

## Оценка эффективности консорциумов микроорганизмов для очистки почв, загрязнённых нефтепродуктами, в условиях Кольского Севера

© 2020. А. А. Чапоргина, аспирант,  
 М. В. Корнейкова, к. б. н., зав. лабораторией,  
 Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное  
 подразделение ФГБУН Федеральный исследовательский центр  
 «Кольский научный центр РАН»,  
 184209, Россия, Мурманская область, г. Апатиты, Академгородок, д. 14а,  
 e-mail: korneykova.maria@mail.ru, chaporgina@inep.ksc.ru

Из почв Кольского полуострова (Al-Fe гумусовые подзолы) выделены микроскопические грибы – активные деструкторы углеводородов нефти. Проведена оценка эффективности использования консорциумов микроорганизмов (бактерии и грибы) для очистки почв от нефтепродуктов (НП) в условиях полевого модельного опыта. Наибольшая эффективность выявлена у бактериально-грибного консорциума: за 120 сут содержание НП снизилось на 82% от исходного уровня. Определено, что использование консорциумов аборигенных нефтеокисляющих микроорганизмов ускоряет процесс разложения НП в почве на 10–20%, относительно варианта с НП без внесения нефтеокисляющих микроорганизмов, что даёт возможность применять их для доочистки окружающей среды от углеводородов нефти. Внесение в почву микроорганизмов-нефтедеструкторов изменяет численность, видовой состав и структуру сообществ аборигенных микроорганизмов. Так, *Penicillium canescens*, входящий в состав консорциума, становится доминирующим видом в очищаемой почве. Микромицеты, входящие в состав консорциумов, обладают разной степенью фитотоксичности. Наименее фитотоксичность выражена у *P. commune*. Этот вид наиболее перспективен для создания и использования комплексного биопрепарата с целью деструкции нефтепродуктов в кислых почвах Кольского Севера.

**Ключевые слова:** консорциум микроорганизмов, микроскопические грибы, углеводородоокисляющая активность, почва, нефтепродукты, фитотоксичность.

## Evaluation of the microorganisms consortium efficiency to cleaning soils polluted by oil products in the Kola North conditions

© 2020. А. А. Chaporgina ORCID: 0000-0001-8114-461X  
 М. В. Korneykova ORCID: 0000-0002-6167-1567  
 Institute of North Industrial Ecology Problems – Subdivision of the Federal Research Centre  
 “Kola Science Centre of Russian Academy of Science”,  
 14a, Academgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209,  
 e-mail: korneykova.maria@mail.ru, chaporgina@inep.ksc.ru

Microscopic fungi and bacteria that are active oil hydrocarbons destructors were isolated from the soils of the Kola Peninsula (Al-Fe humus podzols). Microorganisms consortium efficiency (bacteria *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida*, *P. baetica*, *Microbacterium paraoxydans* and fungi *Penicillium commune*, *P. canescens* st.1, *P. simplicissimum* st.1) for soil purification from oil products in field model experiment was estimated. Diesel fuel in the amount of 10 L/m<sup>2</sup> was inserted as contaminator. Variants of the experiment were: soil without oil product (OP) as control, OP + bacterial consortium, OP + fungal consortium, OP + bacterial and fungal consortium. The residual content of oil hydrocarbons in the soil was determined by IR spectrometry methods with the AN-2 analyzer. Oil destructive native microorganisms consortium accelerate the oil product decomposition by 10–20% and are advised for environment post-cleaning from oil hydrocarbons. The bacterial-fungi consortium demonstrated the best result: during 120 days oil products content was reduced by 82%, oil products decomposition rate after 30 and 120 days was maximum as compared to other experiment scenarios. The soils of the Kola Peninsula are predominately acid soils, therefore, the efficiency of biopreparations based on fungi will likely be higher than that of bacterial preparation. Soil oil-oxidizing microorganisms changed the abundance, species composition and community structure of indigenous microorganisms. So, *P. canescens*, being a part of the consortium became the dominant species in the purified soil. The micromycetes involved in the consortium have different levels of phytotoxicity. Being an active decomposer of the oil products, the species *P. commune* displays these properties least of all, suppressing the *Triticum aestivum* seeds growth by 24%, and *Lepidium sativum* seeds by 29%. Consequently, this species may be a promising one for the biological product creation, and may be advised for use in bioremediation of soils contaminated by the oil products.

**Keywords:** oil oxidizing microorganisms, bioremediation, oil hydrocarbons, soil, phytotoxicity, Kola Peninsula.

Постоянно возрастающее антропогенное воздействие приводит к увеличению поступления в экосистемы различных ксенобиотиков. Среди множества загрязнителей окружающей среды (ОС) необходимо выделить нефть и нефтепродукты (НП), которые являются достаточно опасными, быстро распространяющимися, медленно разлагающимися в естественных условиях и способными оказывать токсическое действие на все звенья пищевой цепи.

В число потенциально опасных источников загрязнения НП в Мурманской области входят нефтебазы, объекты топливно-энергетического комплекса, крупные промышленные предприятия, имеющие в своей структуре автотранспортные подразделения, автозаправочные станции, объекты Министерства обороны РФ, где осуществляются операции с НП (хранение, транспортировка, отгрузка, бункеровка).

Разработка приёмов, направленных на снижение негативного воздействия нефтяных углеводородов на природные экосистемы, является актуальной задачей. Особенно важны такие работы в районах Крайнего Севера.

Скорость самоочищения и самовосстановления нефтезагрязнённых почв отличается в разных природных зонах и зависит от типа почвы, состава нефти и НП, концентрации загрязняющих веществ, интенсивности солнечного света, концентрации биогенных элементов, температуры, концентрации кислорода [4].

Биологический метод является наиболее перспективным для доочистки почв от углеводородного загрязнения [2–5]. Он предполагает не только внесение в почву нефтеокисляющих микроорганизмов (МО), ранее выделенных из загрязнённых почв или генетически модифицированных, но и стимулирование аборигенной нефтеокисляющей микробиоты агротехническими приёмами (внесение удобрений, рыхление, увлажнение) [6–8].

Однако при использовании биологических методов рекультивации может возникать ряд проблем, касающихся взаимодействия вносимых в почву сообществ с естественной микробиотой. За счёт перестроек в комплексе МО возможно увеличение доли видов, проявляющих фитотоксичную активность. Микромицеты, активно метаболизирующие углеводороды, с одной стороны менее уязвимы к загрязнению, а с другой стороны повышают фитотоксичность почвы. Поэтому для создания биологических препаратов нужно учитывать фактор микробного токсикоза почв, загрязнённых НП [9].

Цель настоящей работы – оценить эффективность консорциумов микроскопических грибов и бактерий, выделенных из почв Кольского полуострова, при очистке почв от НП, а также определить их потенциальное влияние на состояние сообществ аборигенных микроорганизмов.

### Объекты и методы

В результате лабораторных опытов по изучению нефтеокисляющей способности штаммов аборигенных МО были отобраны наиболее активные бактерии (*Pseudomonas fluorescens*, *P. putida*, *P. baetica*, *Microbacterium paraoxydans*) и микроскопические грибы (*Penicillium commune*, *P. canescens* st.1, *P. simplicissimum* st.1, *P. restrictum*, *P. ochrochloron*) [10, 11].

**Закладка полевого модельного опыта с применением консорциумов нефтеокисляющих микроорганизмов.** На окультуренном Al-Fe гумусовом подзоле на территории филиала Всероссийского института растениеводства «Полярная опытная станция» (ПОСВИР), расположенного в 1,5 км от г. Апатиты Мурманской области (67°34' с. ш., 33°22' в. д.) были заложены опытные площадки размером 1 м<sup>2</sup>. В качестве нефтепродукта-загрязнителя вносили дизельное топливо (ДТ) в количестве 10 л/м<sup>2</sup>, что соответствует высокой степени загрязнения [12]. Варианты опыта: контроль – почва без ДТ; с ДТ; ДТ + Б (консорциум бактерий); ДТ + Г (консорциум грибов); ДТ + (Б + Г) (консорциум бактерий и грибов).

Бактериальную биомассу наращивали в лабораторном ферментёре Sartorius Biostat A-plus в мясо-пептонном бульоне, грибную биомассу – стационарно в колбах Эрленмейера с 50 мл жидкой питательной среды Чапека. Плотность бактериальной суспензии составляла 10<sup>8</sup>–10<sup>9</sup> клеток на 1 л, грибной суспензии – 10<sup>5</sup>–10<sup>6</sup> КОЕ/л.

В почву опытных площадок на 1 и 30 сут после внесения НП добавляли биологические препараты в количестве 1,2 л/м<sup>2</sup> и комплексное минеральное удобрение азофоска (нитроаммофоска), содержащее азот (N) 16%, фосфор (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 16%, калий (K<sub>2</sub>O) 16%. Общее количество вносимого удобрения составляло 60 г/м<sup>2</sup>.

**Определение остаточного содержания НП в почве.** Содержание нефтяных углеводородов в почве определяли методом ИК-спектроскопии на анализаторе АН-2 [13]. Эффективность действия препаратов оценивали

по остаточному содержанию НП в почве и по скорости его разложения.

**Определение численности и видового разнообразия почвенных микромицетов в полевом модельном опыте.** Численность микромицетов определяли методом глубинного посева на сусло-агар с добавлением молочной кислоты для ингибирования роста бактерий из расчёта 4 мл/л среды. Из всех выросших колоний грибов были выделены чистые культуры и проведена их идентификация по культурально-морфологическим признакам до вида. Видовые названия уточняли по пополняемым спискам видов в базе данных “Species fungorum” ([www.speciesfungorum.org](http://www.speciesfungorum.org)).

**Определение степени фитотоксичности микромицетов-деструкторов НП.** Для определения степени фитотоксичного действия микроскопических грибов наиболее активных деструкторов НП (*Penicillium canescens* st.1, *P. commune*, *P. simplicissimum* st.1) использовали семена тест-растений: пшеницы (*Triticum aestivum*) и кресс-салата (*Lepidium sativum*).

Микроскопические грибы выращивали на жидкой среде Чапека в течение 7–10 сут. Культуральную жидкость отделяли от мицелия фильтрованием. Семена растений (по 30 семян в 3 повторностях) раскладывали на фильтровальную бумагу, увлажняли культуральной жидкостью грибов, контрольные

семена увлажняли стерильной питательной средой. После этого семена выдерживали в термостате в течение 24 ч при температуре 25–26 °С. Токсичными считали культуры грибов, вызывающие снижение количества проросших семян на 30% по сравнению с контролем [14].

## Результаты и обсуждение

**Эффективность применения консорциумов нефтеокисляющих микроорганизмов в полевом модельном опыте.** В полевом опыте активность трёх используемых консорциумов МО находилась примерно на одинаковом уровне (рис. 1). В варианте с внесением бактериально-грибного консорциума за 30 сут произошло снижение содержания НП на 57% от исходного, за 120 сут – на 82%, за 370 сут – на 83%. В вариантах с использованием бактериального и грибного консорциумов за 30 сут содержание НП снизилось на 55 и 51% соответственно, за 120 сут – на 77 и 79% от исходного уровня, а за 370 сут – на 80% в обоих вариантах опыта.

В первые 30 сут эксперимента наиболее активно снижение НП в почве происходит за счёт испарения [15]. Внесение консорциумов нефтеокисляющих МО ускоряет процесс разложения НП на 10–20%.

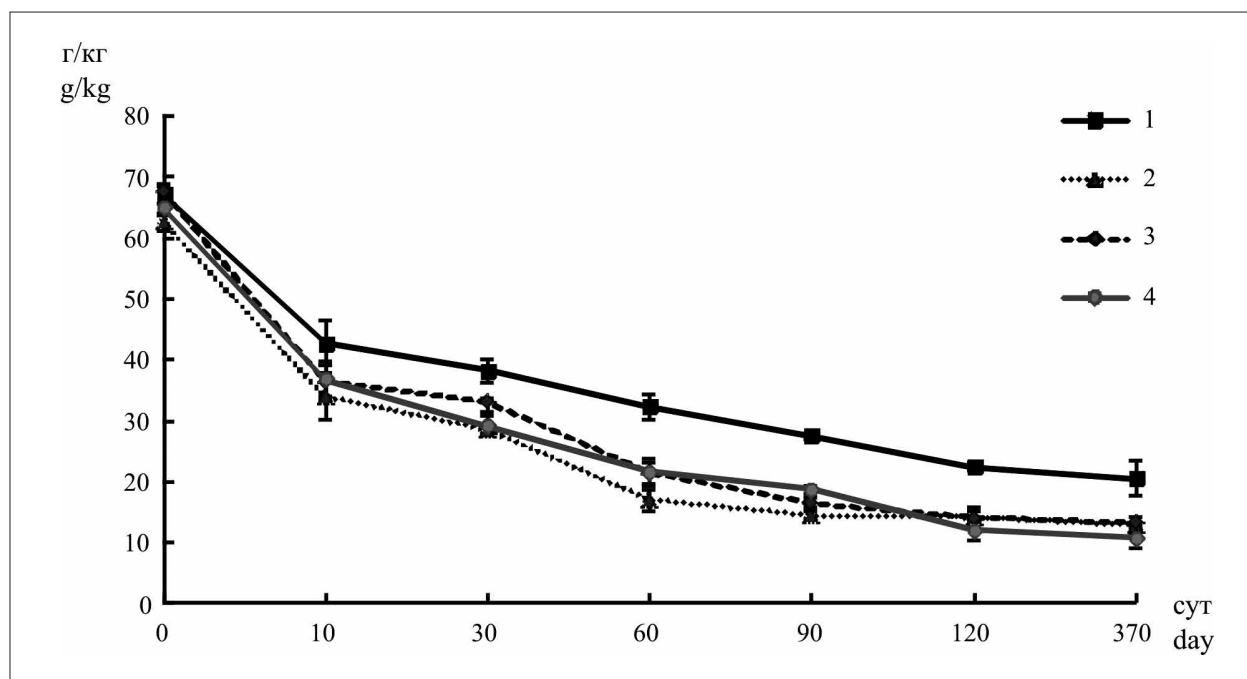


Рис. 1. Динамика содержания НП в почве модельного опыта:

1 – ДТ; 2 – ДТ+Б; 3 – ДТ+Г; 4 – ДТ+ (Б+Г)

Fig. 1. Dynamics of oil products content in the soil of model experiment:

1 – Diesel fuel (DF); 2 – DF + Bacteria consortium (B);

3 – DF + Fungi consortium (F); 4 – DF + (B + F)

Таблица 1 / Table 1

Средняя скорость убыли НП из почвы (г/кг) за 1 сут в полевом опыте  
The average rate of oil products loss from the soil (g oil/kg soil) for 1 day in the field experiment

Вариант Variant	Временной период / Days					
	1–10	10–30	30–60	60–90	90–120	120–370
ДТ / DF	2,43	0,23	0,20	0,02	0,02	0,001
ДТ + Б / DF + B	2,87	0,27	0,39	0,08	0,01	0,002
ДТ + Г / DF + F	3,12	0,16	0,39	0,16	0,08	0,002
ДТ + (Б + Г) DF + (B + F)	2,81	0,39	0,25	0,10	0,22	0,005

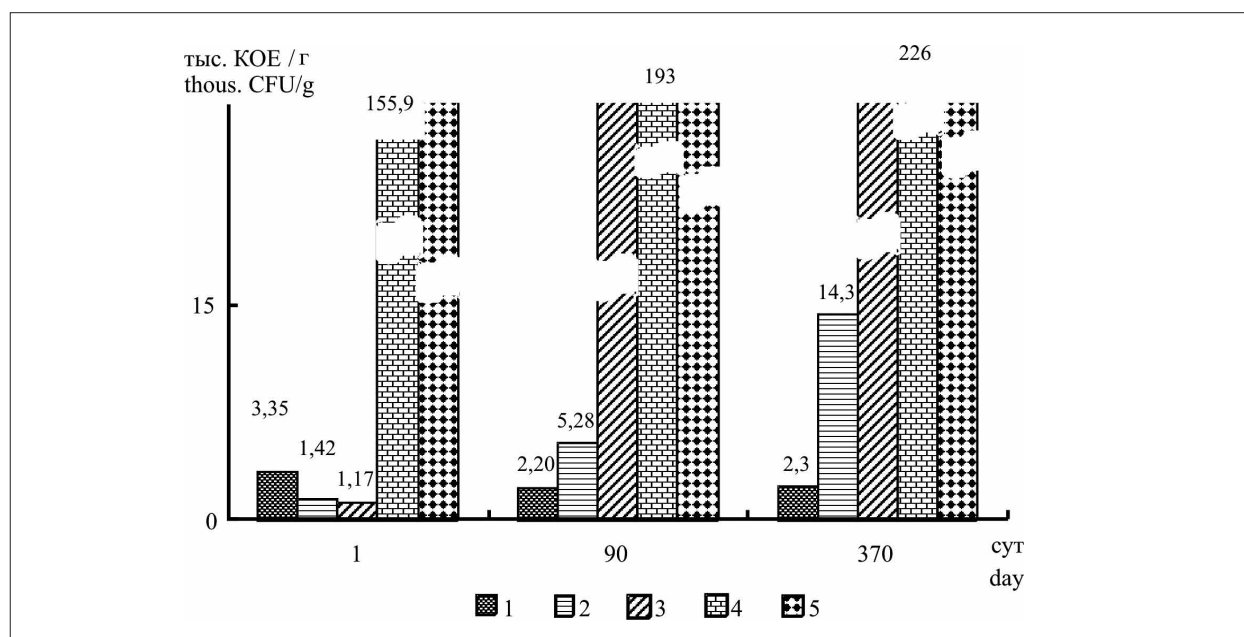


Рис. 2. Численность почвенных микромицетов:  
1 – контроль; 2 – ДТ; 3 – ДТ + Б; 4 – ДТ + Г; 5 – ДТ + (Б + Г)  
Fig. 2. The number of soil micromycetes: 1 – control; 2 – DT;  
3 – DT + B; 4 – DT + F; 5 – DT + (B + F)

Скорость снижения содержания НП в почве изменялась со временем эксперимента (табл. 1). В течение первых 10 сут скорость была максимальной из-за наиболее интенсивного испарения. Позднее высокая скорость разложения наблюдалась в период с 10 по 60 сут эксперимента в вариантах с внесением МО. Впоследствии скорость разложения снижалась во всех вариантах опыта, а в зимний период практически была равна нулю.

Оценка эффективности консорциумов МО в окультуренной Al-Fe гумусовой почве Кольского полуострова в разные периоды времени, показала их наилучшую работу на 10–60 сут эксперимента. Однако в варианте ДТ + (Б + Г) скорость убыли НП была высокой и на 120 сут.

**Численность и видовое разнообразие почвенных микромицетов в полевом опыте.** Сразу после внесения НП в почву отмечается снижение численности микроскопических

грибов в вариантах ДТ и ДТ + Б в 2,4 и 2,8 раза соответственно, что обусловлено высокой токсичностью внесённых НП. На 90 сут количество микромицетов возросло во всех вариантах опыта по сравнению с контролем: в 2,5 раза в варианте с ДТ, в 14 раз – ДТ+Б, в 88 раз – ДТ + Г и 48 раз – ДТ + (Б + Г). Это, вероятно, связано с адаптацией аборигенных штаммов микромицетов к изменённым условиям среды обитания и активным развитием видов грибов, входящих в состав консорциума. На 370 сут численность микроскопических грибов также возросла во всех вариантах. Необходимо отметить, что в вариантах с использованием консорциумов, в состав которых входили микромицеты, численность последних на протяжении всего исследуемого периода держалась на высоком уровне и на 1–2 порядка превосходила таковую в контроле (рис. 2).

В отличие от микромицетов угнетения развития бактериального сообщества сразу после



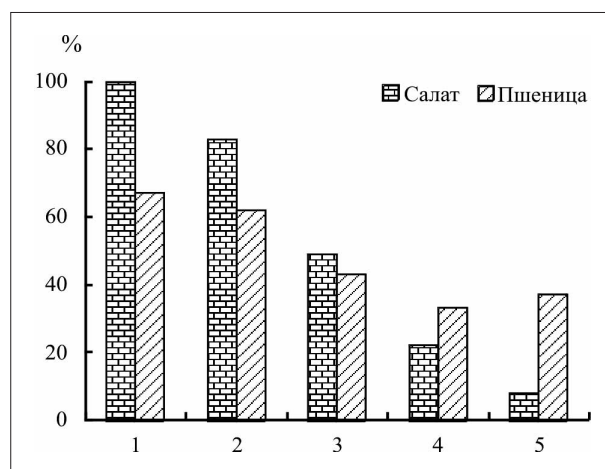
внесения в почву ДТ в концентрации 10 л/м<sup>2</sup> не наблюдалось [11].

Загрязнение почвы ДТ привело к снижению видового разнообразия и перестройке структуры сообществ почвенных микроскопических грибов. В начале опыта из почвенных образцов было выделено 16 видов микромицетов, к концу эксперимента – 11 видов. Во всех вариантах доминировали грибы рода *Penicillium*. Отмечается увеличение доли грибов рода *Penicillium* в вариантах с внесением грибного и бактериально-грибного консорциумов, что вполне закономерно, поскольку в их состав входит 3 вида грибов данного рода. В незагрязнённой почве доминировали по обилию грибы *P. nigricans* (20,4%), *Sterilia mycelia* (23,8%) и *P. ochrochloron* (23,8%); в загрязнённой ДТ – *P. ochrochloron* (30%); в варианте ДТ + Б – *Geomyces pannorum* (25,9%), *P. ochrochloron* (25,9%); в вариантах ДТ + Г и ДТ + (Б + Г) – *P. simplicissimum* (98 и 93,9% соответственно), входящий в состав консорциума.

Спустя 90 сут во всех вариантах опыта по количеству видов также преобладали грибы р. *Penicillium*. В незагрязнённой почве доминировал по обилию гриб *P. simplicissimum* (25,3%); в загрязнённой ДТ – *Cephalosporium asperum* (27,5%); в варианте ДТ + Б – *P. simplicissimum* (30,2%); в вариантах ДТ + Г и ДТ + (Б + Г) – *P. canescens* (46 и 48% соответственно). Необходимо отметить, что вид *P. canescens* входит в состав консорциума и становится доминирующим в составе изменённого сообщества.

**Фитотоксичность микромицетов-деструкторов НП.** Известно, что в результате перестройки в видовой структуре грибных сообществ доминирующие позиции в нефтезагрязнённых почвах занимают сильные токсино-образователи, что может выступать в качестве дополнительного фактора, обуславливающего высокую токсичность нефтезагрязнённой почвы по отношению к растениям. Поэтому важно подобрать такие группы МО, которые бы наносили минимальный урон ОС и были экологически безопасными.

Культуральная жидкость всех исследованных штаммов микромицетов в той или иной степени подавляла всхожесть семян тест-растений. Максимальная степень фитотоксичности наблюдалась у гриба *P. simplicissimum* st.1, угнетающего всхожесть семян кресс-салата на 92% и пшеницы на 30%. Следует отметить, что стерильная среда Чапека снижала всхожесть семян на 17% у кресс-



**Рис. 3.** Всхожесть семян тест-растений: 1 – контроль (вода); 2 – контроль среда; 3 – *Penicillium commune*; 4 – *P. canescens*; 5 – *P. simplicissimum* st.1

**Fig. 3.** Germination of test plants seeds: 1 – control (water); 2 – control medium; 3 – *Penicillium commune*; 4 – *P. canescens*; 5 – *P. simplicissimum* st.1

салата и на 5% у пшеницы. Наименьшую степень подавления всхожести семян проявлял вид *P. commune* (29% для кресс-салата и 24% для пшеницы), активный деструктор НП, входящий в состав консорциума (рис. 3).

### Заключение

Таким образом, использование консорциумов аборигенных микроорганизмов-нефтедеструкторов ускоряет процесс разложения НП в окультуренной Al-Fe гумусовой почве на 10–20%, наиболее активно этот процесс протекает в первые 2 месяца. За 120 сут процент разложения НП в варианте с консорциумом на основе бактерий и грибов составил 82% от исходного. Вероятно, его использование будет наиболее эффективным в почвах Кольского Севера, поскольку они имеют кислую реакцию среды.

Внесение в почву консорциумов бактерий и грибов изменяет численность и структуру сообществ аборигенных МО. В вариантах с использованием грибных консорциумов в почве доминировал *Penicillium canescens*, входящий в состав последнего. Вид *P. commune*, являясь активным деструктором НП, проявлял свойства фитотоксичности в наименьшей степени, по сравнению с другими видами. Он угнетал развитие семян пшеницы на 24% и кресс-салата на 29%. Следовательно, данный вид может быть перспективным для создания био-

препарата и рекомендован в использовании при биоремедиации почв, загрязнённых НП.

*Проведение полевых работ выполняли в рамках проекта Коларктик КО 1001, лабораторные эксперименты и обобщение полученных результатов – в рамках темы НИР по госзаданию АААА-А18-118021490070-5.*

*Авторы выражают благодарность д. б. н., профессору Г. А. Евдокимовой за ценные советы в ходе проведения работы, а также сотрудникам к. б. н. В. А. Мязину за помощь в освоении метода определения НП и к. т. н. Н. В. Фокиной за предоставление бактериальных культур для проведения опыта.*

### Литература

1. Grotenhuis T., Fied L., Wasseveld R., Rulkens W. Biodegradation of polyaromatic hydrocarbons (PAH) in polluted soil by the white – rot fungus *Bjerkandera* // Chemical technology and biotechnology. 1998. V. 71. No. 4. P. 359–360.
2. Adams G.O., Fufeyin P.T., Okoro S.E., Ehinomen I. Bioremediation, biostimulation and bioaugmentation: a review // Internat. Journ. of Environmental Bioremediation and Biodegradation. 2015. V. 3. No. 1. P. 28–39.
3. Pinedo-Rivilla C., Aleu J., Collado I.G. Pollutants biodegradation by fungi // Current Organic Chemistry. 2009. V. 13. No. 12. P. 1194–1214.
4. Позднякова Н.Н., Баландина С.А., Турковская О.В. Деградационная активность грибов по отношению к углеводородам нефти в условиях повышенной температуры // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 4. С. 69–75.
5. Коршунова Т.Ю., Четвериков С.П., Логинов О.Н. Перспективы использования консорциума углеводородокисляющих микроорганизмов для очистки нефтезагрязнённой почвы крайнего Севера // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 1. С. 88–94.
6. Овсянникова В.С., Филатов Д.А., Алтунина Л.К., Сваровская Л.И. Биодеструкция углеводородов высоковязкой нефти почвенными микроорганизмами // Химия в интересах устойчивого развития. 2014. № 22. С. 489–495.
7. Ghazali F.M., Rahman R.N., Salleh A.B., Basri M. International biodegradation of hydrocarbons in soil by microbial consortium // Biodeterioration & Biodegradation. 2004. V. 54. No. 1. P. 61–67.
8. Joо H.S., Ndegwa P.M., Shoda M., Phae C.G. Bioremediation of oil-contaminated soil using *Candida catenulate* and food waste // Environmental Pollution. 2008. V. 156. No. 3. P. 891–896.
9. Киреева Н.А., Григориади А.С., Хайбуллина Е.Ф. Ассоциации углеводородокисляющих микроорганизмов для биоремедиации нефтезагрязнённых почв // Вестник Башкирского университета. 2009. Т. 14. № 2. С. 391–394.

10. Korneykova M.V., Chaporgina A.A., Redkina V.V. Oil destructive activity of fungi isolated from the soils of the Kola Peninsula Urbanization // Challenge and Opportunity for Soil Functions and Ecosystem Services: Proceedings of the 9th Suitma Congress / Eds. V. Vasenev, E. Dovytyarova, Z. Cheng, T. Prokofieva, J. Morel, N. Ananyeva. Springer, 2019. P. 123–134.

11. Evdokimova G.A., Masloboev V.A., Mozgova N.P., Myazin V.A., Fokina N.V. Bioremediation of oil-polluted cultivated soils in the Euro-Arctic Region // Environmental Science and Engineering. 2012. V. 1. No. 9. P. 1130–1136.

12. Мязин В.А., Фокина Н.В. Использование биоремедиации для очистки нефтезагрязнённых почв в условиях Кольского Севера // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. Краснодар: КубГАУ, 2017. 815 с.

13. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. М.: БИНОМ, 2007. 270 с.

14. Билай В.И., Коваль Э.З. Рост грибов на углеводородах нефти. Киев: Наукова Думка, 1980. 254 с.

15. Мязин В.А., Евдокимова Г.А. Биологическая активность почв северных приполярных областей при загрязнении нефтепродуктами // Инженерная экология. 2012. № 1. С. 17–23.

### References

1. Grotenhuis T., Fied L., Wasseveld R., Rulkens W. Biodegradation of polyaromatic hydrocarbons (PAH) in polluted soil by the white – rot fungus *Bjerkandera* // Chemical technology and biotechnology. 1998. V. 71. No. 4. P. 359–360. doi: 10.1002/(SICI)1097-4660(199804)71:4<359:AID-JCTB840>3.0.CO;2-Y
2. Adams G.O., Fufeyin P.T., Okoro S.E., Ehinomen I. Bioremediation, biostimulation and bioaugmentation: a review // Internat. Journ. of Environmental Bioremediation and Biodegradation. 2015. V. 3. No. 1. P. 28–39. doi: 10.12691/ijebb-3-1-5
3. Pinedo-Rivilla C., Aleu J., Collado I.G. Pollutants biodegradation by fungi // Current Organic Chemistry. 2009. V. 13. No. 12. P. 1194–1214. doi: 10.2174/138527209788921774
4. Pozdnyakova N.N., Balandina S.A., Turkovskaya O.V. Degradative activity of fungi towards oil hydrocarbons under high temperature // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No. 4. P. 69–75 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-4-069-075
5. Korshunova T.Y., Chetverikov S.P., Loginov O.N. Prospects of using a consortium of hydrocarbon-oxidizing microorganisms for cleaning oil-polluted soil of the extreme North // Theoretical and Applied Ecology. 2016. No. 1. P. 88–94 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2016-1-095-097
6. Ovsyannikova V.S., Filatov D.A., Altunina L.K., Svarovskaya L.I. Biodegradation of high-viscosity oil hydrocarbons by soil microorganisms // Khimiya v inte-

resakh ustoychivogo razvitiya. 2014. No. 22. P. 489–495 (in Russian).

7. Ghazali F.M., Rahman R.N., Salleh A.B., Basri M. International Biodegradation of hydrocarbons in soil by microbial consortium // *Biodeterioration & Biodegradation*. 2004. V. 54. No. 1. P. 61–67. doi: 10.1016/j.ibiod.2004.02.002

8. Joo H.S., Ndegwa P.M., Shoda M., Phae C.G. Bioremediation of oil-contaminated soil using *Candida catenulate* and food waste // *Environmental Pollution*. 2008. V. 156. No. 3. P. 891–896. doi: 10.1016/j.envpol.2008.05.026

9. Kireyeva N.A., Grigoriadi A.S., Khaybullina E.F. Association of hydrocarbon oxidizing microorganisms for bioremediation of oil contaminated soils // *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. 2009. V. 14. No. 2. P. 391–394 (in Russian).

10. Korneykova M.V., Chaporgina A.A., Redkina V.V. Oil destructive activity of fungi isolated from the soils of the Kola Peninsula Urbanization // *Challenge and Opportunity for Soil Functions and Ecosystem Services: Proceedings of the 9th Suitma Congress* / Eds. V. Vasevnev, E. Dovletyarova, Z. Cheng, T. Prokofieva, J. Morel,

N. Ananyeva. Springer, 2019. P. 123–134. doi: 10.1007/978-3-319-89602-1\_16

11. Evdokimova G.A., Masloboev V.A., Mozgova N.P., Myazin V.A., Fokina N.V. Bioremediation of oil-polluted cultivated soils in the Euro-Arctic Region // *Environmental Science and Engineering*. 2012. V. 1. No. 9. P. 1130–1136.

12. Myazin V.A., Fokina N.V. Use of bioremediation for cleaning oil-contaminated soils in the conditions of the Kola North // *Problemy rekultivatsii otkhodov byta, promyshlennogo i selskokhozyaystvennogo proizvodstva*. Krasnodar: KubGAU, 2017. 815 p. (in Russian).

13. Drugov Y.S., Rodin A.A. Environmental analyzes for oil spills and oil products. Moskva: BINOM, 2007. 270 p. (in Russian).

14. Bilaj V.I., Koval E.Z. The growth of fungi on petroleum hydrocarbons. Kiev: Naukova dumka, 1980. 254 p. (in Russian).

15. Myazin V.A., Evdokimova G.A. The biological activity of the soil of the northern polar regions when oil pollution // *Inzhenernaya ekologiya*. 2012. No. 1. P. 17–23 (in Russian).