

ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-3-467-484

EDN: ESIUFM

УДК 504.054:504.064.45

Научная статья / Research article

Исследование влияния нефтезагрязнений на физико-химические и микробиологические свойства торфяных болотных верховых почв с применением минерала глауконит и штаммов микроорганизмов в лабораторных условиях

А.С. Боровская , Е.В. Гаевая *Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация*✉ nastja_2009@mail.ru

Аннотация. Нефтепродукты оказывают влияние на химические и микробиологические свойства торфяных болотных верховых почв: увеличивается концентрация сульфат-ионов на 80,99–91,01 %, концентрация солей натрия изменяется со 141 до 3151 мг/кг, снижается видовое разнообразие, появляются плесневые грибы. Объект исследования — торфяные болотные верховые почвы с разной концентрацией нефтяных загрязнений. Методы исследования свойств нефтезагрязненных торфяных болотных верховых почв, сорбционных материалов и биодеструкторов нефти для создания устойчивого фитоценоза включают гравиметрический метод, капиллярный электрофорез, спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой, посев почвенной суспензии на селективные среды и др. При внесении минерального сорбента глауконита и штаммов микроорганизмов происходит изменение биологических и физико-химических свойств торфяных болотных верховых почв: концентрация нефтепродуктов снижается на 81–92 %, концентрация солей натрия снижается на 95,9–97,9 %, изменяется pH почвы. После применения комбинированного способа с внесением минерального сорбента глауконита и штаммов микроорганизмов торфяные болотные верховые почвы по физико-химическим показателям становятся ближе к исходному состоянию незагрязненной торфяной болотной верховой почвы и подходят для создания устойчивого фитоценоза.

Ключевые слова: нефтепродукты, микроорганизмы, глауконит, торфяные болотные верховые почвы

© Боровская А.С., Гаевая Е.В., 2026

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов. *Боровская А.С.* — сбор информации, написание текста. *Гаевая Е.В.* — проверка материалов научным руководителем. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявление об использовании технологий искусственного интеллекта. Авторы заявляют об использовании технологий искусственного интеллекта.

Заявление о доступности данных. Все данные, полученные в ходе этого исследования, включены в опубликованную статью.

История статьи: поступила в редакцию 17.10.2025; доработана после рецензирования 30.10.2025; принята к публикации 05.02.2026.

Для цитирования: *Боровская А.С., Гаевая Е.В.* Исследование влияния нефтезагрязнений на физико-химические и микробиологические свойства торфяных болотных верховых почв с применением минерала глауконит и штаммов микроорганизмов в лабораторных условиях // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 3. С. 467–484. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-3-467-484> EDN: ESIUFM

Study of the effect of oil pollution on the physical, chemical, and microbiological properties of peat-marsh top soils using the mineral glauconite and microbial strains in laboratory conditions

Anastasia S. Borovskaya^{ID}✉, **Elena V. Gaevaya**^{ID}

Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation

✉nastja_2009@mail.ru

Abstract. Petroleum products affect the chemical and microbiological properties of peat-marsh top soils: sulfate ions concentration increases by 80.99–91.01%, sodium salt concentration changes from 141 to 3151 mg/kg, species diversity decreases, and moldy fungi appear. The object of research is peat-marsh top soils with different concentrations of oil pollution. Methods for studying the properties of oil-contaminated peat-marsh top soils, sorption materials, and oil biodegraders for creating a sustainable phytocenosis include gravimetric methods, capillary electrophoresis, inductively coupled plasma spectrometry, soil suspension seeding on selective media, etc. When adding mineral sorbent glauconite and microorganisms strains, the biological and physicochemical properties of peat-marsh top soils are altered: the concentration of petroleum products is reduced by 81–92%, the concentration of sodium salts is reduced by 95.9–97.9%, and the pH of the soil changes. After applying a combined method with the addition of mineral sorbent glauconite and microbial strains, peat-marsh top soils are approaching the original state of uncontaminated peat-marsh top soils in terms of their physical and chemical properties, making them suitable for creating a sustainable phytocenosis.

Keywords: oil products, microorganisms, glauconite, peat-marsh top soils

Authors' contribution. *A.S. Borovskaya* — collection of information, writing of the text. *E.V. Gaevaya* — verification of materials by the scientific supervisor. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Statement on the use of artificial intelligence technologies. The authors declare the use of artificial intelligence technologies.

Data availability. All data obtained during this study are included in the published article.

Article history: received 17.10.2025; revised 30.10.2025; accepted 05.02.2026.

For citation: Borovskaya AS, Gaevaya EV. Study of the effect of oil pollution on the physical, chemical, and microbiological properties of peat-marsh top soils using the mineral glauconite and microbial strains in laboratory conditions. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(3):467–484. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-3-467-484> EDN: ESIUFM

Введение

Нефтяные загрязнения значительно снижают продуктивность и качество почв, приводя к изъятию земель из сельскохозяйственного или лесохозяйственного оборота. Сырая нефть малотоксична, а вот высокое содержание нефти в торфяных болотных верховых почвах резко ухудшает водно-физические свойства почв; близко расположенные грунтовые воды могут приводить к вторичному загрязнению. Кроме того, высокое содержание органического вещества в нефтезагрязненных торфяных болотных верховых почвах пожароопасно, что требует мер по скорейшей нейтрализации нефтепродуктов в сложной экосистеме [1; 2].

Применение природных материалов и разложение нефтепродуктов в естественной среде способны благоприятно изменить свойства почвы (химические, агрохимические, физические и микробиологические) без изъятия и изменения гидрологического режима и рельефа на нефтезагрязненном участке [2–15].

Цель исследования — изучение влияния нефтезагрязнения на физико-химические и микробиологические свойства торфяных болотных верховых почв при применении штаммов микроорганизмов и природного минерала *глауконит*.

Искусственно проводилось загрязнение до концентрации нефтепродуктов в исследуемых образцах (далее — ИО): 300 мг/кг (ИО-300), 1000 мг/кг (ИО-1000), 3000 мг/кг (ИО-3000), 5000 мг/кг (ИО-5000), 10 000 мг/кг (ИО-10000) и 15 000 мг/кг (ИО-15000). С применением глауконита концентрация нефтепродуктов снизилась до 79,9 %, с применением штаммов микро-

организмов содержание нефтепродуктов уменьшилось на 47,6–75,1 %. В исследуемых образцах торфяных болотных верховых почв отражены изменения физико-химических и микробиологических показателей [3; 4].

Материалы и методы

Экспериментальные исследования свойств нефтезагрязненных торфяных болотных верховых почв, сорбционных материалов и биодеструкторов нефти по созданию устойчивого фитоценоза проводятся с использованием стандартных методов. Методы исследований предполагали заложение и проведение опыта по выявлению влияния разных объемных долей внесения нефти на химические и биологические характеристики торфяных болотных верховых почв. Исследования проводятся в лабораториях кафедры техносферной безопасности на базе ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» и аттестованных лабораториях на базе ЦЛАТИ. Микробиологические исследования проводились в лаборатории Томского института химии нефти СО РАН.

Результаты

Для выявления закономерностей воздействия различных доз нефтяного загрязнения на физико-химические и микробиологические свойства торфяных болотных верховых почв закладывался лабораторный опыт. Искусственно загрязнялись образцы торфяных болотных верховых почв сырой нефтью. В опыте изучалось шесть уровней загрязнения (от очень низкого до очень высокого).

Физико-химические показатели нефтезагрязненных торфяных болотных верховых почв представлены в табл. 1.

При моделировании нефтяного загрязнения происходит увеличение концентрации хлорид-ионов на 11,89–69,84 %, а также увеличивается концентрация сульфат-ионов на 80,99–91,01 %, что обусловлено их содержанием в нефти. Увеличивается концентрация солей натрия с 141 до 3151 мг/кг. С увеличением степени нефтяного загрязнения снижается зольность на 19,9 %, массовая доля влаги увеличивается на 43,6 %. Загрязненная торфяная болотная верховая почва становится наиболее кислой ($\text{pH} = 4,7\text{--}4,2$).

Микробиологические показатели нефтезагрязненных торфяных болотных верховых почв представлены на рис. 1.

Загрязненная торфяная болотная верховая почва характеризовалась повышенным содержанием педотрофной микрофлоры — 1,5 млн КОЕ/г за счет высокого содержания гуминовых веществ. Содержание других групп варьировалось в пределах от 0,2 до 0,9 млн КОЕ/г. Амилолитическая и аммонифицирующая микрофлора была представлена бактериями и микромицетами в равных долях. Торфяные болотные верховые почвы с концентрацией нефтепродуктов от 300 до 15 000 мг/кг вызвали рост численности микрофлоры всех исследуемых групп в 1,56–24,82 раза в зависимости от дозы внесения сырой нефти.

Таблица 1. Физико-химические показатели нефтезагрязненных торфяных болотных верховых почв

Показатель	ед. изм.	Нефтезагрязненная торфяная болотная верховая почва					
		Наименование проб					
		ИО-300	ИО-1000	ИО-3000	ИО-5000	ИО-10000	ИО-15000
Нефтепродукты	мг/кг	303,451 ± 121,4	987,569 ± 395,04	3024,022 ± 1209,6	4978,123 ± 1991,2	10026,054 ± 4010,4	15055,092 ± 6022
Натрий	мг/кг	3107,891 ± 7,8	3131,02 ± 7,8	3136,49 ± 7,8	3142,088 ± 7,8	3146,49 ± 7,9	3151 ± 7,9
Магний	мг/кг	1793,5 ± 4,5	1788 ± 4,5	1792,5 ± 4,5	1797 ± 4,5	1794,5 ± 4,5	1792 ± 4,5
Железо	мг/кг	7,205 ± 20,3	7,645 ± 21,2	7,605 ± 21,2	7,565 ± 21,1	7,527 ± 21,1	7,489 ± 20,9
Сульфат-ион	мг/кг	164,2 ± 0,07	298 ± 0,07	300,5 ± 0,08	303 ± 0,08	302 ± 0,08	301 ± 0,08
Хлорид-ион	мг/кг	78,5 ± 1,5	149 ± 2,1	198 ± 2,5	201 ± 2,5	230 ± 2,9	264 ± 3,1
Азот нитратный	мг/кг	2,7 ± 0,01	2,2 ± 0,01	2,45 ± 0,01	2,7 ± 0,01	2,75 ± 0,01	2,8 ± 0,01
Алюминий	мг/кг	13210,5 ± 33	13211 ± 33	13205 ± 33	13199 ± 33	13204 ± 33	13209 ± 33
Фосфор (общий)	мг/кг	32 ± 0,04	26 ± 0,04	22 ± 0,04	18 ± 0,04	17 ± 0,04	15 ± 0,04
Калий	мг/кг	4092 ± 0,04	4087 ± 0,04	4083 ± 0,04	4079 ± 0,04	4091,5 ± 0,04	4104 ± 0,04
Диоксид кремния	%	27,545 ± 0,01	27,35 ± 0,01	27,045 ± 0,01	26,74 ± 0,01	27,24 ± 0,01	27,74 ± 0,01
Азот (общий)	%	1,0 ± 0,01	0,9 ± 0,01	0,9 ± 0,01	0,6 ± 0,01	0,5 ± 0,01	0,4 ± 0,01
Массовая доля влаги	%	59,46 ± 0,1	70,32 ± 0,1	70,33 ± 0,1	70,33 ± 0,1	70,17 ± 0,1	70,00 ± 0,1
Массовая доля золы (зольность)	%	2,99 ± 0,1	2,71 ± 0,1	2,63 ± 0,1	2,21 ± 0,1	2,18 ± 0,1	2,11 ± 0,1
pH водной вытяжки	ед. pH	4,7 ± 0,01	4,5 ± 0,01	4,5 ± 0,01	4,4 ± 0,01	4,3 ± 0,01	4,2 ± 0,01
pH солевой вытяжки	ед. pH	4,4 ± 0,01	3,6 ± 0,01	3,5 ± 0,01	3,4 ± 0,01	3,5 ± 0,01	3,6 ± 0,01

Источник: составлено А.С. Боровской.

Table 1. Physical and chemical properties of oil-contaminated peat-marsh top soils

Indicator	Units	Oil-contaminated peat bog topsoil					
		Name of samples					
		IO-300	IO-1000	IO-3000	IO-5000	IO-10000	IO-15000
Petroleum products	mg/kg	303.451 ± 121.4	987.569 ± 395.04	3024.022 ± 1209.6	303.451 ± 121.4	10026.054 ± 4010.4	15055.092 ± 6022
Sodium	mg/kg	3107.891 ± 7.8	3131.02 ± 7.8	3136.49 ± 7.8	3107.891 ± 7.8	3146.49 ± 7.9	3151 ± 7.9
Magnesium	mg/kg	1793.5 ± 4.5	1788 ± 4.5	1792.5 ± 4.5	1793.5 ± 4.5	1794.5 ± 4.5	1792 ± 4.5
Iron	mg/kg	7.205 ± 20.3	7.645 ± 21.2	7.605 ± 21.2	7.205 ± 20.3	7.527 ± 21.1	301 ± 0.08
Sulfate ion	mg/kg	164.2 ± 0.07	298 ± 0.07	300.5 ± 0.08	164.2 ± 0.07	302 ± 0.08	301 ± 0.08
Chloride ion	mg/kg	78.5 ± 1.5	149 ± 2.1	198 ± 2.5	78.5 ± 1.5	230 ± 2.9	264 ± 3.1
Nitrogen nitrate	mg/kg	2.7 ± 0.01	2.2 ± 0.01	2.45 ± 0.01	2.7 ± 0.01	2.75 ± 0.01	2.8 ± 0.01
Aluminum	mg/kg	13210.5 ± 33	13211 ± 33	13205 ± 33	13210.5 ± 33	13204 ± 33	13209 ± 33
Phosphorus (total)	mg/kg	32 ± 0.04	26 ± 0.04	22 ± 0.04	32 ± 0.04	17 ± 0.04	15 ± 0.04
Potassium	mg/kg	4092 ± 0.04	4087 ± 0.04	4083 ± 0.04	4092 ± 0.04	4091.5 ± 0.04	4104 ± 0.04
Silicon dioxide	%	27.545 ± 0.01	27.35 ± 0.01	27.045 ± 0.01	27.545 ± 0.01	27.24 ± 0.01	27.74 ± 0.01
Nitrogen (total)	%	1.0 ± 0.01	0.9 ± 0.01	0.9 ± 0.01	1.0 ± 0.01	0.5 ± 0.01	0.4 ± 0.01
Mass fraction of moisture	%	59.46 ± 0.1	70.32 ± 0.1	70.33 ± 0.1	59.46 ± 0.1	70.17 ± 0.1	70.00 ± 0.1
Mass fraction of ash (ash content)	%	2.99 ± 0.1	2.71 ± 0.1	2.63 ± 0.1	2.99 ± 0.1	2.18 ± 0.1	2.11 ± 0.1
pH of the water extract	Units, pH	4.7 ± 0.01	4.5 ± 0.01	4.5 ± 0.01	4.7 ± 0.01	4.3 ± 0.01	4.2 ± 0.01
pH of the salt extract	Units, pH	4.4 ± 0.01	3.6 ± 0.01	3.5 ± 0.01	4.4 ± 0.01	3.5 ± 0.01	3.6 ± 0.01

Source: compiled by A.S. Borovskaya.

Кроме того, внесение сырой нефти в торфяные болотные верховые почвы повлияло на видовой состав их микрофлоры: снизилось видовое разнообразие, исчезли вегетативные формы бактерий, возросла доля почвенных грибов, в основном плесневых — *Penicillium*, *Aspergillus* и др., что свидетельствует о неблагоприятных условиях. Глауконит вносился в количестве 10 и 20 % от объема загрязненных торфяных болотных верховых почв. Изменение концентрации нефтепродуктов в торфяной болотной верховой почве при внесении минерала глауконита представлено в табл. 2.

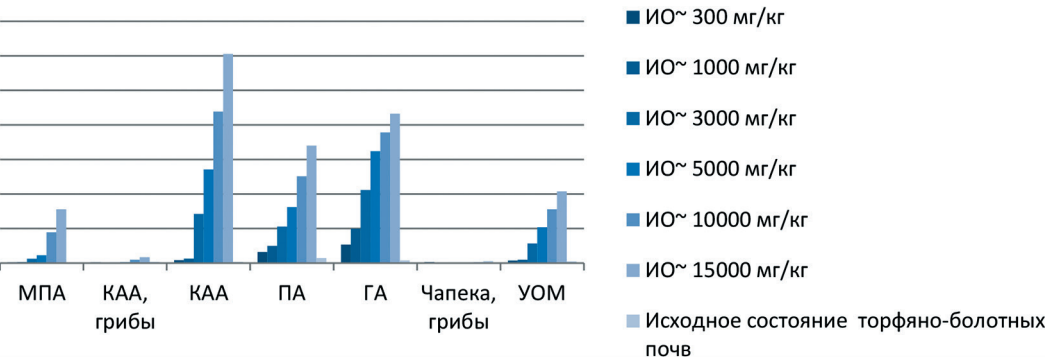


Рис. 1. Микробиологические показатели нефтезагрязненных торфяных болотных верховых почв
Источник: составлено А.С. Боровской.

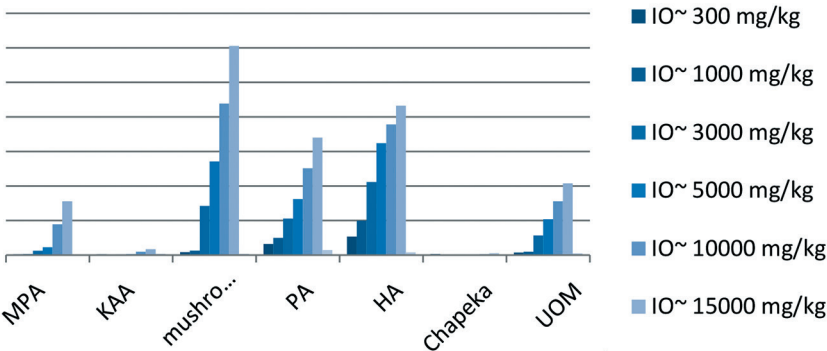


Figure 1. Microbiological indicators of oil-contaminated peat marsh top soils
Source: compiled by A.S. Borovskaya.

Таблица 2. Изменение концентрации нефтепродуктов в торфяной болотной верховой почве при внесении минерала глауконит

Концентрация нефтепродуктов, мг/кг						
До очистки	303±0,8	987 ± 2,5	3001 ±7,5	4978 ± 12,4	10025 ± 25,1	15055 ± 37,6
После очистки глауконитом в объемной доле 10 % от загрязненного грунта	120 ± 0,3	215 ± 0,5	973 ± 2,4	3597 ± 9,0	5683 ± 14,2	6722 ± 16,8
После очистки глауконитом в объемной доле 20 % от загрязнённого грунта	73 ± 0,2	149 ± 0,4	322 ± 0,8	792,5 ± 2,0	2102 ± 5,3	2796 ± 7,0

Источник: составлено А.С. Боровской.

Table 2. Change in the concentration of petroleum products in peat boggy high-moor soil after application of the mineral glauconite

Concentration of petroleum products, mg/kg						
Before cleaning	303±0.8	987 ± 2.5	3001 ±7.5	4978 ± 12.4	10025 ± 25.1	15055 ± 37.6
After cleaning with glauconite at a volume fraction of 10% of the contaminated soil	120 ± 0.3	215 ± 0.5	973 ± 2.4	3597 ± 9.0	5683 ± 14.2	6722 ± 16.8
After cleaning with glauconite in a volume fraction of 20% of the contaminated soil	73 ± 0.2	149 ± 0.4	322 ± 0.8	792,5 ± 2.0	2102 ± 5.3	2796 ± 7.0

Source: compiled by A.S. Borovskaya.

Установлена положительная корреляция $r = 0,87–0,99$ при внесении глауконита 10 и 20 % от объема торфяных болотных верховых почв, загрязненных нефтью, что указывает на сорбционные свойства природного минерала глауконит по отношению к нефтепродуктам в торфяных болотных верховых почвах.

Максимальная эффективность снижения нефтепродуктов до 79,89 % была при внесении глауконита в объеме 20 %.

Физико-химические показатели нефтезагрязненных торфяных болотных верховых почв при внесении глауконита в объемной доле 20 % представлены в табл. 3.

При изменении концентрации нефтепродуктов уменьшается концентрация хлорид ионов на 69 %. Уменьшается концентрация солей натрия на 89,7–96 %, минерал глауконит содержит кальций и калий, вступает в ионно-обменную реакцию, изменяется концентрация солей. Увеличивается количество фосфора и азота соответственно на 47 и 68 %. Уменьшается на 62–67 % массовая доля влаги, восстанавливается водно-воздушный баланс. $pH = 5,9–6,4$ становится ближе к нейтральной.

Микробиологические показатели торфяных болотных верховых почв после применения минерала глауконит представлены на рис. 2.

Численность аммонификаторов микрофлоры увеличивается на 40 %. Амилолитическая микрофлора уменьшается при внесении глауконита при концентрации нефтепродуктов от 2102 мг/кг.

Видовой состав микрофлоры не изменялся, а видовое разнообразие снизилось на ацидофильные бактерии, так как они способны жить в кислой среде, разлагая растительные полисахариды.

Содержание нефтепродуктов в образцах после применения минерала глауконит и штаммов микроорганизмов представлено в табл. 4.

Положительная корреляция составляет $r = 0,98$, что указывает на сорбционные свойства минерала глауконит и действие микроорганизмов по отношению к нефтепродуктам в торфяных болотных верховых почвах. Изменяется концентрация нефтепродуктов на 81–92 %. При концентрации 15 000 мг/кг остаточное содержание нефтепродуктов после применения минерала глауконит и штаммов микроорганизмов составляет 2453 мг/ кг.

Таблица 3. Физико-химические показатели нефтезагрязненных торфяных болотных верховых почв при внесении минерала глауконит в объемной доле 20 %

Показатель	Ед. изм.	Нефтезагрязненная торфяная болотная верховая почва при внесении минерала глауконит					
		Наименование проб					
		ИО-300	ИО-1000	ИО-3000	ИО-5000	ИО-10000	ИО-15000
Натрий	мг/кг	108 ± 7,8	126 ± 7,8	129 ± 7,8	130 ± 7,8	135 ± 7,7	149 ± 7,7
Магний	мг/кг	1799 ± 4,5	1789 ± 4,5	1794 ± 4,5	1799 ± 4,5	1797 ± 4,5	1795 ± 4,5
Железо	мг/кг	7,665 ± 20,3	7,644 ± 21,2	7,605 ± 21,2	7,566 ± 21,1	7,532 ± 21,1	7,498 ± 20,9
Сульфат-ион	мг/кг	304 ± 0,07	288 ± 0,07	293,5 ± 0,08	299 ± 0,08	301 ± 0,08	303 ± 0,08
Хлорид-ион	мг/кг	79 ± 1,5	71 ± 2,1	73,5 ± 2,5	76 ± 2,5	79 ± 2,9	82 ± 3,1
Азот нитратный	мг/кг	3,2 ± 0,01	8,4 ± 0,01	6,05 ± 0,01	3,7 ± 0,01	4,8 ± 0,01	5,9 ± 0,01
Алюминий	мг/кг	13210 ± 33	13245 ± 33	13250,5 ± 33	13256 ± 33	13332 ± 33	13408 ± 33
Фосфор (общий)	мг/кг	32 ± 0,04	30 ± 0,04	31 ± 0,04	29 ± 0,04	28 ± 0,04	28 ± 0,04
Калий	мг/кг	4097 ± 0,04	4098 ± 0,04	4101 ± 0,04	4104 ± 0,04	4130 ± 0,04	4156 ± 0,04
Азот (общий)	%	1,5 ± 0,01	1,3 ± 0,01	1,2 ± 0,01	1,1 ± 0,01	0,9 ± 0,01	0,9 ± 0,01
Диоксид кремния	%	27,74 ± 0,01	28,15 ± 0,01	28,31 ± 0,01	28,47 ± 0,01	29,67 ± 0,01	30,87 ± 0,01
Кальций	%	3086 ± 7,7	3415 ± 7,7	3371,5 ± 7,8	3328 ± 7,8	3238 ± 7,8	3148 ± 7,8
Массовая доля влаги	%	21,18 ± 0,1	21,05 ± 0,1	19,58 ± 0,1	19,45 ± 0,1	22,24 ± 0,1	22,89 ± 0,1
Массовая доля золы (зольность)	%	3,26 ± 0,1	3,25 ± 0,1	3,10 ± 0,1	2,98 ± 0,1	2,99 ± 0,1	2,89 ± 0,1
pH водной вытяжки	ед. pH	4,9 ± 0,01	6,1 ± 0,01	6,15 ± 0,01	6,2 ± 0,01	6,3 ± 0,01	6,4 ± 0,01
pH солевой вытяжки	ед. pH	5,2 ± 0,01	4,2 ± 0,01	4,3 ± 0,01	4,4 ± 0,01	4,1 ± 0,01	3,8 ± 0,01

Источник: составлено А.С. Боровской.

Table 3. Physical and chemical properties of oil-contaminated peat-marsh top soils when the mineral glauconite is added in a volume fraction of 20%

Indicator	Units	Oil-contaminated peat bog topsoil when mineral glauconite is added					
		Name of samples					
		IO-300	IO-1000	IO-3000	IO-5000	IO-10000	IO-15000
Petroleum products	mg/kg	108 ± 7.8	126 ± 7.8	129 ± 7.8	130 ± 7.8	135 ± 7.7	149 ± 7.7
Sodium	mg/kg	1799 ± 4.5	1789 ± 4.5	1794 ± 4.5	1799 ± 4.5	1797 ± 4.5	1795 ± 4.5
Magnesium	mg/kg	7.665 ± 20.3	7.644 ± 21.2	7.605 ± 21.2	7.566 ± 21.1	7.532 ± 21.1	7.498 ± 20.9
Iron	mg/kg	304 ± 0.07	288 ± 0.07	293.5 ± 0.08	299 ± 0.08	301 ± 0.08	303 ± 0.08
Sulfate ion	mg/kg	79 ± 1.5	71 ± 2.1	73.5 ± 2.5	76 ± 2.5	79 ± 2.9	82 ± 3.1
Chloride ion	mg/kg	3.2 ± 0.01	8.4 ± 0.01	6.05 ± 0.01	3.7 ± 0.01	4.8 ± 0.01	5.9 ± 0.01
Nitrogen nitrate	mg/kg	13210 ± 33	13245 ± 33	13250.5 ± 33	13256 ± 33	13332 ± 33	13408 ± 33
Aluminum	mg/kg	32 ± 0.04	30 ± 0.04	31 ± 0.04	29 ± 0.04	28 ± 0.04	28 ± 0.04
Phosphorus (total)	mg/kg	4097 ± 0.04	4098 ± 0.04	4101 ± 0.04	4104 ± 0.04	4130 ± 0.04	4156 ± 0.04
Potassium	mg/kg	1.5 ± 0.01	1.3 ± 0.01	1.2 ± 0.01	1.1 ± 0.01	0.9 ± 0.01	0.9 ± 0.01
Silicon dioxide	%	27.74 ± 0.01	28.15 ± 0.01	28.31 ± 0.01	28.47 ± 0.01	29.67 ± 0.01	30.87 ± 0.01
Nitrogen (total)	%	3086 ± 7.7	3415 ± 7.7	3371.5 ± 7.8	3328 ± 7.8	3238 ± 7.8	3148 ± 7.8
Mass fraction of moisture	%	21.18 ± 0.1	21.05 ± 0.1	19.58 ± 0.1	19.45 ± 0.1	22.24 ± 0.1	22.89 ± 0.1
Mass fraction of ash (ash content)	%	3.26 ± 0.1	3.25 ± 0.1	3.10 ± 0.1	2.98 ± 0.1	2.99 ± 0.1	2.89 ± 0.1
pH of the water extract	Ed . pH	4.9 ± 0.01	6.1 ± 0.01	6.15 ± 0.01	6.2 ± 0.01	6.3 ± 0.01	6.4 ± 0.01
pH of the salt extract	Ed . pH	5.2 ± 0.01	4.2 ± 0.01	4.3 ± 0.01	4.4 ± 0.01	4.1 ± 0.01	3.8 ± 0.01

Source: compiled by A.S. Borovskaya.

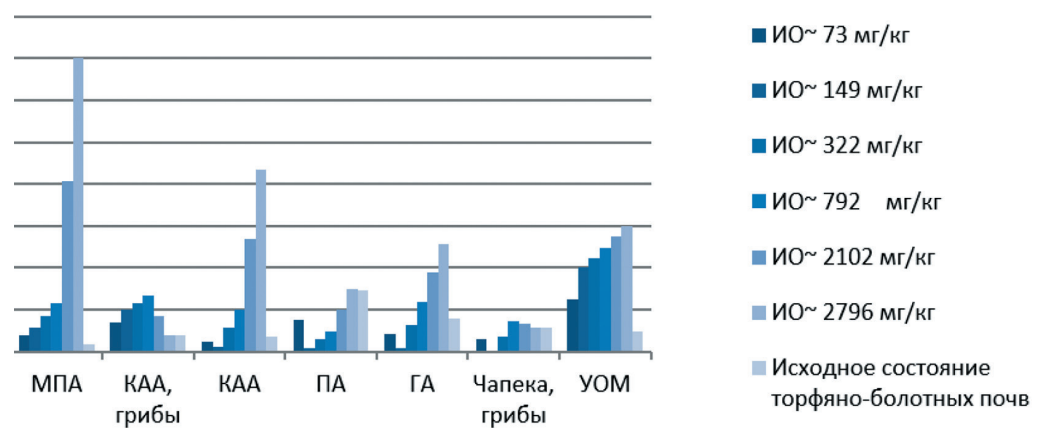


Рис. 2. Микробиологические показатели торфяных болотных верховых почв после применения глауконита
Источник: составлено А.С. Боровской.

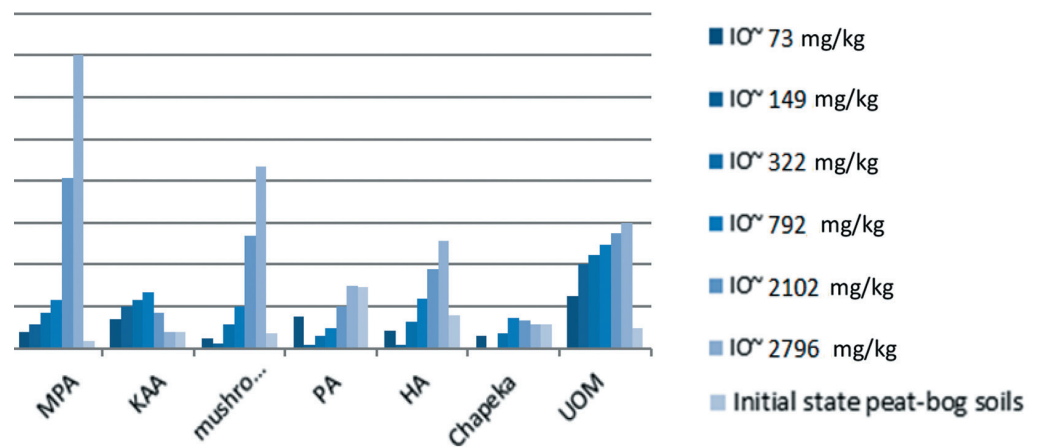


Figure 2. Microbiological indicators of peat bog high-moor soils after the application of the mineral glauconite
Source: compiled by A.S. Borovskaya.

Таблица 4. Содержание нефтепродуктов в образцах после применения глауконита и штаммов микроорганизмов

Концентрация нефтепродуктов, мг/кг						
До очистки	303±0,8	987 ± 2,5	3001 ±7,5	4978 ± 12,4	10025 ± 25,1	15055 ± 37,6
После очистки	31 ± 0,1	124 ± 0,3	324 ± 0,8	1102 ± 2,8	1504 ± 3,8	2753 ± 6,9

Источник: составлено А.С. Боровской.

Table 4. Content of petroleum products in samples after application of the glauconite and microbial strains

Concentration of petroleum products, mg/kg						
Before cleaning	303 ± 0.8	987 ± 2.5	3001 ± 7.5	4978 ± 12.4	10025 ± 25.1	15055 ± 37.6
After cleaning	31 ± 0.1	124 ± 0.3	324 ± 0.8	1102 ± 2.8	1504 ± 3.8	2753 ± 6.9

Source: compiled by A.S. Borovskaya.

Физико-химические показатели нефтезагрязненных торфяных болотных верховых почв после применения минерала глауконит и штаммов микроорганизмов представлены в табл. 5.

Таблица 5. Физико-химические показатели нефтезагрязненных торфяных болотных верховых почв после применения минерала глауконит и шаммов микроорганизмов

Показатель	Ед. изм.	Нефтезагрязненная торфяная болотная верховая почва после применения глауконита объемом 20 % от объема загрязненного грунта и шаммов микроорганизмов					
		Наименование проб					
		ИО-300	ИО-1000	ИО-3000	ИО-5000	ИО-10000	ИО-15000
Натрий	мг/кг	104 ± 7,8	108 ± 7,8	109 ± 7,8	111 ± 7,8	126 ± 7,7	132 ± 7,7
Магний	мг/кг	1799 ± 4,5	1793 ± 4,5	1791 ± 4,5	1789 ± 4,5	1755,5 ± 4,5	1722 ± 4,5
Железо	мг/кг	7,665 ± 20,3	7,641 ± 21,2	7,6 ± 21,2	7,559 ± 21,1	7,4975 ± 21,1	7,436 ± 20,9
Сульфат-ион	мг/кг	301 ± 0,07	291 ± 0,07	285 ± 0,08	279 ± 0,08	289 ± 0,08	299 ± 0,08
Хлорид-ион	мг/кг	70,1 ± 1,5	70,3 ± 2,1	70,5 ± 2,5	71 ± 2,5	76 ± 2,9	81 ± 3,1
Азот нитратный	мг/кг	3,1 ± 0,01	8,8 ± 0,01	8,35 ± 0,01	7,9 ± 0,01	7,6 ± 0,01	7,3 ± 0,01
Алюминий	мг/кг	13218 ± 33	13238 ± 33	13247 ± 33	13256 ± 33	13332 ± 33	13408 ± 33
Фосфор (общий)	мг/кг	33 ± 0,04	31 ± 0,04	30 ± 0,04	29 ± 0,04	29 ± 0,04	28 ± 0,04
Калий	мг/кг	4097 ± 0,04	3999 ± 0,04	4002 ± 0,04	4005 ± 0,04	4003 ± 0,04	4001 ± 0,04
Кальций	%	3086 ± 7,7	3289 ± 7,7	3200 ± 7,8	3111 ± 7,8	3108 ± 7,8	3105 ± 7,8
Диоксид кремния	%	27,74 ± 0,01	28,26 ± 0,01	28,57 ± 0,01	28,88 ± 0,01	30,35 ± 0,01	31,82 ± 0,01
Азот (общий)	%	1,7 ± 0,01	1,6 ± 0,01	1,5 ± 0,01	1,5 ± 0,01	0,5 ± 0,01	0,4 ± 0,01
Массовая доля влаги	%	20,1 ± 0,1	22,2 ± 0,1	23,4 ± 0,1	26,8 ± 0,1	29,2 ± 0,1	31,4 ± 0,1
Массовая доля золы (зольность)	%	3,61 ± 0,1	3,21 ± 0,1	2,96 ± 0,1	2,64 ± 0,1	2,99 ± 0,1	2,89 ± 0,1
pH водной вытяжки	ед. pH	6,8 ± 0,01	6,6 ± 0,01	6,5 ± 0,01	6,5 ± 0,01	6,4 ± 0,01	6,4 ± 0,01
pH солевой вытяжки	ед. pH	5,2 ± 0,01	5,0 ± 0,01	4,9 ± 0,01	4,8 ± 0,01	4,8 ± 0,01	4,2 ± 0,01

Источник: составлено А.С. Боровской.

Table 5. Physical and chemical properties of oil-contaminated peat-marsh top soils after application of the mineral glauconite and microbial strains

Indicator	Units	Oil-contaminated peat-marsh top soils after application of 20% glauconite from the volume of contaminated soil and microbial strains					
		Name of samples					
		IO-300	IO-1000	IO-3000	IO-5000	IO-10000	IO-15000
Petroleum products	mg/kg	104 ± 7.8	108 ± 7.8	109 ± 7.8	111 ± 7.8	126 ± 7.7	132 ± 7.7
Sodium	mg/kg	1799 ± 4.5	1793 ± 4.5	1791 ± 4.5	1789 ± 4.5	1755.5 ± 4.5	1722 ± 4.5
Magnesium	mg/kg	7.665 ± 20.3	7.641 ± 21.2	7.6 ± 21.2	7.559 ± 21.1	7.4975 ± 21.1	7.436 ± 20.9
Iron	mg/kg	301 ± 0.07	291 ± 0.07	285 ± 0.08	279 ± 0.08	289 ± 0.08	299 ± 0.08
Sulfate ion	mg/kg	70.1 ± 1.5	70.3 ± 2.1	70.5 ± 2.5	71 ± 2.5	76 ± 2.9	81 ± 3.1
Chloride ion	mg/kg	3.1 ± 0.01	8.8 ± 0.01	8.35 ± 0.01	7.9 ± 0.01	7.6 ± 0.01	7.3 ± 0.01
Nitrogen nitrate	mg/kg	13218 ± 33	13238 ± 33	13247 ± 33	13256 ± 33	13332 ± 33	13408 ± 33
Aluminum	mg/kg	33 ± 0.04	31 ± 0.04	30 ± 0.04	29 ± 0.04	29 ± 0.04	28 ± 0.04
Phosphorus (total)	mg/kg	4097 ± 0.04	3999 ± 0.04	4002 ± 0.04	4005 ± 0.04	4003 ± 0.04	4001 ± 0.04
Potassium	mg/kg	3086 ± 7.7	3289 ± 7.7	3200 ± 7.8	3111 ± 7.8	3108 ± 7.8	3105 ± 7.8
Silicon dioxide	%	27.74 ± 0.01	28.26 ± 0.01	28.57 ± 0.01	28.88 ± 0.01	30.35 ± 0.01	31.82 ± 0.01
Nitrogen (total)	%	1.7 ± 0.01	1.6 ± 0.01	1.5 ± 0.01	1.5 ± 0.01	0.5 ± 0.01	0.4 ± 0.01
Mass fraction of moisture	%	20.1 ± 0.1	22.2 ± 0.1	23.4 ± 0.1	26.8 ± 0.1	29.2 ± 0.1	31.4 ± 0.1
Mass fraction of ash (ash content)	%	3.61 ± 0.1	3.21 ± 0.1	2.96 ± 0.1	2.64 ± 0.1	2.99 ± 0.1	2.89 ± 0.1
pH of the water extract	Units pH	6.8 ± 0.01	6.6 ± 0.01	6.5 ± 0.01	6.5 ± 0.01	6.4 ± 0.01	6.4 ± 0.01
pH of the salt extract	Units pH	5.2 ± 0.01	5.0 ± 0.01	4.9 ± 0.01	4.8 ± 0.01	4.8 ± 0.01	4.2 ± 0.01

Source: compiled by A.S. Borovskaya.

Уменьшается концентрация хлорид-ионов на 70 %. Снижается концентрация солей натрия на 95,9–97,9 %. Минерал глауконит содержит кальций и калий, вступает в ионно-обменную реакцию, в результате чего изменяется концентрация солей. Концентрация магния, железа, калия, кальция и алюминия остается неизменной. Содержание диоксида кремния увеличивается на 5 % (за счет химического состава глауконита). Количество фосфора и азота увеличивается в 3 раза. Массовая доля влаги уменьшается на 64–66 %. Также восстанавливаются водно-воздушный и щелочной балансы ($\text{pH} = 4,6\text{--}4,8$).

Микробиологические показатели торфяно-болотных верховых почв после применения глауконита и штаммов микроорганизмов представлены на рис. 3.

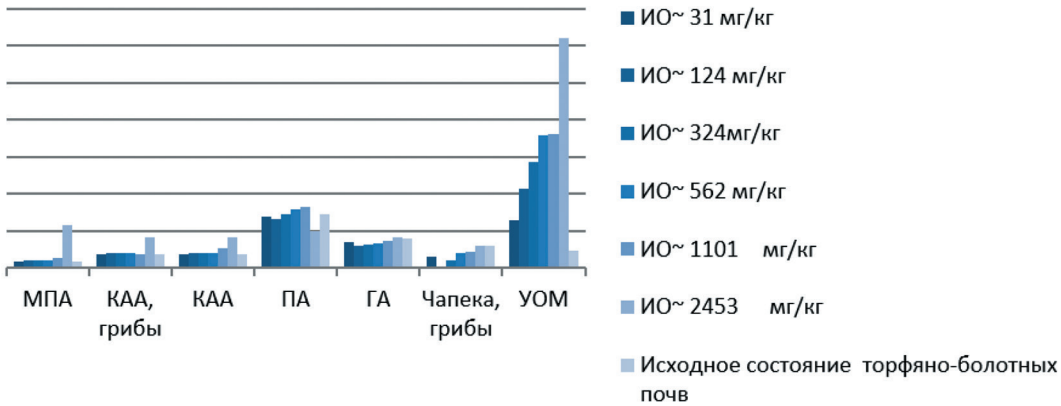


Рис. 3. Микробиологические показатели торфяных болотных верховых почв после применения минерала глауконит и штаммов микроорганизмов

Источник: составлено А.С. Боровской.

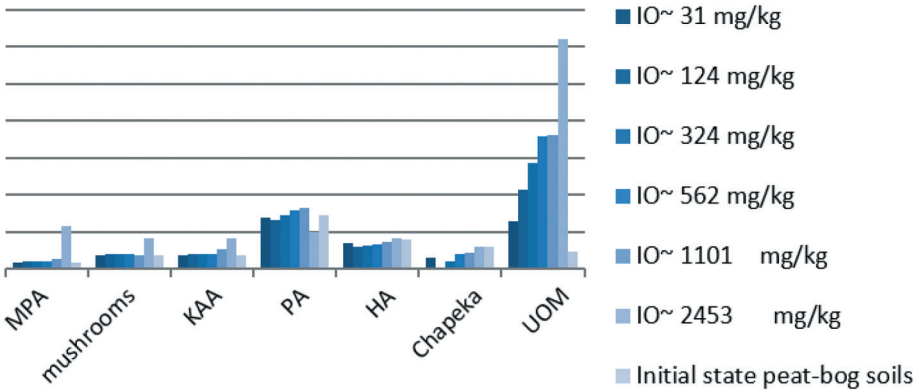


Figure 3. Microbiological indicators of peat-marsh top soils after application of the mineral glauconite and microbial strains

Source: compiled by A.S. Borovskaya.

После применения штаммов микроорганизмов и минерала глауконит остаточное содержание нефтепродуктов в торфяных болотных верховых почвах уменьшилось на 81–92 %, численность амилотической, аммонифицирующей, олиготрофной микрофлоры остается неизменной.

Численность педотрофной микрофлоры, участвующей в разложении органического вещества при концентрации нефтепродуктов до 1101 мг/кг, увеличилась на 17 %, после 2453 мг/кг произошло снижение микрофлоры на 32 %.

Численность углеводородокисляющей микрофлоры увеличилась в 3,5 раза, так как в составе содержатся аборигенные штаммы для разложения нефти. Видовой состав и разнообразие микрофлоры не изменились. Содержание микрофлоры по физиологическим группам близко к исходным показателям незагрязненной торфяной болотной верховой почвы.

Заключение

При моделировании загрязнения почвы нефтепродуктами с увеличением массовой доли нефти происходит увеличение концентрации хлорид-ионов на 12–70 %, сульфат-ионов на 81–91 %, что обусловлено их содержанием в нефти. Значительно увеличивается концентрация солей натрия с 141 мг/кг до 3151 мг/кг. С увеличением концентрации нефтепродуктов снижается зольность на 20 %, массовая доля влаги увеличивается на 44 %. Загрязненная торфяная болотная верховая почва становится наиболее кислой, $\text{pH} = 4,7\text{--}4,2$.

Кроме того, внесение сырой нефти в торфяной болотный верховой тип почвы повлияло на видовой состав его микрофлоры: снизилось видовое разнообразие, исчезли вегетативные формы бактерий, возросла доля почвенных грибов, в основном плесневых — *Penicillium*, *Aspergillus* и др., что свидетельствует о неблагоприятных условиях.

Максимальная эффективность снижения концентрации нефтепродуктов до 80 % была при внесении 20 % глауконита. При изменении концентрации нефтепродуктов уменьшается концентрация хлорид-ионов на 69 %. Уменьшается концентрация солей натрия на 89,7–96 %. Увеличивается количество фосфора и азота соответственно на 47 и 68 %. Уменьшается на 62–67 % массовая доля влаги, восстанавливается водно-воздушный баланс. $\text{pH} = 5,9\text{--}6,4$ становится ближе к нейтральной. Амилолитическая микрофлора уменьшается при внесении минерала глауконит.

При внесении глауконита и штаммов микроорганизмов уменьшается концентрация хлорид-ионов на 70 %. Концентрация солей натрия выравнивается по отношению к исходному незагрязненному торфяному болотному верховому типу почвы, составляет 104–132 мг/кг. Уменьшается концентрация солей натрия на 95,9–97,9 %, диоксид кремния увеличивается на 5 %. Количество фосфора и азота увеличивается в 3 раза. Массовая доля влаги уменьшается на 64–66 %. Также восстанавливается водно-воздушный баланс, щелочной баланс, $\text{pH} = 4,6\text{--}4,8$. Численность педотрофной микрофлоры, участвующей в разложении органического вещества при концентрации нефтепродуктов до 1101 мг/кг, увеличилась на 17 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что при внесении глауконита и штаммов микроорганизмов нефтезагрязненная почва по физико-химическим показателям ближе к исходному состоянию незагрязненной торфяной болотной верховой почвы.

Список литературы

- [1] *Ликовский Ю.И., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н.* Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1132–1140. EDN: OOIUFN
- [2] *Аветов Н.А., Шишконокова Е.А.* Загрязнение нефтью почв таежной зоны Западной Сибири // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2011. Вып. 68. С. 45–55. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2011-68-45-55>
- [3] *Ахмадиев М.В.* Применение аборигенных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов при биоремедиации нефтезагрязненных почв и грунтов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. № 2 (14). С. 119–130. EDN: SMEYQP
- [4] *Аббасян Ф., Локингтон Р., Мегарадж М., Найдю Р.* Изменения биоразнообразия в микробной популяции почв, загрязненных сырой нефтью // Современная микробиология. 2016. № 6. С. 23–28.
- [5] *Трофимов С.Я., Аммосова Я.М., Орлов Д.С., Суханова Н.И., Осипова Н.Н.* Влияние нефти на почвенный покров и проблема создания нормативной базы по влиянию нефтезагрязнения на почвы // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2000. № 2. С. 30–34.
- [6] *Вершинин Ю.А., Зубайдуллин А.А.* Оценка экологических рисков при загрязнении болот и их рекультивации // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2009. № 1. С. 53–57. EDN: OXWUFF
- [7] *Шамраев А.В., Шорина Т.С.* Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 6 (100). С. 642–645. EDN: MNKVRV
- [8] *Бурмистрова Т.И., Алексеева Т.П., Перфильева В.Д., Терещенко Н.Н., Стахина Л.Д.* Биodeградация нефти и нефтепродуктов в почве с использованием мелиорантов на основе активированного торфа // Химия растительного сырья. 2003. № 3. С. 69–72. EDN: HDYTCK
- [9] *Захарова К.А., Моисеев В.В., Шулаев М.В., Емельянов В.М.* Исследование деструкции нефтезагрязнений в подзолистых и торфяных почвах Западно-Сибирского региона // Экология человека. 2007. № 11. С. 17–22. EDN: IBXQJH
- [10] *Горбаев А.В.* Применение бактерий *rhodococcus erythropolis* для получения из нефтешламов искусственного грунта технического в условиях Восточной Сибири // Вестник Евразийской науки. 2021. Т. 13. № 6. Номер статьи 34. EDN: EDUTAV
- [11] *Защита окружающей среды при интенсификации добычи нефти: обзорная информация / Г.С. Кесельман, В.Д. Барановский, А.А. Попов и др.* Москва : ВНИИОЭНГ, 1983. Вып. 10 (34). С. 58. (Серия «Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности»).
- [12] *Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р.* Оценка состояния и рекультивация пирогенно-деградированных торфяных почв // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1. С. 223–228. EDN: NXKCNT
- [13] *Шишконокова Е.А., Трофимов С.Я., Аветов Н.А., Арзамасова А.В., Кинжаев Р.Р., Брыковский Д.В.* Восстановление верховых болот Ханты-Мансийского Приобья

после рекультивации нефте- и солезагрязненных торфяных почв в 2003–2005 гг. // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2020. № 3. С. 28–38. EDN: HKQBOQ

- [14] Леднев А.В., Скворцова И.А. Влияние нефтяного загрязнения на микробное сообщество торфяных почв Среднего Предуралья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 1 (56). С. 47–53. EDN: XVRTYP
- [15] Андерсон Р.К. Хазинов Р.Х. Охрана окружающей среды от загрязнения нефтью и промышленными сточными водами. Москва : ВНИИОЭНГ, 1978. 40 с. (Обзорная информация / ВНИИ орг., упр. и экономики нефтегазовой пром-сти. Серия «Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности» : обзор по основным направлениям развития отрасли).

References

- [1] Pikovskii YuI, Gennadiev AN, Chernyanskii SS, Sakharov GN. The problem of diagnostics and standardization of the levels of soil pollution by oil and oil products. *Pochvovedenie*. 2003;(9):1132–1140. (In Russ.) EDN: OOIUFN
- [2] Avetov N, Shishkonakova E. Oiled soils in the taiga zone of Western Siberia. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2011;(68):45–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2011-68-45-55>
- [3] Akhmadiev MV. Application of native strains of hydrocarbon-oxidizing microorganisms in bioremediation of oil-contaminated soils and grounds. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urbanistics*. 2014;(2):119–130. (In Russ.) EDN: SMEYQP
- [4] Abbasyan F, Lockington R, Megaraj M, Naidu R. Changes in biodiversity in microbial populations of crude oil-contaminated soils. *Current Microbiology*. 2016;(6):23–28. (In Russ.)
- [5] Trofimov SY, Ammosova YaM, Orlov DS, Sukhanova NI, Osipova NN. The influence of oil on soil cover and the problem of creating a regulatory framework for the impact of oil pollution on soils. *Lomonosov Soil Science Journal*. 2000;(2):30–34. (In Russ.)
- [6] Vershinin YA, Zubaidullin AA. Assessment of environmental risks in the pollution of wetlands and their remediation. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. 2009;(1):53–57. (In Russ.) EDN: OXWUFF
- [7] Shamraev AV, Shorina TS. The influence of oil and oil products on various environmental components. *Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2009;(6):642–645. (In Russ.) EDN: MNKVRV
- [8] Burmistrova TI, Alekseeva TP, Perfilova VD, Tereshchenko NN, Stakhina LD. Biodegradation of oil and oil products in soil using ameliorants based on activated peat. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*. 2003;(3):69–72. (In Russ.) EDN: HDYTCK
- [9] Zakharova KA, Moiseev VV, Shulaev MV, Emelyanov VM. Study of oil pollution destruction in podzol and peat soils in West Siberian region. *Human Ecology*. 2007;(11):17–22. (In Russ.) EDN: IBXQJH
- [10] Gorbaev AV. The use of *rhodococcus erythropolis* bacteria for the production of artificial technical soil from oil sludge in the conditions of Eastern Siberia. *The Eurasian Scientific Journal*. 2021;13(6):34. (In Russ.) EDN: EDUTAV
- [11] Keselman GS, Baranovsky VD, Popov AA, et al. *Environmental protection during oil production intensification: review information. Series: Corrosion and Protection in the Oil and Gas Industry*. Moscow: VNIIOENG; 1983. Iss. 1. p. 58. (In Russ.)

- [12] Gabbasova IM, Suleymanov RR. State estimation and recultivation of pirogenic degraded peat soils. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2011;13(1):223–228. (In Russ.) EDN: NXKCHT
- [13] Shishkonakova EA, Trofimov SYa, Avetov NA, Arzamazova AV, Kinzhaev RR, Brikovskiy DV. Restoration of raised bogs in the Khanty-Mansiysk Ob region after reclamation of oil- and salt-polluted peat soils in 2003–2005. *Lomonosov Soil Science Journal*. 2020;(3):28–38. (In Russ.) EDN: HKQBOQ
- [14] Lednev AV, Skvortsova IA. Effects of oil pollution on microbial communities peat soil middle Preduralie. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;(1):47–53. (In Russ.) EDN: XVRTYP
- [15] Anderson RK, Khazinov RH. *Environmental protection from pollution by oil and industrial wastewater: review information. Series: Corrosion and Protection in the Oil and Gas Industry*. Moscow: VNIIOENG; 1978. 40 p. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Боровская Анастасия Сергеевна, аспирант, Тюменский индустриальный университет, Российская Федерация, 625000, Тюмень, Володарского, д. 38. ORCID: 0009-0008-5850-1373; eLIBRARY SPIN-код: 4688-7450. E-mail: nastja_2009@mail.ru

Гаевая Елена Викторовна, кандидат биологических наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, Российская Федерация, 625000, Тюмень, Володарского, д. 38. ORCID: 0000-0002-0631-9149; eLIBRARY SPIN-код: 4688-7450. E-mail: gaevajaev@tyuiu.ru

Bio notes:

Anastasia S. Borovskaya, Postgraduate, Tyumen Industrial University, 38 Volodarsky St, Tyumen, 625000, Russian Federation. ORCID: 0009-0008-5850-1373; eLIBRARY SPIN-code: 4688-7450. E-mail: nastja_2009@mail.ru

Elena V. Gaevaya, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Tyumen Industrial University, 38 Volodarsky St, Tyumen, 625000, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0631-9149; eLIBRARY SPIN-code: 4688-7450. E-mail: gaevajaev@tyuiu.ru