаратами, обладала повышенной деструктивной нефтеокисляющей активностью, о чем свидетельствовали показатели биodeградации углеводородов.

В модельном опыте на черноземе обыкновенном со средним содержанием гумуса 3,6% в качестве вещества, включающего нефтепродукты, использовали масло моторное марки Mobil 1, а в качестве источников гуминовых веществ – гуминовый препарат Гумат-80 (ООО «АгроТех ГУМАТ», Россия). Через месяц после внесения

гуматов с концентрацией 0,7 г/л степень извлечения нефтепродуктов составила 65% [7].

В практике ремедиации нефтезагрязненных почв известен также гуминовый препарат Гумиком (ООО «Эмульсионные технологии», Россия), выделенный из бурого угля [8], гуминовый препарат Питэр Пит (ООО «Peter Peat», Россия) [9] и др. [10]. Кроме этого, встречаются оригинальные технологии ремедиации, в которых, например, препараты на основе гуминовых веществ различного происхождения применяются в качестве промывочных агентов нефтезагрязненных почв [11]; для стимуляции биохимического окисления нефтяного загрязнения в почве используются гуминовые кислоты торфа в комплексе со светокорректирующими пленочными покрытиями [12]; на основе гуминовых веществ разработаны и используются твердые сорбенты [13].

Во Всероссийском научно-исследовательском институте мелиорированных земель (филиале ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева») разработан гуминовый препарат (рабочее название БоГум). Апробация БоГум в полевых условиях при выращивании различных сельскохозяйственных культур свидетельствовала об его эффективности в результате комплексного влияния на почву и растения за счет проявления стимулирующей (активизирующей) функции [14, 15].

Благоприятный состав БоГум, а также полученный ранее положительный опыт его применения позволили сделать предположение о перспективности использования гуминового препарата для очистки почв от нефтезагрязнений.

Цель работы – изучение влияния гуминового препарата БоГум на ремедиацию нефтезагрязненной дерново-подзолистой почвы.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Гуминовый препарат БоГум получен путем щелочной экстракции отхода производства жидкофазного биопрепарата для роста и развития растений и представляет собой жидкость темно-коричневого цвета без неприятного запаха [16]. Основной характеристикой БоГум, используемого в данной работе, является содержание гуминовых кислот –  $13,0 \pm 0,2$  г/л, сухого остатка –  $29,5 \pm 0,3$  г/л, общее микробное число –  $(1,8 \pm 0,4) \times 10^7$  КОЕ/мл, pH  $8,13 \pm 0,05$ , кроме этого, в препарате содержатся макро- и микроэлементы.

Для изучения эффективности использования БоГум в процессе ремедиации нефтезагрязненной почвы был заложен модельный эксперимент в лабораторных условиях. С этой целью в пластиковые контейнеры помещали высушенную, просеянную дерново-подзолистую легкосуглинистую почву, которую затем увлажняли до 70% от предельно-полевой влагоемкости и далее проводили искусственное загрязнение почвы нефтью из расчета 50 г/кг почвы (5% нефтезагрязнений). В опыте использовали нефть Западно-Сибирского месторождения плотностью  $0,860$  г/см<sup>3</sup>. Спустя 3-е суток в контейнеры вносили гуминовый препарат БоГум, через неделю было проведено повторное его внесение.

В целом доза вносимого рабочего раствора препарата зависит от различных факторов: количества нефтепродуктов в почве, плотности почвы и глубины залегания корневого слоя растений или глубины пахотного горизонта и др. [5]. Анализ научной литературы позволил определить 3 различные дозы применения препарата. Известно [17], что гуминовые вещества, вносимые в нефтезагрязненные почвы в диапазоне минимальных концентраций от 0,1 до 0,8 г/л, способны обеспечивать стимулирующий эффект для аборигенной микрофлоры, в диапазоне от 1 до 9 г/л – способны оказывать удобрительный эффект в целом, а в диапазоне концентраций от 10 до 60 г/л – выступать в качестве сорбентов. В гуминовом препарате БоГум содержание гуминовых кислот  $13 \pm 0,2$  г/л, что позволило использовать его как сорбент, а при соответствующем разбавлении и как удобрение, и как стимулятор аборигенной микрофлоры (табл. 1).

В качестве препарата сравнения использовали лиофильно высушенный микробиологический препарат МикроБак, разработанный в Институте биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г. К. Скрыбина и любезно предоставленный доктором биологических наук А. Е. Филоновым. Препарат МикроБак предназначен для биоремедиации почв с содержанием нефти до 15% и представляет собой консорциум бактерий родов *Rhodococcus* и *Pseudomonas*. По рекомендациям производителей МикроБак вносили по фону азофоски (0,15 г/кг почвы) из расчета конечного содержания штаммов-нефтедеструкторов  $10^5$  КОЕ/1 г почвы.

Таблица 1. Концентрации и дозы внесения гуминового препарата БоГум

Table 1. Concentrations and doses of applied humic preparation BoHum

Концентрация гуминовых веществ, г/л	Действие гуминового препарата	Концентрация гуминовых кислот в рабочем растворе БоГум, г/л	Разбавление БоГум	Доза внесения БоГум, л/га
0,1–0,8	Стимулятор аборигенной микрофлоры	0,13	1:100	300
1–9	Удобрение	1,3	1:10	3000
10–60	Сорбент	13	–	30000

В научной литературе отмечено [9, 10, 18], что совместное использование специализированных микробных препаратов с гуминовыми препаратами способствует более эффективной биодegradации нефтяного загрязнения почвенной и водной среды. В связи с этим в схеме модельного эксперимента были предусмотрены два варианта совместного использования МикроБак и БоГум.

Схема модельного опыта:

- вариант 1 – почва без нефти (контроль 1);
- вариант 2 – почва + нефть (контроль 2);
- вариант 3 – почва + нефть + МикроБак + азофоска;
- вариант 4 – почва + нефть + БоГум 300 л/га;
- вариант 5 – почва + нефть + БоГум 3000 л/га;
- вариант 6 – почва + нефть + БоГум 30000 л/га;
- вариант 7 – почва + нефть + МикроБак + БоГум 300 л/га;
- вариант 8 – почва + нефть + МикроБак + БоГум 3000 л/га.

Модельный эксперимент был заложен дважды в 3-кратной повторности на 2 месяца с подержанием оптимального водно-воздушного режима.

Пробы почвы отбирали методом конверта из каждого контейнера, тщательно перемешивали и получали усредненную пробу для каждой повторности соответствующего варианта. Анализ усредненных проб проводили спустя 2 недели от начала эксперимента, спустя месяц и в конце эксперимента – спустя 2 месяца.

Наиболее важным и информативным показателем является остаточное количество нефти в почве, которое определяли флуориметрическим методом на приборе Флюорат-02-2М (ООО «Люмэкс», Россия) [19].

Уровень деградации нефти ( $X$ ) оценивали как относительное уменьшение содержания нефти в присутствии конкретного препарата ( $C$ ) по сравнению с первоначальной концентрацией нефти в почве до внесения препаратов ( $C_0$ ):

$$X = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100\%.$$

Численность почвенных микроорганизмов определяли методом предельных разведений с посевом суспензии на твердые элективные питательные среды<sup>1</sup> на примере 4-х физиологических групп микроорганизмов, участвующих в создании почвенного плодородия и в процессах очистки почв от нефтяных загрязнений: гетеротрофных – на мясopептонном агаре; использующих минеральный азот – на крахмало-аммиачном агаре; микромицетов – на сусло-агаре; углеводородокисляющих – на питательной среде Придхэм–

Готтлиба<sup>2</sup>, где в качестве единственного источника углерода и энергии использовали нефть в количестве 1%.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью пакета программ Microsoft Excel и STATGRAPHICS Centurion XVI.II. При обработке полученных данных использовали элементы вариационной статистики: среднеарифметические значения и доверительный интервал конкретного значения (объем выборки  $n=6$ ). Статистическую значимость отличий анализировали с использованием  $t$ -критерия Стьюдента ( $p < 0,05$ ). Для каждого варианта опыта были выведены уравнения множественной регрессии, где в качестве зависимой переменной ( $y$ ) рассматривалась степень деструкции нефти, а в качестве независимых ( $x_1 \dots x_4$ ) – численность исследуемых физиологических групп микроорганизмов (гетеротрофных, углеводородокисляющих, использующих минеральный азот и микромицетов),  $n=6$ . По величине коэффициентов регрессии ( $b_1 \dots b_4$ ) судили об уровне влияния конкретной группы микроорганизмов на степень деструкции нефти: чем выше коэффициент, тем сильнее влияние.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При попадании нефти в почву практически сразу начинается процесс ее деградации, преимущественно за счет абиотических физико-химических процессов, например, вымывания, испарения и др. В модельном эксперименте основным абиотическим фактором являлось испарение легких фракций нефти, величину которого можно оценить по варианту «почва + нефть».

Интенсивность деградации нефти зависит от типа почвы, ее состояния, в частности от уровня обеспеченности элементами питания, количества почвенной микрофлоры, в том числе от наличия углеводородокисляющей микрофлоры [20, 21]. В начале модельного эксперимента исходная численность аборигенной микрофлоры была достаточно высока: гетеротрофов –  $5,5 \times 10^6$  КОЕ/г почвы, использующих минеральный азот –  $2,3 \times 10^6$  КОЕ/г, микромицетов –  $2,0 \times 10^4$  КОЕ/г, а углеводородокисляющих –  $1,4 \times 10^5$  КОЕ/г почвы, и до окончания эксперимента существенно не изменялась, что можно оценить по контролю 1 (табл. 2).

Многие авторы отмечают [6, 12, 22–24], что в первые сутки после попадания нефти в почву наблюдается снижение численности почвенных микроорганизмов, обусловленное токсическим влиянием поллютанта. Далее наступает

<sup>1</sup>Методы почвенной микробиологии и биохимии: учеб. пособие / под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

<sup>2</sup>Сэги Й. Методы почвенной микробиологии / пер. с венг. И. Ф. Куренного; под ред. Г. С. Муромцева. М.: Колос, 1983. 296 с.

Таблица 2. Количество почвенных микроорганизмов через 2 недели от начала эксперимента

Table 2. Number of soil microorganisms two weeks after the start of the experiment

Вариант опыта	Численность микроорганизмов			
	гетеротрофных, ×10 <sup>6</sup> КОЕ/г почвы	окисляющих углеводороды, ×10 <sup>6</sup> КОЕ/г почвы	использующих минеральный азот, ×10 <sup>6</sup> КОЕ/г почвы	микрмицетов, ×10 <sup>4</sup> КОЕ/г почвы
Почва без нефти (контроль 1)	5,6±0,2 <sup>a</sup>	0,1±0,01 <sup>a</sup>	2,6±0,2 <sup>a</sup>	2,1±0,1 <sup>a</sup>
Почва + нефть (контроль 2)	6,4±0,2 <sup>ab</sup>	3,3±0,1 <sup>b</sup>	15,6±0,7 <sup>b</sup>	2,8±0,2 <sup>bc</sup>
Почва + нефть+ МикроБак + азофоска	21,2±0,9 <sup>d</sup>	15,6±0,2 <sup>f</sup>	40,8±1,2 <sup>e</sup>	3,1±0,2 <sup>c</sup>
Почва + нефть+ БоГум 300 л/га	8,1±0,2 <sup>ab</sup>	6,0±0,4 <sup>c</sup>	28,2±1,7 <sup>c</sup>	7,9±0,2 <sup>ef</sup>
Почва + нефть+ БоГум 3000 л/га	11,7±0,7 <sup>c</sup>	9,1±0,5 <sup>d</sup>	37,9±1,3 <sup>de</sup>	7,7±0,2 <sup>de</sup>
Почва + нефть+ БоГум 30000 л/га	28,2±1,4 <sup>e</sup>	12,9±0,6 <sup>e</sup>	71,1±2,4 <sup>g</sup>	15,7±0,4 <sup>g</sup>
Почва + нефть + МикроБак + БоГум 300 л/га	33,1±1,2 <sup>f</sup>	18,1±1,2 <sup>g</sup>	61,6±2,1 <sup>f</sup>	8,5±0,3 <sup>f</sup>
Почва + нефть+ МикроБак + БоГум 3000 л/га	8,7±0,5 <sup>b</sup>	2,8±0,4 <sup>b</sup>	20,0±1,9 <sup>b</sup>	2,1±0,2 <sup>a</sup>

Примечание. Представлены среднеарифметические значения численности микроорганизмов с доверительным интервалом (n=6); в каждом столбце разными буквами обозначены статистически значимые различия (p<0,05).

адаптационный период, позволяющий микроорганизмам приспособиться к условиям токсичного воздействия компонентов нефти. В результате происходит перестройка микробиоценоза почвы, и преимущество получают микроорганизмы, способные усваивать углеводороды нефти.

Спустя 2 недели от начала эксперимента во всех вариантах с внесением нефти отмечалось увеличение численности исследуемых микроорганизмов по сравнению с контролем 1 (см. табл. 2). При анализе полученных данных выявлен ряд закономерностей:

1) внесение нефти в количестве 5% оказывало стимулирующее влияние на аборигенную микрофлору (вариант 2), что отмечают также другие исследователи [20, 24, 25];

2) чем выше доза вносимого гуминового препарата БоГум, тем активнее отклик почвенной микрофлоры. Это доказывает, что гуминовые вещества препарата обладают высокой физиологической активностью, стимулируют рост и активность микрофлоры почв [6, 12, 26, 27];

3) препарат МикроБак способствовал активному развитию гетеротрофных, в том числе углеводородокисляющих микроорганизмов, а также микроорганизмов, использующих минеральный азот, по сравнению с вариантом 2 (без применения препаратов) их численность возросла в 3,3; 4,7 и 2,6 раз соответственно. Однако совместное использование МикроБак и БоГум в дозировке 300 л/га способствовало увеличению всех определяемых физиологических групп микроорганизмов еще в 1,2–1,5 раза. Очевидно, что гуминовые вещества в используемой концентрации и микроорганизмы-нефтедеструкторы препарата МикроБак проявили синергетический эффект – усилили действие друг друга, что отразилось на активном развитии не только углеводородокисляющих микроорганизмов, но и абори-

генной микрофлоры;

4) совместное применение МикроБак и БоГум в дозе 3000 л/га оказало прямо противоположное влияние на изучаемые группы микроорганизмов, нежели меньшая дозировка БоГум с тем же микробным препаратом. Применение по отдельности гуминового препарата в качестве удобрения (вариант 5) и препарата МикроБак по фону азофоски (вариант 3) оказывало стимулирующее влияние на почвенную микрофлору. При совместном их использовании, по-видимому, консорциум бактерий родов *Rhodococcus* и *Pseudomonas*, входящий в состав МикроБак, и гуминовые вещества препарата БоГум в указанной концентрации проявили антагонизм – ослабили действие друг друга, и, как результат, численность почвенной микрофлоры в этом варианте оказалась практически на уровне контроля, в котором происходили процессы абиотической убыли нефти.

Скорость и полнота утилизации нефтепродуктов в почве во многом зависит от численности и видового состава микрофлоры, а также от ее углеводородокисляющей активности [21]. Спустя 2 недели от начала эксперимента максимальная степень деструкции нефти наблюдалась в варианте совместного применения МикроБак и БоГум в минимальной дозировке (табл. 3), что согласуется с данными микробиологического анализа (см. табл. 2). В то же время при применении БоГум в качестве сорбента выявлен самый низкий уровень деструкции нефти по сравнению со всеми опытными вариантами. Забегая вперед, необходимо отметить, что при применении наибольшей дозировки гуминового препарата БоГум на протяжении всего модельного эксперимента наблюдалась максимальная численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота и микрмицетов, значи-

тельное количество гетеротрофных микроорганизмов, а к окончанию модельного эксперимента получена самая низкая степень деструкции нефти в почве. Если бы не активное развитие аборигенной микрофлоры, низкую биодegradацию нефтяных углеводов в присутствии высоких доз гуминовых веществ можно было бы объяснить возрастанием их токсичности [13]. Однако в нашем случае большое количество гуминовых веществ, внесенных в почву с препаратом БоГум, по-видимому, являлось наиболее доступным субстратом для почвенной микрофлоры, поскольку известно, что гуминовые вещества могут служить источником питания для микроорганизмов в первую очередь за счет периферических фрагментов [28]. Одновременно с этим вследствие сорбции нефтяных углеводов гуминовыми веществами могла наблюдаться их малая доступность для микроорганизмов [13].

Можно было ожидать, что внесение специализированного микробного препарата МикроБак в нефтезагрязненную почву будет способствовать наибольшему уровню деструкции нефти. Тем не менее через 2 недели от начала эксперимента в соответствующем варианте данный показатель был не самым высоким (см. табл. 3). Это обстоятельство, скорее всего, связано с конкуренцией внесенных бактерий с аборигенной микрофлорой за питательные вещества, что не позволило штаммам-нефтедеструкторам проявить свою активность в полной мере [20, 29].

Спустя еще 2 недели от начала модельного эксперимента (всего один месяц) во всех опытных вариантах с внесением гуминового препарата наблюдался максимум численности гетеротрофов, микроорганизмов, использующих минеральный азот, и микромицетов. Особенно выделялся вариант с применением БоГум в качестве стимулятора аборигенной микрофлоры: содержание вышеперечисленных микроорганизмов за 2 недели увеличилось в 2,3; 1,5 и 1,3 раза соответственно. Усиление роста почвенной микрофлоры спустя 30 дней в результате искусственного нефтезагрязнения отмечено и в других научных исследованиях с применением гумино-

вых препаратов [6, 12, 30]. Несмотря на это, деструкция нефти продолжалась с меньшей интенсивностью (см. табл. 3), что, скорее всего, обусловлено уменьшением количества легких биодоступных углеводов и преобладанием в составе загрязнителя труднорастворимых ароматических соединений [22, 30].

Численность углеводородокисляющих микроорганизмов также снижалась, причем в каждом варианте с разной интенсивностью. В табл. 4 представлены данные по процентному содержанию углеводородокисляющих микроорганизмов от общей численности гетеротрофов. Из табл. 4 видно, что через 2 недели в вариантах 3–5 преобладали углеводородокисляющие микроорганизмы, а в варианте совместного применения МикроБак и БоГум в дозировке 300 л/га доля указанных микроорганизмов была чуть больше половины от общей численности гетеротрофов. Принимая во внимание их количественное содержание (см. табл. 2), отметим, что данный факт лишь подтверждает синергетический эффект микробного и гуминового препаратов. Важно, что в середине и в конце эксперимента доля углеводородокисляющих микроорганизмов в этом варианте и при применении МикроБак по фону азотосодержащей наибольшей, что косвенно может свидетельствовать о более эффективной деструкции нефти.

Анализируя степень деструкции нефти в почве в конце эксперимента, заметим, что максимальный уровень разложения нефтяных углеводов отмечен в варианте совместного применения МикроБак и БоГум в дозировке 300 л/га – 44,9% (см. табл. 3). Кроме этого, определено, что по мере увеличения дозы применяемого гуминового препарата степень деструкции нефти снижается на статистически значимую величину.

Для каждого варианта модельного эксперимента было рассчитано линейное уравнение множественной регрессии, которое учитывает влияние всех исследуемых микроорганизмов ( $x_1...x_4$ ,  $n=6$ ) на степень деструкции нефти ( $y$ ) и по коэффициентам регрессии ( $b_1...b_4$ ) которого составлена табл. 5.

Таблица 3. Степень деструкции нефти

Table 3. Oil destruction degree

Вариант	Степень деструкции нефти, %		
	Через 2 недели	Через 1 месяц	Через 2 месяца
Почва без нефти (контроль 1)	–	–	–
Почва + нефть (контроль 2)	6,9±0,2 <sup>a</sup>	14,1±0,5 <sup>a</sup>	15,9±0,4 <sup>a</sup>
Почва + нефть + МикроБак + азотососка	24,1±0,2 <sup>d</sup>	35,8±0,6 <sup>e</sup>	40,3±0,6 <sup>e</sup>
Почва + нефть + БоГум 300 л/га	23,2±1,1 <sup>cd</sup>	35,0±0,6 <sup>de</sup>	40,1±0,6 <sup>de</sup>
Почва + нефть + БоГум 3000 л/га	25,4±0,4 <sup>d</sup>	33,2±1,4 <sup>cd</sup>	37,9±1,2 <sup>c</sup>
Почва + нефть + БоГум 30000 л/га	19,3±0,5 <sup>b</sup>	28,6±0,6 <sup>b</sup>	32,8±0,8 <sup>b</sup>
Почва + нефть + МикроБак + БоГум 300 л/га	28,9±1,3 <sup>e</sup>	39,9±0,9 <sup>f</sup>	44,9±0,8 <sup>f</sup>
Почва + нефть + МикроБак + БоГум 3000 л/га	21,7±0,6 <sup>c</sup>	29,1±0,6 <sup>b</sup>	33,1±0,3 <sup>b</sup>

Примечание. Представлены среднearифметические значения степени деструкции нефти с доверительным интервалом ( $n=6$ ); в каждом столбце разными буквами обозначены статистически значимые различия ( $p<0,05$ ).

**Таблица 4.** Процентное содержание углеводородоокисляющих микроорганизмов от общей численности гетеротрофов

**Table 4.** Percentage of hydrocarbon-oxidizing microorganisms of the total number of heterotrophs

Вариант	Процент углеводородоокисляющих микроорганизмов от гетеротрофных, %		
	Через 2 недели	Через 1 месяц	Через 2 месяца
Почва без нефти (контроль 1)	2,5	2,3	2,2
Почва + нефть (контроль 2)	51,6	5,7	5,2
Почва + нефть + МикроБак + азофоска	73,6	11,7	9,1
Почва + нефть + БоГум 300 л/га	74,1	6,3	6,2
Почва + нефть + БоГум 3000 л/га	77,8	8,8	7,2
Почва + нефть + БоГум 30000 л/га	45,7	3,9	2,2
Почва + нефть + МикроБак + БоГум 300 л/га	54,7	12,6	8,1
Почва + нефть + МикроБак + БоГум 3000 л/га	32,2	6,6	6,3

*Примечание.* Процент углеводородоокисляющих микроорганизмов от гетеротрофных посчитан по среднеарифметическим значениям численности микроорганизмов.

**Таблица 5.** Уровень влияния определенных микроорганизмов на степень деструкции нефти в почве

**Table 5.** Influence of certain microorganisms on the degree of oil degradation in the soil

Вариант опыта	Степень влияния микроорганизмов на деструкцию нефти			
	гетеротрофных	углеводородоокисляющих	использующих минеральный азот	микромикетов
Почва + нефть	+++	++++	+	++
Почва + нефть + МикроБак + азофоска	+	+++	++	++++
Почва + нефть + БоГум 300 л/га	+	++++	+++	++
Почва + нефть + БоГум 3000 л/га	+	+++	++	++++
Почва + нефть + БоГум 30000 л/га	+++	++++	++	+
Почва + нефть + МикроБак + БоГум 300 л/га	++	++++	+	+++
Почва + нефть + МикроБак + БоГум 3000 л/га	++	++++	+	+++

*Примечание.* +++++ – максимальное влияние, + – минимальное влияние.

При рассмотрении уровня влияния конкретных физиологических групп микроорганизмов необходимо отметить, что на степень деструкции нефти в каждом варианте в первую очередь влияют либо углеводородоокисляющие микроорганизмы, либо микромикеты, несмотря на их меньшую численность. Известно [24, 31], что при нефтяном загрязнении почвы снижается видовое разнообразие грибов, начинают доминировать наиболее устойчивые виды, способные к трансформации нефти.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изучении влияния нового гуминового препарата БоГум на ремедиацию нефтезагрязненной почвы установлено, что наиболее эффективную деструкцию нефти (40,1%) вызвало применение БоГум в качестве стимулятора аборигенной микрофлоры, численность которой была максимальна через месяц после внесения препарата. К окончанию модельного эксперимента метаболическая активность почвенной микрофлоры обеспечила биодegradацию нефти, сопоставимую с вариантом применения микроб-

ного препарата МикроБак.

При применении БоГум в качестве сорбента гуминовые вещества препарата использовались почвенной микрофлорой в качестве более доступного источника питания, нефтяные углеводороды вследствие сорбции были малодоступны для микроорганизмов, в результате чего степень деструкции нефти по итогам модельного эксперимента наименьшая.

Максимальную деградацию нефтяных углеводородов (44,9%) обеспечило совместное применение микробного препарата МикроБак и гуминового препарата БоГум в дозировке 300 л/га. В этом случае препараты проявили синергетический эффект, что усилило развитие как углеводородоокисляющих микроорганизмов, так и аборигенной микрофлоры в почве и, как результат, привело к наиболее эффективной деструкции нефти.

Статистическая обработка экспериментальных данных позволила установить доминирование углеводородоокисляющих микроорганизмов и микромикетов в процессах биодegradации нефти.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баландин Д. А., Пыткин А. Н., Тарасов Н. М. Комплексное применение биотехнологий в достижении устойчивого развития сельских территорий региона: монография. Екатеринбург: Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, 2014. 166 с.
2. Ахмадиев М. В. Применение аборигенных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов при биоремедиации нефтезагрязненных почв и грунтов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. N 2. С. 119–130.
3. Цивадзе А. Ю., Фридман А. Я., Туманян Б. П., Новиков А. К., Полякова И. Я., Сударкин А. П. Перспективные препараты для ускоренной биоремедиации нефтезагрязненных почв // Химия и технология топлив и масел. 2020. N 4. С. 53–56.
4. Чердакова А. С., Гальченко С. В. Анализ перспектив применения гуминовых препаратов для восстановления нефтезагрязненных почв // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов XXI Международной научно-практической конференции (г. Москва, апрель–сентябрь 2020 г.). М.: РУДН, 2020. С. 234–240.
5. Кулагин А. А., Ганеев И. Г., Сухова С. В., Зиганшин З. У. О безопасности использования технологий рекультивации нефтезагрязненных, нарушенных и деградированных земель с применением гуминовых препаратов // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. N 4-1. С. 83–85.
6. Иванов А. А., Юдина Н. В., Мальцева Е. В., Матис Е. Я., Сваровская Л. И. Стимуляция активности микроорганизмов нефтезагрязненных почв гуминовыми препаратами // Почвоведение. 2010. N 2. С. 229–234.
7. Мирошниченко Ю. С., Мясоедова Т. Н., Прошина М. А. Оценка детоксицирующей способности гуминовых веществ в нефтезагрязненных почвах // Экология промышленного производства. 2016. N 2. С. 57–61.
8. Вайсман Я. И., Глушанкова И. С., Рудакова Л. В., Куми В. В., Токарев И. П. Разработка технологии ремедиации нефтезагрязненных почв и грунтов с использованием гуминового препарата «ГУМИКОМ» // Нефтяное хозяйство. 2013. N 10. С. 128–131.
9. Степанов А. А., Госсе Д. Д., Панина М. А. Применение гуминового препарата «Питэр Пит» для детоксикации и рекультивации нефтезагрязненной почвы // Проблемы агрохимии и экологии. 2018. N 1. С. 55–57.
10. Салем К. М., Перминова И. В., Гречищева Н. Ю., Мурыгина В. П., Мещеряков С. В. Биорекультивация нефтезагрязненных почв гуминовыми препаратами // Экология и промышленность России. 2003. N 4. С. 19–21.
11. Гречищева Н. Ю., Фехретдинова Д. Р., Мурыгина В. П., Гайдамака С. Н. Оценка эффективности использования гуминовых веществ в качестве промывочных агентов нефтезагрязненных почв // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2019. N 6. С. 22–26. [https://doi.org/10.33285/2411-7013-2019-6\(291\)-22-26](https://doi.org/10.33285/2411-7013-2019-6(291)-22-26).
12. Филатов Д. А., Иванов А. А., Сваровская Л. И., Юдина Н. В. Влияние светокорректирующей пленки и гуминовых кислот на биохимическое окисление нефти в почве // Агрохимия. 2011. N 10. С. 76–82.
13. Гречищева Н. Ю., Перминова И. В., Мещеряков С. В. Перспективность применения гуминовых веществ в технологиях очистки нефтезагрязненных почв // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. N 1. С. 30–36. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-1-30-36>.
14. Фомичева Н. В., Рабинович Г. Ю., Смирнова Ю. Д. Влияние технологических приемов применения гуминового биопрепарата на продуктивность яровой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. N 9. С. 53–58. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10910>.
15. Рабинович Г. Ю., Фомичева Н. В., Смирнова Ю. Д. Эффективность жидкофазных биосредств при возделывании моркови на торфяных почвах // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2021. Т. 59. N 3. С. 319–329. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-3-319-329>.
16. Пат. № 2691693, Российская Федерация, С05F3/00, С05F11/02, С05G3/00. Способ получения жидкого гуминового удобрения / Н. В. Фомичева, Г. Ю. Рабинович; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель. Заявл. 26.11.2018; опубл. 17.06.2019. Бюл. № 17.
17. Каримова В. Т., Дмитриева Е. Д., Нечаева И. А. Влияние гуминовых веществ торфов Тульской области на рост микроорганизмов деструкторов нефти *Rhodococcus Erythropolis S67* и *Rhodococcus Erythropolis X5* // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2017. Вып. 2. С. 60–68.
18. Чердакова А. С., Гальченко С. В., Сипатая Р. А. Влияние гуминовых препаратов на процессы биоремедиации нефтезагрязненных водных сред // Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XIX Международной научно-технической конференции (г. Рязань, 14–16 апреля 2021 г.). Рязань, 2021. С. 221–222.
19. Другов Ю. С., Родин А. А. Анализ загрязненной почвы и опасных отходов. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. 424 с.
20. Курочкина Г. Н., Шкидченко А. Н., Амелин А. А. Влияние нового биопрепарата на ремедиацию нефтезагрязненной серой лесной почвы // Почвоведение. 2004. N 10. С. 1241–1249.
21. Овсянникова В. С., Филатов Д. А., Алтунина Л. К., Сваровская Л. И. Биодеструкция углеводородов высоковязкой нефти почвенными



микроорганизмами // Химия в интересах устойчивого развития. 2014. Т. 22. N 5. С. 489–495.

22. Нечаева И. А., Филонов А. Е., Ахметов Л. И., Пунтус И. Ф., Боронин А. М. Стимуляция микробной деструкции нефти в почве путем внесения бактериальной ассоциации и минерального удобрения в лабораторных и полевых условиях // Биотехнология. 2009. N 1. С. 64–70.

23. Ветрова А. А., Забелин В. А., Иванова А. А., Адаменко Л. А., Делеган Я. А., Петриков К. В. Биодegradация нефти консорциумом штаммов-нефтедеструкторов в лабораторных модельных системах // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 1. С. 184–198. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-1-184-198>.

24. Руденко Е. Ю. Исследование влияния нефти на биологическую активность черноземной почвы // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. N 4. С. 719–727. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-719-727>.

25. Евдокимова Г. А. Почвенная микробиота как фактор устойчивости почв к загрязнению // Теоретическая и прикладная экология. 2014. N 2. С. 17–24.

26. Иванов А. А., Юдина Н. В., Мальцева Е. В., Матис Е. Я. Исследование биостимулирующих и детоксицирующих свойств гуминовых кислот

различного происхождения в условиях нефтезагрязненной почвы // Химия растительного сырья. 2007. N 1. С. 99–103.

27. Якименко О. С., Терехова В. А. Гуминовые препараты и оценка их биологической активности для целей сертификации // Почвоведение. 2011. N 11. С. 1334–1343.

28. Тихонов В. В., Якушев А. В., Завгородняя Ю. А., Бызов Б. А., Демин В. В. Действие гуминовых кислот на рост бактерий // Почвоведение. 2010. N 3. С. 333–341.

29. Плешакова Е. В. Интродукция нефтеокисляющих микроорганизмов в загрязненную почву: проблемы и перспективы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2011. Т. 11. N 2. С. 102–111.

30. Коршунова Т. Ю., Четвериков С. П., Логинов О. Н. Перспективы использования консорциума углеводородокисляющих микроорганизмов для очистки нефтезагрязненной почвы Крайнего Севера // Теоретическая и прикладная экология. 2016. N 1. С. 88–94.

31. Домрачева Л. И., Ашихмина Т. Я., Елькина Т. С., Гайфутдинова А. Р. Микробная деградация промышленных отходов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2014. N 2. С. 6–16.

## REFERENCES

1. Balandin D. A., Pytkin A. N., Tarasov N. M. *Integrated application of biotechnologies in achieving sustainable development of rural areas of the region: monograph*. Ekaterinburg: Institut ekonomiki Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk; 2014. 166 p. (In Russian).

2. Akhmadiev M. V. Using of aboriginal hydrocarbons-oxidizing microorganisms in the bioremediation of contaminated soil and ground. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika = Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urban Development*. 2014;(2): 119-130. (In Russian).

3. Tsivadze A. Y., Fridman A. Y., Novikov A. K., Polyakova I. Y., Tumanyan B. P., Sudarkin A. P. Prospective preparations for accelerated bioremediation of oil-contaminated soils. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel = Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2020;(4):53-56. (In Russian).

4. Cherdakova A. S., Galchenko S. V. Analysis of prospects for the use of humic drugs for restoration of oil-contaminated soils. In: *Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya: sbornik nauchnykh trudov XXI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Actual problems of ecology and nature management: a collection of scientific papers of the XXI International Scientific and Practical Conference*. April-September 2020, Moscow. Moscow: RUDN; 2020, p. 234-240. (In Russian).

5. Kulagin A. A., Ganeev I. G., Sukhova S. V., Ziganshin Z. U. Safety technology use reclamation contaminated, violations and degraded lands using humic substances. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN = Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*. 2015;(4-1):83-85. (In Russian).

6. Ivanov A. A., Yudina N. V., Matis E. Y., Mal'tseva E. V., Svarovskaya L. I. Stimulation of the activity of microorganisms by humin preparations in oil-polluted soils. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2010;(2):229-234. (In Russian).

7. Miroshnichenko Y. S., Myasoedova T. N., Proshina M. A. Estimation of detoxification ability of humic substances in oil contaminated soils. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva = Industrial Ecology*. 2016;(2):57-61. (In Russian).

8. Vaysman Ya. I., Glushankova I. S., Rudakova L. V., Kumi V. V., Tokarev I. P. Development of technology remediation soil contaminated by oil using GUMIKOM. *Neftyanoe khozyaistvo = Oil Industry*. 2013;(10):128-131. (In Russian).

9. Stepanov A. A., Gosse D. D., Panina M. A. Application of humin preparation "Peter Peat" for detoxication and reconstruction of oil-polluted soil. *Problemy agrokhimii i ekologii = Agrochemistry and ecology problems*. 2018;(1):55-57. (In Russian).

10. Salem K. M., Perminova I. V., Grechishcheva N. Yu., Mouryguina V. P., Meshcheryakov S. V. Biorevegetation of oily soils by humic preparations. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2003;(4):19-21. (In Russian).

11. Grechishcheva N. Yu., Fekhretdinova D. R., Murygina V. P., Gaydamaka S. N. Evaluation of the effectiveness of humic substances use as washing agents of oil-contaminated soils. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse = Environmental protection in oil and gas complex*. 2019;(6):22-26. (In Russian). [https://doi.org/10.33285/2411-7013-2019-6\(291\)-22-26](https://doi.org/10.33285/2411-7013-2019-6(291)-22-26).
12. Filatov D. A., Ivanov A. A., Svarovskaya L. I., Yudina N. V. Effect of light-corrective film and humic acids on the biochemical oxidation of petroleum in the soil. *Agrokhimiya = Eurasian Soil Science*. 2011;(10):76-82. (In Russian).
13. Gretchischeva N. Yu., Perminova I. V., Mescheryakov S. V. Humic compounds in treatment of oil contaminated environments. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2016;20(1):30-36. (In Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-1-30-36>.
14. Fomicheva N. V., Rabinovich G. Yu., Smirnova Yu. D. Influence of technological methods of application of the humic preparation on the productivity of spring wheat. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2020;34(9):53-58. (In Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10910>.
15. Rabinovich G. Yu., Fomicheva N. V., Smirnova Yu. D. Efficiency of liquid-phase biological preparations when cultivating carrots on peat soils. *Vestsi natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2021;59(3):319-329. (In Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-3-319-329>.
16. Fomicheva N. V., Rabinovich G. Yu. *Method of producing liquid humic fertilizer*. Patent RF, no. 2691693; 2019. (In Russian).
17. Karimova V. T., Dmitrieva E. D., Nechaeva I. A. The effect of humic substances from different origin peats of the tula region on the growth of microbial degraders of oil *Rhodococcus Erythropolis S67* and *Rhodococcus Erythropolis X5*. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki = Proceedings of the Tula State University. Natural Sciences*. 2017;(2):60-68. (In Russian).
18. Cherdakova A. S., Gal'chenko S. V., Sitpataya R. A. Influence of humic preparations on the processes of bioremediation of oil-contaminated aquatic environments. In: *Novye tekhnologii v uchebnom protsesse i proizvodstve: materialy XIX Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii = New Technologies in the Educational Process and Production: Materials of the XIX International Scientific and Technical Conference*. 14-16 April 2021, Ryazan. Ryazan; 2021, p. 221-222. (In Russian).
19. Drugov Yu. S., Rodin A. A. *Analysis of contaminated soil and hazardous waste*. Moscow: Biom. Laboratoriya znaniy; 2007. 424 p. (In Russian).
20. Kurochkina G. N., Amelin A. A., Shkidchenko A. N. The effect of a new biopreparation on the remediation of oil-contaminated gray forest soil. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2004;(10):1241-1249. (In Russian).
21. Ovsyannikova V. S., Filatov D. A., Altunina L. K., Svarovskaya L. I. Biodestruction of hydrocarbons of highly viscous petroleum with soil microorganisms. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya = Chemistry for Sustainable Development*. 2014;22(5):489-495. (In Russian).
22. Nechaeva I. A., Filonov A. E., Akhmetov L. I., Puntus I. F., Boronin A. M. Stimulation of microbial destruction of oil by introduction of bacterial association and mineral fertilizer in soil under laboratory and field conditions. *Biotehnologiya = Biotechnology in Russia*. 2009;(1):64-70. (In Russian).
23. Vetrova A. A., Zabelin V. A., Ivanova A. A., Adamenko L. A., Delegan Y. A., Petrikov K. V. Oil biodegradation by consortium of oil degrading microorganisms in laboratory model systems. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie = South of Russia: ecology, development*. 2018;13(1):184-198. (In Russian). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-1-184-198>.
24. Rudenko E. Yu. Effects of crude oil on the biological activity of chernozem soils. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotehnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020;10(4):719-727. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-719-727>.
25. Evdokimova G. A. Soil microbiota as a factor of soil resistance to contamination. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2014;(2):17-24. (In Russian).
26. Ivanov A. A., Yudina N. V., Mal'tseva E. V., Matis E. Ya. Study of biostimulating and detoxifying properties of humic acids of various origins in oil-contaminated soil. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2007;(1):99-103. (In Russian).
27. Yakimenko O. S., Terekhova V. A. Humic preparations and the assessment of their biological activity for certification purposes. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2011;(11):1334-1343. (In Russian).
28. Tikhonov V. V., Yakushev A. V., Zavgorodnyaya Y. A., Byzov B. A., Demin V. V. Effects of humic acids on the growth of bacteria. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2010;(3):333-341. (In Russian).
29. Pleshakova E. V. Introduction of oil-oxidizing microorganisms into contaminated soil: the problems and perspectives. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya = Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*. 2011;11(2):102-111. (In Russian).
30. Korshunova T. Yu., Chetverikov S. P., Loginov O. N. Prospects of using a consortium of hydrocarbon oxidizing microorganisms for cleaning oil polluted soil of the extreme north. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied*

*Ecology*. 2016;(1):88-94. (In Russian).

31. Domracheva L. I., Ashikhmina T. Ya., El'kina T. S., Gayfutdinova A. R. Microbial degradation of indus-

trial waste (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2014; (2):6-16. (In Russian).

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Н. В. Фомичева,**

к.б.н., ведущий научный сотрудник,  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт мелиорированных земель,  
филиал ФИЦ «Почвенный институт  
им. В. В. Докучаева»,  
170530, Тверская обл., Калининский р-н,  
п. Эммаусс, 27, Российская Федерация,  
nvfomi@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-2272-7767>

##### **Ю. Д. Смирнова,**

к.б.н., заместитель директора по науке,  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт мелиорированных земель,  
филиал ФИЦ «Почвенный институт  
им. В. В. Докучаева»,  
170530, Тверская обл., Калининский р-н,  
п. Эммаусс, 27, Российская Федерация,  
ulayad@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2435-2089>

##### **Г. Ю. Рабинович,**

д.б.н., профессор, главный научный сотрудник,  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт мелиорированных земель,  
филиал ФИЦ «Почвенный институт  
им. В. В. Докучаева»,  
170530, Тверская обл., Калининский р-н,  
п. Эммаусс, 27, Российская Федерация,  
2016vniimz-noo@list.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5060-6241>

#### **Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад  
в подготовку публикации.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта  
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили  
окончательный вариант рукописи.*

#### **Информация о статье**

*Поступила в редакцию 12.04.2022.  
Одобрена после рецензирования 11.05.2022.  
Принята к публикации 30.05.2022.*

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Natalia V. Fomicheva,**

Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher,  
VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science  
Institute,  
27, Emmauss Village, Kalininsky District, 170530,  
Tver Region, Russian Federation,  
nvfomi@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-2272-7767>

##### **Yulia D. Smirnova,**

Cand. Sci. (Biology), Deputy Director  
for Science,  
VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science  
Institute,  
27, Emmauss Village, Kalininsky District, 170530,  
Tver Region, Russian Federation,  
ulayad@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2435-2089>

##### **Galina Yu. Rabinovich,**

Dr. Sci. (Biology), Professor,  
Chief Researcher,  
VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science  
Institute,  
27, Emmauss Village, Kalininsky District, 170530,  
Tver Region, Russian Federation,  
2016vniimz-noo@list.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5060-6241>

#### **Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article.

#### **Conflict interests**

The authors declare no conflict of interests re-  
garding the publication of this article.

*The final manuscript has been read  
and approved by all the co-authors.*

#### **Information about the article**

*The article was submitted 12.04.2022.  
Approved after reviewing 11.05.2022.  
Accepted for publication 30.05.2022.*