

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БУРОВЫХ ШЛАМОВ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА
ИХ БИОРЕМЕДИАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

A.E. Zimnukhova, E.V. Gaevaya, S.S. Tarasova

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF DRILLING SLUDGE AND DEVELOPMENT
OF A METHOD FOR THEIR BIOREMEDIATION IN WESTERN SIBERIA

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос биоремедиации буровых шламов. Целью исследования является изучение микробиологических процессов, происходящих в почвогрунтах на основе бурового шлама, с последующим применением их для биологического этапа рекультивации нарушенных земель. Изучены микробиологические характеристики бурового шлама и четырёх образцов почвогрунтов на его основе с добавлением диатомита, доломитовой муки, торфа, гипса, глауконита, гуминового препарата «Росток» в разных пропорциях. Выполнены посевы на агаризованные среды: мясопептонный агар (МПА), крахмало-аммиачный агар (КАА), среду Мюнца, среду Чапека, в зависимости от определяемой группы микроорганизмов. Оценена общая численность микрофлоры, численность сапрофитов, микроорганизмов, растущих на крахмало-аммиачном агаре (КАА), бактерий, использующих углеводороды (УОБ), микромицетов и актиномицетов. Рассчитан коэффициент минерализации. Общая численность микрофлоры в образцах варьировалась от 51 до 271 млн КОЕ/г. Доля сапрофитов составила 16,7–24,8% от общего количества микрофлоры. Доля микроорганизмов, растущих на КАА, составила 15,6–36,6%. Минимальная численность УОБ составила 2,0 млн КОЕ/г почвогрунта, максимальная – 22,0 млн КОЕ/г. Коэффициент минерализации варьируется от 0,81 до 1,63, что говорит о разных темпах процессов минерализации. Численность микромицетов, определённая на среде Чапека, варьировалась в пределах от 0,01 до 3,33 млн КОЕ/г, на КАА – от 0,03 до 10,4 млн КОЕ/г. При этом численность микромицетов намного ниже численности бактерий, что нормально для почвогрунтов. Численность актиномицетов варьировалась от 0,2 до 7,3 млн КОЕ/г. Наибольшая численность актиномицетов отмечена при внесении торфа и гуминового препарата «Росток». Доля актиномицетов в общей численности микрофлоры на КАА составила от 0,6 до 14%. Наблюдается развитие общей численности

Abstract. The article considers the issue of bioremediation of drilling sludge. The aim of the research is studying of the microbiological processes occurring in soils based on drilling sludge, with their subsequent application for the biological stage of reclamation of disturbed lands. Microbiological characteristics of drilling sludge and four samples of soils based on it with the addition of diatomite, dolomite flour, peat, gypsum, glauconite, humic preparation “Rostock” in different proportions were studied. Crops were shown on agarized medium: meat-peptone agar (MPA), starch-ammonia agar (SAA), Munz medium, Chapek medium, depending on the determined group of microorganisms. The total number of microflora, the number of saprophytes, microorganisms growing on starch-ammonia agar (SAA), hydrocarbon-oxidizing bacteria (PSB), micromycetes and actinomycetes were estimated. The mineralization coefficient is calculated. The total number of microflora in the samples ranged from 51 to 271 million CFU/g. The share of saprophytes was 16.7–24.8% of the total amount of microflora. The proportion of microorganisms growing on SAA was 15.6–36.6%. The minimum number of PSB was 2.0 million CFU/g of soil; the maximum was 22.0 million CFU/g. The mineralization coefficient varies from 0.81 to 1.63, which indicates different rates of mineralization processes. The number of micromycetes determined on the Chapek medium ranged from 0.01 to 3.33 million CFU/g, on SAA – from 0.03 to 10.4 million CFU/g. At the same time, the number of micromycetes is much lower than the number of bacteria, which is normal for soils. The number of actinomycetes varied from 0.2 to 7.3 million CFU/g. The largest number of actinomycetes was noted when peat and humic preparation “Rostock” were introduced. The share of actinomycetes in the total number of

микрофлоры, увеличение разнообразия микробценоза, что свидетельствует о снижении концентраций водорастворимых солей, нефтепродуктов и наличии дополнительного источника питания в виде торфа. На основании полученных данных сделан вывод о возможности применения почвогрунтов на основе бурового шлама с добавлением торфа и гуминового препарата «Росток» для рекультивации нарушенных земель.

Ключевые слова: буровой шлам; биоремедиация; почвогрунт; рекультивация; микробиологический анализ.

Сведения об авторах: Зимнухова Анастасия Евгеньевна, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия, nastya_plotnikova@bk.ru; Гаевая Елена Викторовна, канд. биол. наук, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия, gaevajaev@tyuiu.ru; Тарасова Светлана Сергеевна, канд. биол. наук, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия, tarasovass@tyuiu.ru

microflora on the SAA ranged from 0.6 to 14%. There is a development of the total number of microflora, an increase in the diversity of microbocenosis, which indicates a decrease in the concentrations of water-soluble salts, petroleum products and the presence of an additional food source in the form of peat. Based on the data obtained, a conclusion was made about the possibility of using soils based on drilling sludge with the addition of peat and humic preparation “Rostock” for the reclamation of disturbed lands.

Keywords: drilling sludge; bioremediation; soil; recultivation; microbiological analysis.

About the authors: Anastasia E. Zimnukhova, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, nastya_plotnikova@bk.ru; Elena V. Gaevaya, Candidate of Biological Sciences, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, gaevajaev@tyuiu.ru; Svetlana S. Tarasova, Candidate of Biological Sciences, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, tarasovass@tyuiu.ru

Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В., Тарасова С.С. Экологическая оценка буровых шламов и разработка способа их биоремедиации в условиях Западной Сибири // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2023. № 3(63). С. 90–100. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/08>

Zimnukhova, A.E., Gaevaya, E.V., & Tarasova, S.S. (2023). Ecological Assessment of Drilling Sludge and Development of a Method for their Bioremediation in Western Siberia. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3(63)), 90-100. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/08>

В условиях Западной Сибири актуальным является вопрос обращения с буровыми шламами, образующимися при добыче углеводородного сырья [1; 2]. На сегодняшний день наиболее распространён способ размещения и хранения их в шламовых амбарах, являющихся источником вторичного загрязнения окружающей среды. При этом для восстановления экосистем в северных условиях требуется до 15 лет [3; 4]. В этой связи необходима разработка современных методов рекультивации территорий, занятых шламовыми амбарами.

Важную роль в восстановлении биоценозов играют процессы биоремедиации [5]. В биоремедиации выделяют два основных подхода:

1. Биостимуляция, заключающаяся во внесении различных субстратов, биогенных элементов для активации деградирующей способности микрофлоры, при этом наблюдается рост микроорганизмов, способных к очистке почв;

2. Биодополнение, заключающееся во внесении специально созданных штаммов-деструкторов.

При этом буровой шлам, являясь выбуренной горной породой, может быть возвращён в геосферные оболочки Земли и использован в качестве почвогрунта для рекультивационных мероприятий при внесении каких-либо добавок.

Целью исследования является изучение микробиологических процессов, происходящих в почвогрунтах на основе бурового шлама, с последующим применением их для биологического этапа рекультивации нарушенных земель.

В качестве основного показателя плодородия почв выступает их биологическая активность в комплексе с химическими и токсикологическими свойствами. Оценка плодородия почв возможна по таким критериям как биомасса микроорганизмов (МО) и ферментативная активность [6].

Ферменты выполняют функцию катализаторов физических, химических, биологических реакций, за счёт чего играют важную роль в процессах, происходящих в почвах. Почвенные ферменты обладают высокой чувствительностью к изменениям, вызванным природными или антропогенными воздействиями [7; 8; 18–20].

Исследования, проводимые в данной области, свидетельствуют о возможности использования ферментативной активности почв в качестве индикаторного показателя загрязнения почв и для характеристики почвогрунтов, полученных на основе буровых шламов [9; 10].

Существует коррелятивная зависимость напряжённости микробиологических процессов в почве с размножением и активностью всей совокупности почвенных сапрофитных микроорганизмов [10]. Оценить общее состояние почвы можно посредством определения общей численности. При этом в плодородных почвах с высоким содержанием органического вещества численность может достигать миллиардов.

Распад и минерализация свежего органического вещества осуществляются в первую очередь благодаря группе аммонифицирующей микрофлоры, так называемой гнилостной, учитываемой на мясопептонном агаре (МПА). Данная микрофлора использует белки – азотсодержащее органическое вещество.

Следующий этап минерализации опада осуществляется группой, учитываемой на крахмало-аммиачном агаре (КАА). Данная группа является разнородной по составу группой бактерий, микромицетов, актиномицетов, использующей для питания органические вещества без азота – углеводы и полисахариды, азот в минеральной форме.

Соотношение бактерий, усваивающих органический и минеральный азот (КАА/МПА), может выступать в качестве одного из показателей интенсификации минерализационных процессов в почве. При более энергичном процессе минерализации микроорганизмы, усваивающие минеральный азот, превосходят по численности микрофлору, которая развивается посредством органического азота.

Почвенные грибы и актиномицеты имеют важное значение в процессе превращения широкого круга органических и минеральных веществ в почве. Они продуцируют многие физиологически активные вещества, такие как аминокислоты, витамины, ферменты, антибиотики. Благодаря последним выражены антагонистические свойства, оказывающие влияние на формирование почвенных микробсообществ [11; 12].

Группу неродственных бактерий, которые способны к использованию углеводов как единственного источника углерода и энергии, называют УОБ. Данная группа выделяется

на плотных или жидких минеральных средах (Раймонда и Мюнца) при использовании углеводов или нефти в качестве источника питания. Помимо окисления углеводов, в благоприятных условиях могут использовать более доступные субстраты, а при наличии углеводов могут получать энергию из них. При этом данная группа получает конкурентное преимущество относительно других видов.

Образец бурового шлама или почвогрунта был перемешан и измельчён до однородного состояния. Для всех образцов определена влажность, с учётом которой далее рассчитана численность микрофлоры на 1 грамм сухого бурового шлама или почвогрунта.

Навеска бурового шлама или почвогрунта была помещена в выпарительную чашу, высушена до постоянной массы при 85°C. На основании потери массы после сушки определена влажность образца.

Далее из образца отбиралась навеска 1 г., вносилась в пробирку с 9 мл физраствора (0,9% хлорида натрия), добавлялся по одной капле стерильный ПАВ ТВИН-80, перекрывался стерильной резиновой пробкой и энергично встряхивался в течение одной минуты. После этого отстаивался в течение десяти минут и готовилась серия разведений полученной взвеси в 10, 100, 1000, 10000 и т. д. раз.

Из полученных разведений выполнялся посев на агаризованные среды для определения численности ряда физиологических групп.

Общее число микрофлоры было определено посевом в толщу мясопептонного агара (МПА). Исследуемая взвесь в объёме 1 мл была внесена в стерильную чашу Петри и залита 25-30 мл тёплой среды МПА, перемешана покачиванием. Инкубирование происходило при 30 °С в течение 3-5 суток. Численность выражена в миллионах клеток или колониеобразующих единиц на один грамм сухой почвы, млн КОЕ/г.

Численность сапрофитной микрофлоры (гнилостной, аммонифицирующей белки) определена посевом 0,1 мл разведений взвеси на поверхность МПА (рис. 1). Посевы были подсчитаны через 3-5 суток термостатирования при 30 °С.

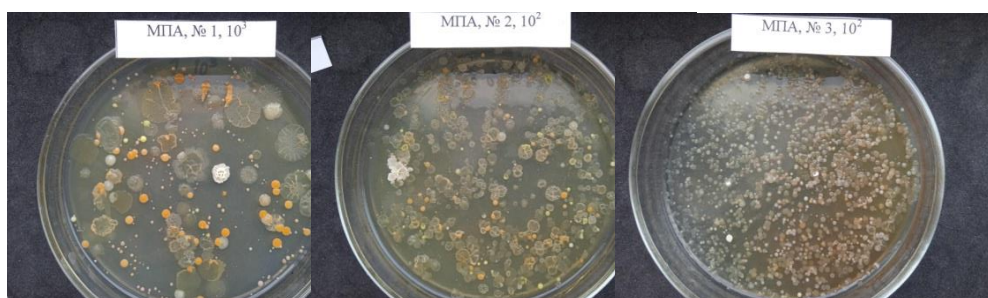


Рис. 1. Внешний вид посевов на МПА (группа сапрофитных бактерий)

В состав МПА входят готовый ГМФ агар, пептон сухой ферментативный, агар бактериологический, вода дистиллированная.

Численность актиномицетов, микромицетов и бактерий, использующих органическое вещество без азота, определена посевом 0,1 мл разведений взвеси на поверхность крахмало-аммиачного арага (КАА). Подсчёт посевов был выполнен через 5-7 суток термостатирования при 30°C.

В состав среды КАА входят крахмал растворимый, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, K_2HPO_4 , MgSO_4 , NaCl , CaCO_3 , агар бактериологический, вода дистиллированная.

Численность углеводородокисляющих бактерий (УОБ) была определена посевом 0,1 мл разведений взвеси на поверхность агаризованной минеральной среды Мюнца с нефтью, выполняющую функции единственного источника углерода и энергии. Подсчёт посевов выполнен через 7–10 суток термостатирования при 30°C.

В состав среды Мюнца входят NaCl , KNO_3 , MgSO_4 , KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , агар бактериологический, нефть стерильная.

Численность микромицетов отдельно определена посевом 0,1 мл разведений взвеси на поверхность среды Чапека. Подсчёт выполнен через 3–5 суток термостатирования при 30°C.

В состав среды Чапека входят среда Чапека сухая, агар бактериологический.

В исследовании использованы следующие образцы почвогрунтов:

№1 – буровой шлам (контроль);

№2 – буровой шлам смешан с диатомитом и доломитовой мукой в соотношении 80:10:10 %;

№3 – буровой шлам смешан с диатомитом, доломитовой мукой, торфом и гуминовым препаратом «Росток» в соотношении 40:10:10:40%;

№4 – буровой шлам смешан с гипсом и глауконитом в соотношении 80:10:10%;

№5 – буровой шлам смешан с гипсом, глауконитом, торфом и гуминовым препаратом «Росток» в соотношении 40:10:10:40%.

Общая численность микрофлоры в образцах варьировалась от 51 до 271 млн КОЕ/г (табл.). Численность сапрофитов (аэробных аммонификаторов) составила 8,5 млн КОЕ/г для образца №4, для остальных образцов – от 34,0 до 62,0 млн КОЕ/г (рис. 1). На долю сапрофитов приходится от 16,7 до 24,8 % от общего количества микрофлоры.

Таблица

Результаты определения влажности и микробиологические анализы почвенных образцов

№	Влаж-ность, %	Численность, млн КОЕ/г							КАА/МПА
		Об-щая	Сапро-фитов	Общая на КАА	УОБ на Мюнца	Грибов на Чапека	Грибов на КАА	Актиноми-цетов на КАА	
1	0,3	271	61,0	99,3	22,0	0,08	0,1	1,0	1,63
2	2,1	204	34,0	31,9	13,6	0,01	0,2	0,2	0,94
3	4,1	250	62,0	50,6	13,0	3,33	10,4	7,3	0,81
4	2,2	51	8,5	8,7	2,0	0,02	0,03	0,6	1,02
5	5,5	210	45,2	57,8	17,8	0,21	0,4	4,9	1,27

Количество микроорганизмов, растущих на среде с минеральным азотом, варьировалось от 31,9 до 99,3 млн КОЕ/г для образцов №№ 1, 2, 3, 5. В образце №4 их количество также было минимальным и составило 8,7 млн КОЕ/г. Так, количество микроорганизмов, растущих на КАА, варьируется в пределах от 15,6 до 36,6 % от общей численности. Количество сапрофитов и растущих на КАА сопоставимо во всех образцах.

Численность УОБ в образце №4 была минимальной и составила 2,0 млн КОЕ/г. В остальных образцах численность УОБ была в пределах от 13,0 до 22,0 млн КОЕ/г.

Данные численности микрофлоры разных физиологических групп в логарифмическом масштабе представлены на рисунке 2. Логарифмическая шкала позволяет сравнить величины разного порядка.

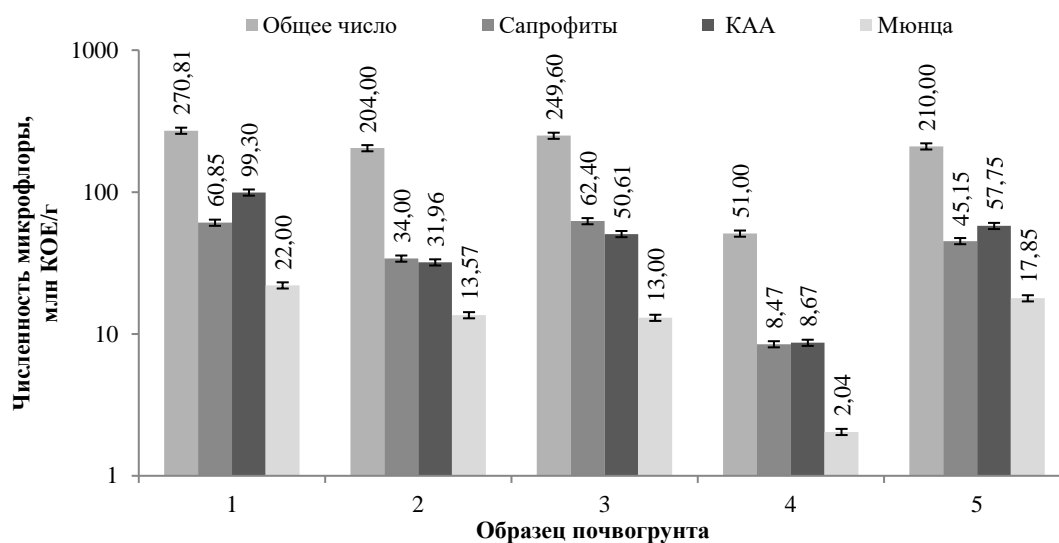


Рис. 2. Численность микрофлоры разных физиологических групп (шкала логарифмическая)

По рисунку 2 видно значимое отличие образца №4 по численности всех исследуемых групп микрофлоры. В данном образце содержится минимальное количество сапрофитов, бактерий, растущих на КАА и углеводородокисляющих бактерий, выращиваемых на среде Мюнца.

Коэффициент минерализации, рассчитываемый как отношение численности микрофлоры, растущей на КАА, к численности микрофлоры, растущей на МПА, был заметно выше единицы в образцах №№ 1 и 5 и составил 1,63 и 1,27 соответственно. В образцах №№ 2 и 4 данный коэффициент был близок к единице и составлял 0,94 и 1,02 соответственно. В образце № 3 наблюдается минимальное отношение КАА к МПА и составляет 0,81, что свидетельствует о наиболее низком темпе происходящих минерализационных процессов (рис. 3).

Почвенные микромицеты являются одними из основных компонентов биоты и имеют непосредственное отношение к процессам почвообразования и круговорота веществ в экосистемах северных территорий [13].

Грибная флора служит индикатором способности почвы к самовосстановлению после антропогенного воздействия [14–17].

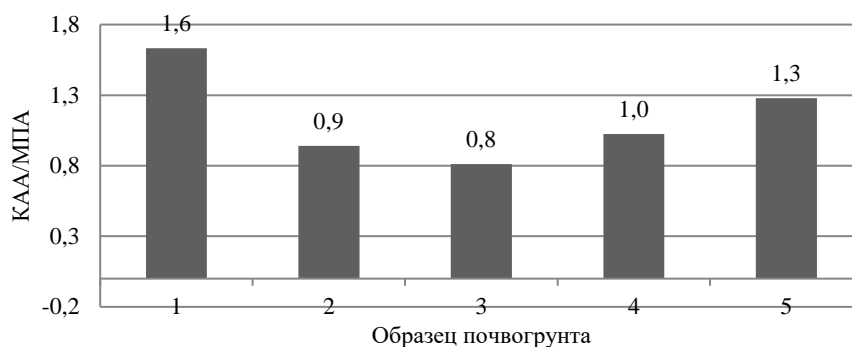


Рис. 3. Коэффициент минерализации (отношение численности микрофлоры, растущей на КАА, к численности микрофлоры, растущей на МПА)

Во всех образцах численность микромицетов была намного ниже, чем бактерий, что является нормой для почвогрунтов. Высокое содержание почвенных грибов может быть связано с такими проблемами, как кислая реакция почвенного раствора, нарушение водно-воздушного режима и другими.

Численность микромицетов, определённая на средах Чапека и КАА, была схожа во всех образцах, кроме №3, где численность составила 3,33 и 10,4 млн КОЕ/г соответственно. В остальных численность микромицетов, определённая на среде Чапека, варьировалась от 0,01 до 0,21 млн КОЕ/г, на КАА – от 0,03 до 0,4 млн КОЕ/г.

Численность актиномицетов в образцах №№ 1, 2, 4 варьировалась в пределах от 0,2 до 1,0 млн КОЕ/г, в образцах с внесением торфа (№№ 3 и 5) зафиксирована наибольшая численность – 7,3 и 4,9 млн КОЕ/г соответственно. При этом их доля в общей численности микрофлоры на КАА для образцов №№ 1 и 2 была наименьшей и составила 0,6 и 1%, выше в образцах №№ 4 и 5 – 6,7 и 8,4%. В образце №3 зафиксирована максимальная доля – 14% (рис. 4).

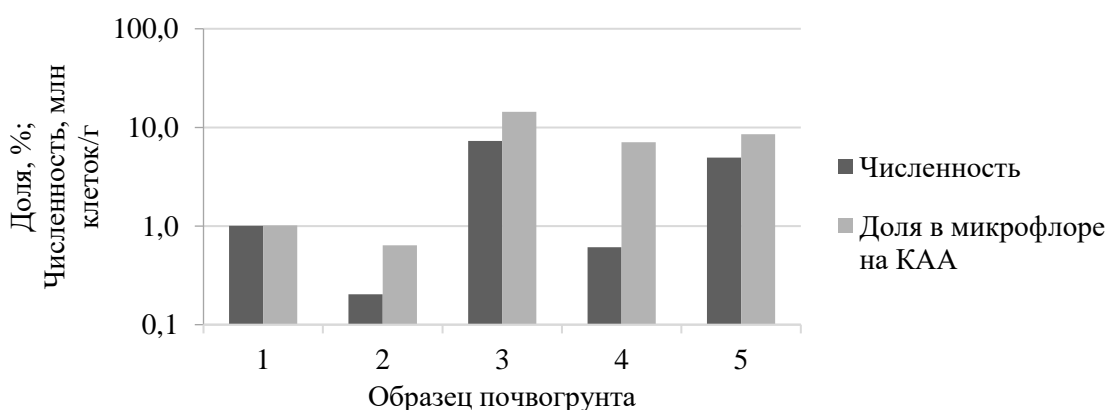


Рис. 4. Численность актиномицетов и их доля (в %) в численности всей микрофлоры на КАА

Актиномицеты способны формировать споры и таким образом переживать периоды неблагоприятных условий: недостаток питания, низкую влажность. В связи с этим высокое содержание актиномицетов может свидетельствовать о неблагоприятных условиях для вегетативных форм микрофлоры.

Результаты исследований показывают ингибирующее действие на микробоценоз водорастворимых солей и нефтепродуктов, входящих в состав бурового шлама, а также щелочной реакции среды бурового шлама. В исследуемых почвогрунтах наблюдается развитие общей численности микрофлоры.

Увеличение разнообразия микробоценоза исследуемых почвогрунтов свидетельствует о снижении концентраций водорастворимых солей и нефтепродуктов относительного исходного образца бурового шлама, а также о наличии дополнительных источников питания в виде торфа.

Таким образом, почвогрунты на основе буровых шламов с добавлением торфа и гуминового препарата «Росток» могут быть использованы как исходный материал для биологической рекультивации нарушенных земель.

Литература

1. Васильченко А.В., Воеводина Т.С. Проблема экологической оценки загрязнения почв нефтепродуктами // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. №10(185). С. 147–151.
2. Рядинский В.Ю., Соромотин А.В., Денeko Ю.В. Состав и свойства буровых отходов Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. 2004. №3. С. 51–55.
3. Глазовская М.А., Пиковский Ю.И. Скорость самоочищения почв от нефти в различных природных зонах // Природа. 1980. №5. С. 118–119.
4. Назаров А.В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения // Вестник Пермского университета. 2007. №5(10). С. 134–141.
5. Вельков В.В. Биоремедиация; принципы, проблемы, подходы // Биотехнология. 1995. №3-4. С. 20–27.
6. Григорьян Г.Р., Николаева Т.Г., Сунгатуллина Л.М. Изменение биологических параметров почвенной экосистемы в агробиоценозах в условиях различных систем земледелия // Георесурсы. 2011. №2(38). С. 9–13.
7. Сенчакова Т.Ю. Микромицеты черноземных почв как объект биоиндикации в антропогенно-трансформированных экосистемах // Наука и современность. 2010. №6-1. С. 55–59.
8. Пикушова Э.А., Букреев Н.А., Москалева С.К. Пшидаток Изменение численности микромицетов в черноземе, выщелоченном в зависимости от технологий возделывания озимой пшеницы сорта Фортуна // Научный журнал КубГАУ. 2012. №81. С. 459–475.
9. Сакаева Э.Х., Рудакова Л.В. Оценка биологической активности техногрунтов на основе буровых шламов для рекультивации нарушенных земель // Теоретическая и прикладная экология. 2020. №4. С. 192–197.
10. Тарасова С.С. Экологическая оценка почвогрунтов на основе буровых шламов для биологического этапа рекультивации нарушенных земель в условиях Западной Сибири: дисс... канд. биол. наук. Тюмень, 2022. 195 с.

11. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
12. Комаревцева Л.Г. Микробиологическая активность почвы на фоне действия и последствия разных видов удобрений // Вестник АПК Верхневолжья. 2010. №3. С. 43–46.
13. Хабибуллина Ф.М. Характеристика почвенной микобиоты во вторичных лиственных лесах подзоны средней тайги (Республика Коми) // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. №1-3. С. 891–895.
14. Назарько М.Д. Изменение состава почвенных микромицетов при интенсивном антропогенном воздействии в северных районах Кубани // Изв. вузов. Пищевая технология. 2007. №4. С. 110–111.
15. Колесникова И.Я., Воронин Л.В. Изменение комплексов почвенных грибов под действием различных систем обработки почвы и удобрений // Ярославский педагогический вестник. Естественные науки. 2011. №1. С. 114–118.
16. Воронин Л.В., Колесникова И.Я. Инициированные комплексы почвенных грибов в агроценозах // Ярославский педагогический вестник. 2012. №1. Т. III (Естественные науки). С. 90–93.
17. Куркина Ю.Н., Нгуен Тхи Лан Хьонг. Микромицеты в почвах Белгородской области под бобовыми культурами // Вестник защиты растений. 2014. №2. С. 51–54.
18. Utobo E.B., Tewari L. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status // Applied Ecology and Environmental Research. 2015. Vol. 13(1). P. 147–169. https://doi.org/10.15666/aeer/1301_147169
19. Baldrian P. Microbial enzyme-catalyzed processes in soils and their analysis // Plant Soil Environmental. 2009. №55 (9). P. 370–378. <https://doi.org/10.17221/134/2009-PSE>
20. Dariush M.-T., Mina K.M. Crude oil-polluted soil induces ultrastructural and enzyme activity changes in the Shoot of Lentil // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 2017. Vol. 10. №1. P. 112–121.

References

1. Vasil`chenko, A.V., & Voevodina, T.S. (2015). Problema e`kologicheskoy ocenki zagryazneniya pochv nefteproduktami. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 10(185), 147-151. (in Russ.).
2. Ryadinskij, V.Yu., Soromotin, A.V., & Deneko, Yu.V. (2004). Sostav i svojstva burovy`x otxodov Zapadnoj Sibiri. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*, 3, 51-55. (in Russ.).
3. Glazovskaya, M.A., & Pikovskij Yu.I. (1980). Skorost` samoochishheniya pochv ot nefi v razlichny`x prirodny`x zonax. *Priroda*, 5, 118-119. (in Russ.).
4. Nazarov, A.V. (2007). Vliyanie neftyanogo zagryazneniya pochvy` na rasteniya. *Vestnik Permskogo universiteta*, 5(10),134-141. (in Russ.).
5. Vel`kov, V.V. (1995). Bioremediaciya; principy`, problemy`, podxody`. *Biotexnologiya*, 3-4, 20-27. (in Russ.).

6. Grigor`yan, G.R., Nikolaeva, T.G., & Sungatullina, L.M. (2011). Izmenenie biologicheskix parametrov pochvennoj e`kosistemy` v agrobiocenozaх v usloviyax razlichny`x sistem zemledeliya. *Georesursy`*, 2(38), 9-13. (in Russ.).
7. Senchakova, T.Yu. (2010). Mikromicety` chernozemny`x pochv kak ob`ekt bioindikacii v antropogенно-transformirovanny`x e`kosistemax. *Nauka i sovremennost`*, 6-1, 55-59. (in Russ.).
8. Pikushova, E`.A., Bukreev, N.A., & Moskaleva, S.K. (2012). Pshidatok Izmenenie chislennosti mikromicetov v chernozeme, vy`shhelochennom v zavisimosti ot texnologij vozdeley`vaniya ozimoy pshenicy sorta Fortuna. *Nauchny`j zhurnal KubGAU*, 81, 459-475. (in Russ.).
9. Sakaeva, E`.X., & Rudakova, L.V. (2020). Ocenka biologicheskoy aktivnosti texnogrunтов na osnove burovy`x shlamov dlya rekul`tivacii narushenny`x zemel`. *Teoreticheskaya i prikladnaya e`kologiya*, 4, 192-197. (in Russ.).
10. Tarasova, S.S. (2022). E`kologicheskaya ocenka pochvogrunтов na osnove burovy`x shlamov dlya biologicheskogo e`tapa rekul`tivacii narushenny`x zemel` v usloviyax Zapadnoj Sibiri: diss... kand. biol. nauk. Tyumen`, 195. (in Russ.).
11. Zvyaginev, D.G., Bab`eva, I.P., & Zenova, G.M. (2005). *Biologiya pochv*. M.: Izd-vo MGU, 445. (in Russ.).
12. Komarevceva, L.G. (2010). Mikrobiologicheskaya aktivnost` pochvy` na fone dejstviya i posledejstviya razny`x vidov udobrenij. *Vestnik APK Verxnevolzh`ya*, 3, 43-46. (in Russ.).
13. Xabibullina, F.M. (2014). Xarakteristika pochvennoj mikrobioty` vo vtorichny`x listvenny`x lesax podzony` srednej tajgi (Respublika Komi). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*, 1-3, 891-895. (in Russ.).
14. Nazar`ko, M.D. (2007). Izmenenie sostava pochvenny`x mikromicetov pri intensivnom antropogennom vozdeystvii v severny`x rajonax Kubani. *Izv. vuzov. Pishhevaya texnologiya*, 4, 110-111. (in Russ.).
15. Kolesnikova, I.Ya., & Voronin, L.V. (2011). Izmenenie kompleksov pochvenny`x gribov pod dejstviem razlichny`x sistem obrabotki pochvy` i udobrenij. *Yaroslavskij pedagogicheskij vestnik. Estestvenny`e nauki*, 1, 114-118. (in Russ.).
16. Voronin, L.V., & Kolesnikova, I.Ya. (2012). Inicirovanny`e komplekсы` pochvenny`x gribov v agrocenozaх. *Yaroslavskij pedagogicheskij vestnik*, 1. vol. III (Estestvenny`e nauki), 90-93. (in Russ.).
17. Kurkina, Yu.N., Nguen, & Txi Lan Xy`ong. (2014). Mikromicety` v pochvax Belgorodskoj oblasti pod bobovy`mi kul`turami. *Vestnik zashhity` rastenij*, 2, 51-54. (in Russ.).
18. Utobo, E.B., & Tewari, L. (2015). Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status. *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 13(1), 147-169. https://doi.org/10.15666/aer/1301_147169
19. Baldrian, P. (2009). Microbial enzyme-catalyzed processes in soils and their analysis. *Plant Soil Environmental*, 55 (9), 370-378. <https://doi.org/10.17221/134/2009-PSE>

20. Dariush, M.-T., & Mina, K.M. (2017). Crude oil-polluted soil induces ultrastructural and enzyme activity changes in the Shoot of Lentil. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, vol. 10, 1, 112-121.

Дата поступления: 12.05.2023

Дата принятия: 06.09.2023

© Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В., Тарасова С.С., 2023