



Оригинальная статья / Original article

УДК 631.465

DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-189-201

ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ И ГУМИНОВЫХ УДОБРЕНИЙ НА БИОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА

Татьяна В. Минникова, Сергей И. Колесников, Татьяна В. Денисова*

*Южный федеральный университет,
Ростов-на-Дону, Россия, loko261008@yandex.ru*

Резюме. Цель. Оценить влияние азотных и гуминовых удобрений на биохимическое состояние нефтезагрязненного чернозема. **Методы.** Использовали для моделирования нефтезагрязнения чернозема дозы нефти 1, 5 и 10% от массы почвы. Срок экспозиции составил 30, 60 и 90 суток. Для моделирования биоремедиации нефтезагрязненного чернозема использовали гумат калия и натрия, мочевины и нитроаммофос. Азотные удобрения вносили в почву с целью восполнения равновесия между углеродом и азотом: мочевины с содержанием азота 46%, нитроаммофос с содержанием азота 15%. Гуминовые удобрения – гумат калия и гумат натрия – вносили в почву для стимуляции аборигенной нефтедеструктивной микробиоты. Для оценки биологической активности почвы определяли: активность каталазы, инвертазы и интенсивность эмиссии CO₂. **Результаты.** Изучено влияние мочевины, нитроаммофоса, гумата калия и натрия на ферментативную активность и эмиссию CO₂ чернозема обыкновенного, загрязненного нефтью 1, 5 и 10% от массы почвы через 90 суток в модельном эксперименте. Активность каталазы снижалась после внесения нитроаммофоса, а дыхание и активность инвертазы повышались при низких уровнях загрязнения нефтью. Мочевина, внесенная в почву при 10%-ной дозе нефти, стимулировала активность каталазы. Гуматы калия и натрия оказывали стимулирующее воздействие на ферментативную активность и выделение углекислого газа при концентрациях нефти 1 и 5%. **Заключение.** Для диагностики состояния черноземов при загрязнении нефтью дозы 5-10% после внесения азотных и гуминовых мелиорантов, целесообразно использовать интенсивность выделения CO₂ почвой и активность инвертазы. При более низких дозах нефти после внесения азотных удобрений целесообразно оценивать состояние почвы по активности каталазы.

Ключевые слова: загрязнение, нефть, чернозем обыкновенный, биоремедиация, активность каталазы, активность инвертазы, эмиссия CO₂, модельный эксперимент.

Формат цитирования: Минникова Т.В., Колесников С.И., Денисова Т.В. Влияние азотных и гуминовых удобрений на биохимическое состояние нефтезагрязненного чернозема // Юг России: экология, развитие. 2019. Т.14, N2. С.189-201. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-189-201

EFFECT OF NITROGEN AND HUMIC FERTILIZERS ON THE BIOCHEMICAL STATE OF OIL-CONTAMINATED CHERNOZEM

Tatyana V. Minnikova, Sergey I. Kolesnikov, Tatyana V. Denisova
Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, loko261008@yandex.ru*



Abstract. *Aim.* In this paper, we aim to assess the effect of nitrogen and humic fertilizers on the biochemical state of oil-contaminated chernozem. *Methods.* In order to simulate the oil pollution, chernozem was exposed to oil doses constituting 1, 5 and 10% of the soil mass for 30, 60 and 90 days. For simulating bioremediation of oil-contaminated chernozem, the following fertilizers were used: potassium and sodium humates, urea and nitroammophos. Nitrogen fertilizers – urea and nitroammophos having a nitrogen content of 46% and 15%, respectively – were applied to the soil for the purposes of restoring the equilibrium between carbon and nitrogen. Humic fertilizers (potassium and sodium humates) were applied to the soil for stimulating the indigenous oil destructive microbiota. In order to assess the biological activity of the soil, we determined catalase activity, invertase activity, as well as CO₂ emission intensity. *Results.* The effect of urea, nitroammophos, potassium and sodium humates on the enzymatic activity and CO₂ emissions of ordinary chernozem, which had been exposed to various doses of oil (1, 5 and 10% of the soil mass) for 90 days, was studied in a model experiment. Following the introduction of nitroammophos into soil with low levels of oil pollution, catalase activity decreased, whereas respiration and invertase activity increased. Urea introduced into the soil contaminated with a 10% dose of oil stimulated catalase activity. At oil concentrations of 1 and 5%, the introduction of potassium and sodium humates had a stimulating effect on enzymic activity and carbon dioxide evolution. *Conclusions.* It is advisable to use the intensity of CO₂ emissions released from the soil, as well as the invertase activity for diagnosing the state of chernozem contaminated with oil (5-10%) following the introduction of nitrogen and humic ameliorants. At lower doses of oil, it is advisable to assess the state of the soil following the introduction of nitrogen fertilizers by catalase activity.

Keywords: pollution, petrol, ordinary chernozem, bioremediation, catalase activity, invertase activity, CO₂ emission, model experiment.

For citation: Minnikova T.V., Kolesnikov S.I., Denisova T.V. Effect of nitrogen and humic fertilizers on the biochemical state of oil-contaminated chernozem. *South of Russia: ecology, development.* 2019, vol. 14, no. 2, pp. 189-201. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-189-201

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение нефтью окружающей среды за последние годы приобрело статус глобальной экологической проблемы. Разливы нефти на суше затрагивают целые экосистемы, изменяют растительность, фауну, характеристики почвы, влияют на течение микробиологических процессов показано [1-4]. Нефть и нефтепродукты отличаются высокой гидрофобностью, устойчивостью и затрудненным извлечением из компонентов окружающей среды. При попадании нефти в почву происходит изменение физических, химических и биологических свойств почвы [5-8].

Для очистки почвы от нефти и нефтепродуктов и восстановления сельскохозяйственных функций исследуется вещества различной природы и механизма воздействия. Успех биоремедиации зависит от условий, влияющих на разложение нефти: тип почв, микробная активность, влажность, температура, pH, доступ кислорода, содержание питательных веществ, вносимых удобрений [9; 10]. Технологии ремедиации нефтезагрязненных почв оказывают влияние не только на разложение нефти в почве, но и опосредовано на интенсивность выделения углекислого газа эмиссию или «дыхание» почвы и ферментативную активность почв [10-13]. Методы биологической рекультивации почвы высокоэффективны при очистке нефтезагрязненных почв при невысоких уровнях загрязнения до 10-15% [8; 14; 15].



Механизмы биodeградации или биоремедиации нефтезагрязненных почв вовлекают в метаболические реакции большое количество ферментов. На начальной стадии механизма биodeградации необходимы диоксигеназы и монооксигеназы для инициации окислительных реакций [10]. Наиболее информативным классом ферментов при оценке состояния почв при такой антропогенной нагрузке, как загрязнение почвы нефтью или тяжелыми металлами, являются оксидоредуктазы [16-19]. Однако воздействие нефти на ферментативную активность почв для разных ферментов разных классов неодинаково. Так, органическое вещество нефти не только влияет на белковые молекулы фермента, но и снижает доступность субстрата для извлечения [20]. В настоящее время для ликвидации загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами используют различные способы мелиорации. В качестве мелиорантов используют разные по природе и механизмам вещества: бактериальные препараты, удобрения, минеральные сорбенты [17; 21-22]. При этом основное внимание уделяется эффективности разложения нефти, а изменение состояния почвы остается малоизученным. Наиболее информативными показателями для оценки состояния почвы при нефтезагрязнении, как и при других антропогенных воздействиях, являются биологические показатели, которые первыми реагируют на внешнее воздействие и коррелируют с концентрацией загрязняющего вещества в почве [23-28].

В связи с этим оценка биологического состояния нефтезагрязненных почв по показателям ферментативной активности и выделения углекислого газа, как продукта разложения нефти это приоритетная задача.

Цель работы – исследовать влияние азотных и гуминовых удобрений на биохимическое состояние нефтезагрязненного чернозема.

В *задачи* исследования входило: оценить влияние гуминовых и азотных удобрений на активность каталазы и инвертазы, интенсивность эмиссии CO_2 , исследовать изменение этих показателей во временной динамике, сравнить влияние разных уровней нефтезагрязнения на активность ферментов и эмиссию CO_2 .

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – чернозем обыкновенный карбонатный (Апах, 0-25 см). Место отбора – Ботанический сад Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону. Чернозем обыкновенный характеризуется содержанием органического углерода – 4,5-6,5%, карбонатов – 0,3-0,5%, ЕКО – 40-45 мг-экв / 100 г почвы [29]. Для постановки модельных экспериментов использовали нефть плотностью 0,818 г/м³ со следующими характеристиками: массовая доля серы – 0,43%, механических примесей – 0,0028%, воды – 0,03%, концентрации хлористых солей – 40,1 мг/дм³. Нефть вносили во влажную почву в количестве 1, 5 и 10% от массы почвы и тщательно перемешивали. В увлажненную почву (весовая влажность 25%) вносили нефть и тщательно перемешивали до однородной массы. Срок экспозиции составил 30, 60 и 90 суток. Для моделирования биоремедиации нефтезагрязненного чернозема вносили гуматы калия и натрия, мочевины и нитроаммофос. Азотные удобрения вносили в почву с целью восполнения равновесия между углеродом и азотом: мочевины с содержанием азота 46%, нитроаммофос с содержанием азота 15%. Гуминовые удобрения (гуматы калия и натрия) вносили в почву для стимуляции аборигенной нефтеструктурной микробиоты.

Для оценки биологической активности почвы определяли: активность каталазы ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}_2$ – оксидоредуктаза, КФ 1.11.1.6.) газометрическим методом А.Ш. Галстяну, мл O_2 /1 г/1 мин., активность инвертазы (β -фруктофуранозидаза, сахараза, КФ 3.2.1.26) колориметрически, основываясь на учете восстанавливающих сахаров, образующихся при расщеплении сахарозы по Ф.Х. Хазиеву, мг глюкозы/10г/24 часа. Интенсивность эмиссии CO_2 определяли с помощью инфракрасного газоанализатора TESTO-535, в ppm/30 мин через 14, 30, 60 и 90 суток после внесения мелиорантов [29].



Статистическая обработка данных выполнена с использованием регрессионного и многофакторного анализов с применением статистического пакета Statistica 10.0. При обсуждении результатов учитывали статистически достоверные различия при $p < 0,05$.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Интенсивность выделения CO_2 при загрязнении почв нефтью – важный диагностический показатель разложения нефти в почве. Разложение нефти сопровождается естественным «дыханием» аборигенной биоты и учитывается при измерении. Через 2 недели после начала эксперимента эмиссия CO_2 при внесении гумата натрия, нитроаммофоса, мочевины при всех уровнях загрязнения нефтью не изменялась относительно контрольных значений (рис. 1). Только при внесении гумата калия наблюдали отрицательную реакцию эмиссии CO_2 .

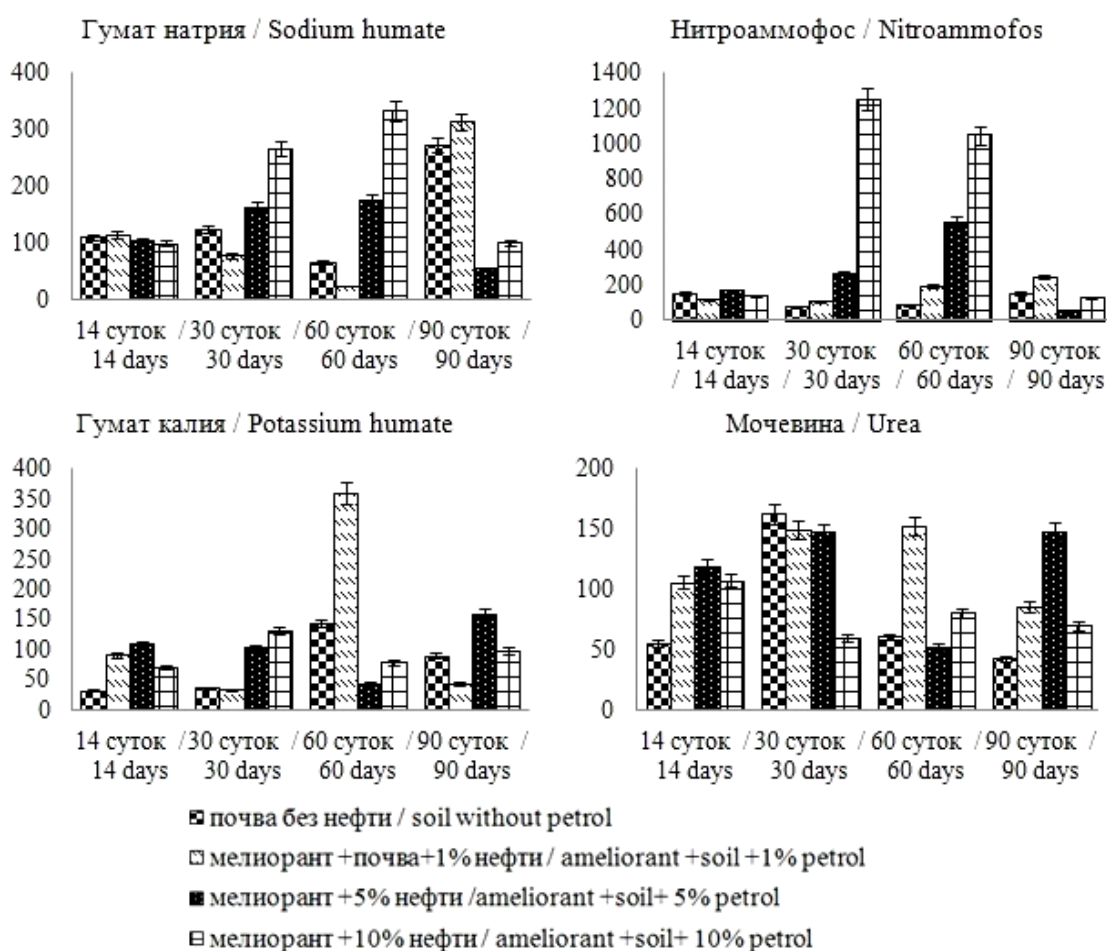


Рис.1. Изменение интенсивности выделения CO_2 при разных уровнях нефтезагрязнения до и после внесения гуминовых и азотных удобрений, % от контроля

Fig.1. Change in the intensity of CO_2 emissions at different levels of oil pollution before and after the introduction of humic and nitrogen fertilizers, % of the control values

Через 30 суток эмиссия возросла при высоких дозах нефти (5 и 10%) в вариантах с гуматом натрия и калия в 1-3 раза, в вариантах с нитроаммофосом и мочевиной в 6-12



раз. Однако через 90 суток эксперимента интенсивность выделения CO_2 при внесении азотных удобрений снижалась практически до контрольных значений. Гуминовые удобрения отреагировали ингибированием эмиссии только при высоких концентрациях нефти. Стимуляция выделения углекислого газа обусловлена рядом факторов. Прежде всего активной жизнедеятельностью нефтеразрушающей биоты, выделяющей CO_2 после переработки органики. По интенсивности выделения углекислого газа судят о разложении органического вещества в результате активной жизнедеятельности микробиоты. Через 14 суток нефтеразрушающая аборигенная биота еще не активизировалась и интенсивность выделения CO_2 слабо отличалась от контрольного при всех уровнях загрязнения нефтью. Повышенная интенсивность выделения CO_2 через 30 суток происходила при высоких дозах нефти (5 и 10%), особенно в вариантах с внесением азотных удобрений, что вероятно обусловлено суммарной дыхательной интенсивностью не только почвы но и реакции почвы с углеродсодержащими удобрениями. Мочевина ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) или амид угольной кислоты содержит 46% азота, 20% углерода, 26% кислорода. Почвенные бактерии выделяют фермент уреазу, которая катализирует превращение мочевины в 2 молекулы аммиака и углекислый газ. Нитроаммофос ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3$) содержит в 3 раза меньшее количество азота (15%), но одинаковое количество оксидов фосфора и калия (22%). Несмотря на отсутствие в составе нитроаммофоса углерода, подобное соотношение элементов питания в этом удобрении стимулирует выделение CO_2 микроорганизмами с учетом разложения нефти как источника углерода.

Для оценки биохимического состояния почв при разных уровнях нефтезагрязнения в условиях окислительного стресса оценивали активность каталазы, как представителя класса оксидоредуктаз. На рис. 2 продемонстрировано, что активность каталазы при внесении нитроаммофоса существенно снижалась по сравнению с контролем: без нефти снижалась на 58-78%, доза нефти 1% на - 42-49%, доза нефти 5% на - 13-60%, доза нефти 10% на - 58-66%. Для остальных веществ наблюдали большее стимулирующее действие, чем для нитроаммофоса на протяжении всего периода наблюдения. Гумат натрия также при дозе 10% нефтезагрязнении, как мочевины (89%) оказывал стимулирующее воздействие на активность каталазы через 30 суток на 22%. Через 60 суток после внесения гумата калия и мочевины в нефтезагрязненный чернозем при 1-5% дозах нефти активность каталазы была на уровне контроля. Гумат натрия снижал активность каталазы при 1-5% дозах нефти на 16-18%.

При 10%-ном загрязнении нефтью гумат натрия и мочевины стимулировали активность фермента на 29 и 159% соответственно. Через 90 суток после начала эксперимента способность к стимуляции активности фермента сохранилась только при дозе нефти 10% и внесении мочевины была простимулирована относительно контроля 71%. Микроорганизмы, перерабатывающие углеводороды, продуцируют огромное количество перекиси водорода, что приводит к повреждению клеток. Каталаза – это высокоэффективный фермент, разрушающий перекись водорода (H_2O_2).

Каталаза защищает клетки реактивными формами кислорода и может быть обнаружена во всех аэробных микроорганизмах [30]. Стимуляция активности каталазы в условиях биоремедиации может быть вызвана увеличением микробной биодеградацией легкодоступных углеводородов [4; 31]. Ферментативная активность может быть блокирована токсичными продуктами распада и повышением конкуренции с ферментом [32].

Среди гуматов наибольшее токсическое действие отмечено при внесении гумата калия. Вероятно, этот процесс обусловлен тем, что гумат натрия это стимулятор роста растений, а гумат калия является по своему составу выраженным комплексным органоминеральным удобрением. При избытке органоминеральных удобрений, вероятно, ингибирование активности аборигенной микробиоты, что может снижать ферментативную активность. За первые 60 суток при дозе нефти 10% от массы почвы благоприятное действие на активность каталазы оказал гумат натрия по сравнению с калием. Напротив,



азотные удобрения показали свое разительное влияние на активность каталазы. Нитроаммофос ингибировал активность каталазы при всех дозах нефти в течение всего периода наблюдения, что обусловлено замедлением выработки фермента бактериями ввиду дополнительного окислительного стресса, вызванного внесением нитроаммофоса. Кроме того, в нитроаммофосе содержится меньшее количество азота, что вызывает дисбаланс в соотношении азота и углерода в нефтезагрязненной почве. Напротив, мочевина стимулировала выработку фермента при концентрации нефти 10% от массы почвы, что обусловлено выравниванием соотношения между азотом и углеродом.

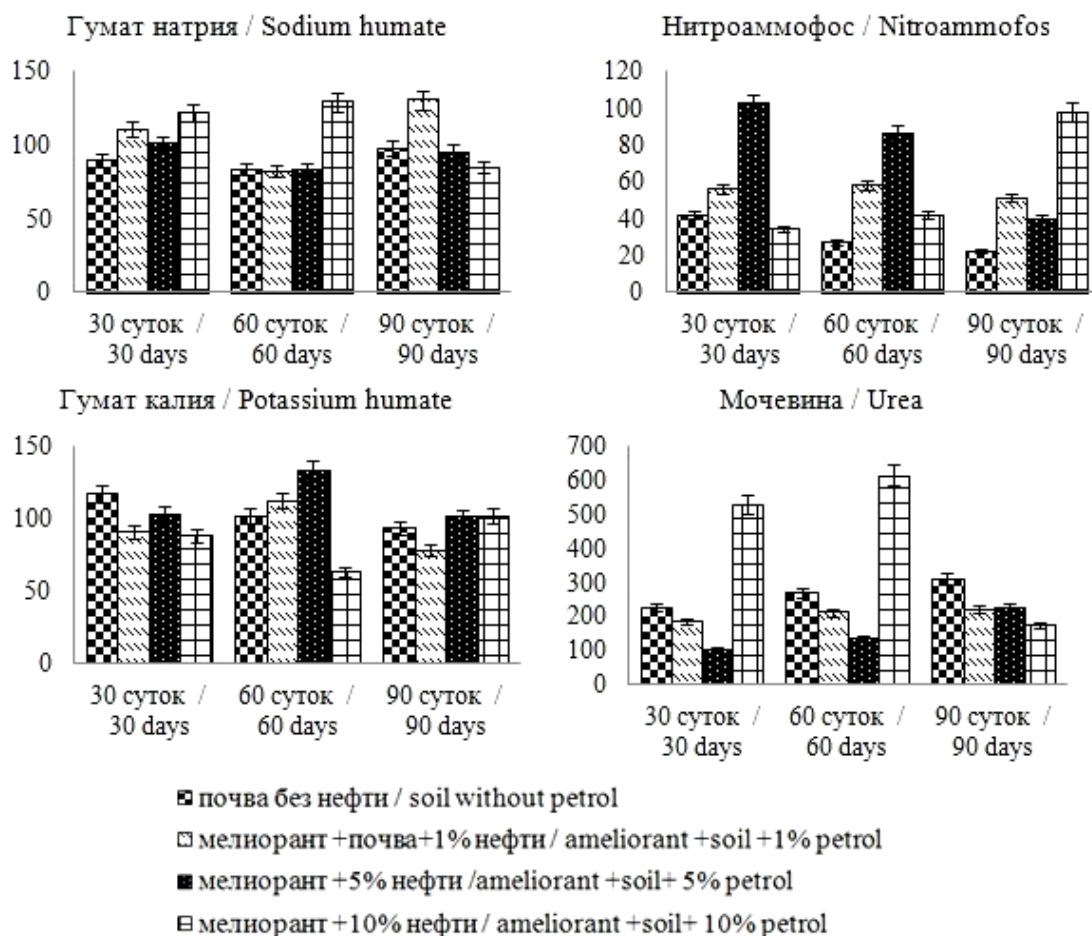


Рис.2. Изменение активности каталазы при разных уровнях нефтезагрязнения после внесения гуминовых и азотных удобрений, % от контроля
Fig.2. Change in catalase activity at different levels of oil pollution following the introduction of humic and nitrogen fertilizers, % of the control values

Активность β -фруктофуранозидазы достаточно информативна при загрязнении почв органическими загрязнителями. Активность инвертазы через 30 суток после загрязнения и внесения мелиорантов как снижалась, так и повышалась по сравнению с контрольным вариантом (рис. 3). При внесении гуматов натрия и калия, нитроаммофоса и мочевины самостоятельно без нефти наблюдали стимуляцию активности инвертазы на 21-99%.

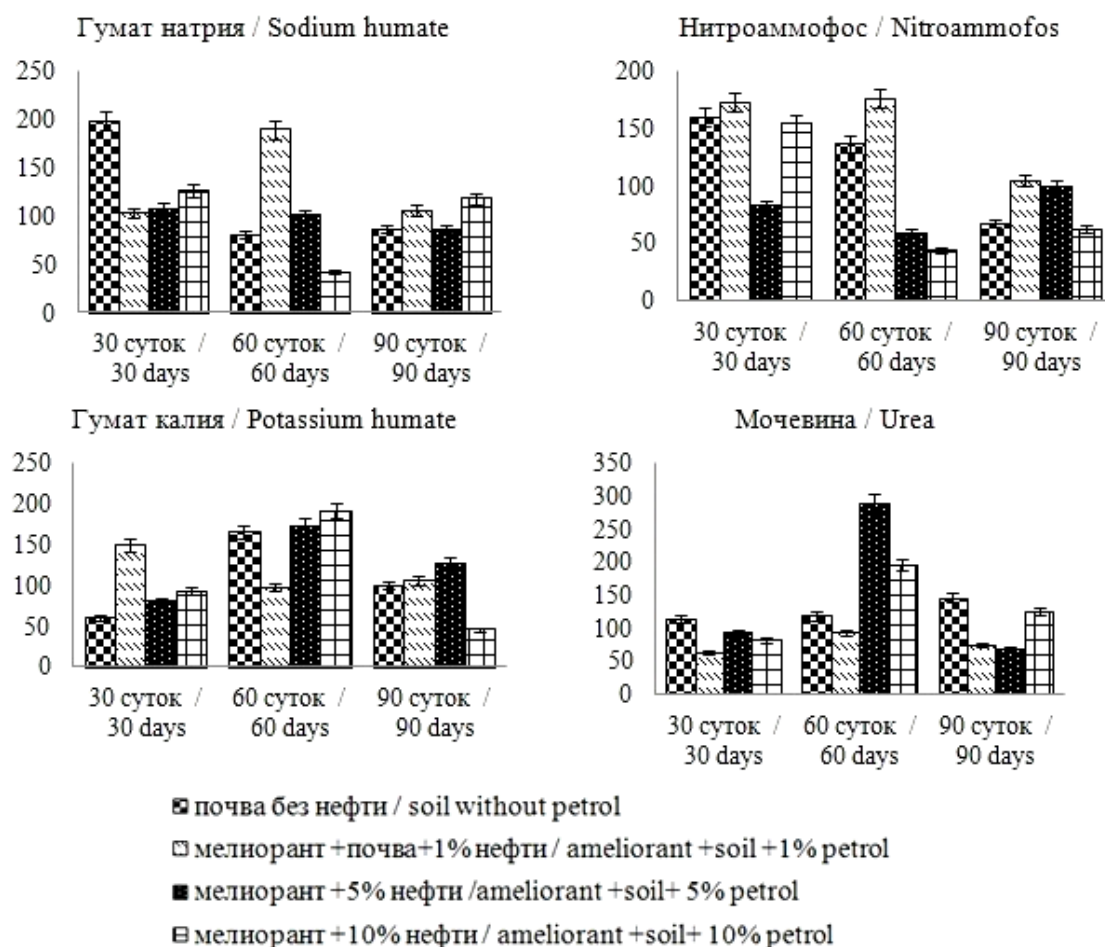


Рис.3. Изменение активности инвертазы при разных уровнях нефтезагрязнения после внесения гуминовых препаратов и азотных удобрений, % от контроля
Fig.3. Change in invertase activity at different levels of oil pollution following the introduction of humic and nitrogen fertilizers, % of the control values

Однако при дозе нефти 1% стимуляция показана только после внесения нитроаммофоса и гумата калия – 73 и 54% соответственно. Через 60 суток стимуляция активности фермента показана для всех мелиорантов при дозе нефти 1% – 65-90%. При этом на больших концентрациях наблюдали либо ингибирование активности (нитроаммофос), либо стимуляцию (гумат калия и мочевина). Через 90 суток активность фермента во всех вариантах с применением нитроаммофоса и мочевины была полностью ингибирована, а при внесении гуматов калия и натрия находилась на уровне контроля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что гуматы калия и натрия оказывали стимулирующее воздействие на ферментативную активность и выделение углекислого газа чернозема при дозе нефти 1 и 5%. Напротив, азотные удобрения влияли на биологическую активность почв неодинаково. Активность каталазы была ингибирована после внесения нитроаммофоса, а дыхательная активность и активность инвертазы была выше при небольших концентрациях нефти. При внесении мочевины в почву с дозой нефти 10%, наблюдали стимуляцию активности каталазы. Таким образом, для диагностики состояния черноземов при дозах нефти 5-10% после внесения азотных и гуминовых мелиорантов целесообразно использовать интенсивность выделения CO_2 почвой и активность инвертазы. При более низких



дозах нефти 1 и 5% после внесения азотных удобрений целесообразно оценивать состояние почвы по активности каталазы.

Благодарность: Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (5.5735.2017/8.9) и Президента Российской Федерации (НШ-3464.2018.11).

Acknowledgment: The study was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (5.5735.2017/8.9) and the President of the Russian Federation (NSh-3464.2018.11).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Peng R.H., Xiong A.S., Xeo Y., Fu X.Y., Gao F., Zhao W., Tian Y.S., Yao, Q.H. Microbial biodegradation of polyaromatic hydrocarbons: a review // FEMS Microbiol Reviews. 2008. V. 32. P. 927-955. Doi:10.1111/j.1574-6976.2008.00127.x
2. Kimes N.E., Callaghan A.V., Suflita J.M., Morris P.J. Microbial transformation of the Deepwater Horizon oil spill – past, present, and future perspectives // Frontiers in Microbiology. 2014. V. 5. 603 p. Doi: 10.3389/fmicb.2014.00603
3. Riveroll-Larios J., Escalante-Espinosa E., Fócil-Monterrubbio R.L., Díaz-Ramírez I.J. Biological activity assessment in Mexican tropical soils with different hydrocarbon contamination histories // Water Air Soil Pollution. 2015. V. 226. Iss. 10. 353 p. Doi: 10.1007/s11270-015-2621-1
4. Wolińska A., Kuźniar A., Szafraniek-Nakonieczna A., Jastrzębska N., Roguska E., Stępniewska Z. Biological activity of autochthonic bacterial community in oil contaminated soil // Water Air Soil Pollution. 2016. V. 227. 130 p. Doi: 10.1007/s11270-016-2825-z
5. Nikolopoulou M., Pasadakis N., Norf H., Kalogerakis, N. Enhanced *ex situ* bioremediation of crude oil contaminated beach sand by supplementation with nutrients and rhamnolipids // Marine Pollution Bulletin. 2013. V. 77. Iss. 1-2. P. 37-44. Doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.10.038
6. Macaulay B.M., Rees D. Bioremediation of oil spills: a review of challenges for research advancement // Annals of Environmental Science. 2014. V. 8. P. 9-37.
7. Poi G., Shahsavari E., Aburto-Medina A., Mok P.Ch., Ball A.S. Large scale treatment of total petroleum-hydrocarbon contaminated groundwater using bioaugmentation // Journal of Environmental Management. 2018. V. 214. P. 157-163. Doi: 10.1016/j.jenvman.2018.02.079
8. Polyak Y.M., Bakina L.G., Chugunova M.V., Mayachkina N.V., Gerasimov A.O., Bure V.M. Effect of remediation strategies on biological activity of oil-contaminated soil - A field study // International Biodeterioration & Biodegradation. 2018. V. 126. P. 57-68. Doi: 10.1016/j.ibiod.2017.10.004
9. Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И., Менькина Е.А. Влияние последствий применения удобрений на состояние и продуктивность чернозема обыкновенного // Агрохимический вестник. 2018. N 5. С. 9-15. Doi: 10.24411/0235-2516-2018-10036
10. Varjani S.J., Upasani V.N. A new look on factors affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants // International Biodeterioration & Biodegradation. 2017. V. 120. P. 71-83. Doi: 10.1016/j.ibiod.2017.02.006
11. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Григориади А.С. Влияние загрязнения почв нефтью на физиологические показатели растений и ризосферную микробиоту // Агрохимия. 2009. N 7. С. 71-80.
12. Minnikova T.V., Denisova T.V., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V. Assessment of Agroecological Indicators of Oil-Contaminated Chernozem in Rostov Oblast after Remediation with Urea and Potassium Humate // Russian Agricultural Sciences. 2018. V. 44. Iss. 2. P. 177-180. Doi: 10.3103/S1068367418020118



13. Wu M., Dick W.A., Li W., Wang X., Yang Q., Wang T., Xu L., Zhang M., Chen L., Bioaugmentation and biostimulation of hydrocarbon degradation and the microbial community in a petroleum-contaminated soil // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2016. V. 107. P. 158-164. Doi: 10.1016/j.ibiod.2015.11.019
14. Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Гарипов Т.Т. Деградация и мелиорация почв при загрязнении нефтепромысловыми сточными водами // *Почвоведение*. 2013. N 2. С. 226-211. Doi: 10.7868/S0032180X13020056
15. Souza E.C., Vessoni-Penna T.C., de Souza Oliveira R.P. Biosurfactant-enhanced hydrocarbon bioremediation: an overview // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2014. V. 89. P. 88-94. Doi: 10.1016/j.ibiod.2014.01.007
16. Долгова Л.Г. Активность оксидоредуктаз как диагностический показатель загрязнения почвы промышленными отходами // *Почвоведение*. 1978. N 7. С. 152-157.
17. Колесников С.И., Азнаурьян Д.К., Казеев К.Ш., Денисова Т.В. Изучение возможности использования мочевины и фосфогипса в качестве мелиорантов нефтезагрязненных почв в модельном опыте // *Агрохимия*. 2011. N 9. С. 77-81.
18. Новосёлова Е.И. Ферментативная активность почв в условиях нефтяного загрязнения и её биодиагностическое значение // *Теоретическая и прикладная экология*. 2009. N 2. С. 4-12.
19. Minnikova T.V., Denisova T.V., Mandzhieva S.S., Kolesnikov S.I., Minkina T.M., Chaplygin V.A., Burachevskaya M.V., Sushkova S.N., Bauer T.V. Assessing the effect of heavy metals from the Novocherkassk power station emissions on the biological activity of soils in the adjacent areas // *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. V. 174. P. 70-78. Doi: 10.1016/j.gexplo.2016.06.007
20. Кочетков И.А., Кавеленова Л.М. Изучение дыхательной активности почв некоторых растительных сообществ Красносамарского лесничества // *Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Экологические проблемы среднего Поволжья»*. Ульяновск. 1999. С. 128-130.
21. Канинский М.А., Терехова В.А., Яковлев А.С. Контроль гуматной детоксикации отходов фосфогипса методами биотестирования // *Экология и промышленность России*. 2007. N 8. С. 48-51.
22. Dindar E., Şağban F.T., Başkaya H.S. Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soil // *Journal of Biological and Environmental Sciences*. 2013. V. 7. N 19. P. 39-47.
23. Киреева Н.А., Григориади А.С., Хайбуллина Е.Ф. Ассоциации углеводородокисляющих микроорганизмов для биоремедиации нефтезагрязненных почв // *Вестник Башкирского университета*. 2009. Т. 14. N 2. С. 391-394.
24. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Татосян М.Л., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения нефтью и нефтепродуктами на биологическое состояние чернозема обыкновенного // *Почвоведение*. 2006. N 5. С. 616-620.
25. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Азнаурьян Д.К., Жаркова М.Г. Биодиагностика экологического состояния почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Ростов н/Д: Изд-во Ростиздат, 2007. 192 с.
26. Agnello A.C., Bagard M., Van Hullebusch E.D., Esposito G., Huguenot D. Comparative bioremediation of heavy metals and petroleum hydrocarbons co-contaminated soil by natural attenuation, phytoremediation, bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation // *Science of the Total Environment*. 2016. V. 563-564. P. 693-703. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.10.061



27. Baldan E., Basaglia M., Fontana F., Shapleigh J.P., Casella S. Development, assessment and evaluation of a biopile for hydrocarbons soil remediation // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2015. V. 98. P. 66-72. Doi: 10.1016/j.ibiod.2014.12.002
28. Chen M., Xu P., Zeng G., Yang Ch., Huang D., Zhang J. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs // *Biotechnology Advances*. 2015. V. 33. P. 745-755. Doi: 10.1016/j.biotechadv.2015.05.003
29. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2016. 356 с.
30. Stepniewska Z., Wolinska A., Ziomek J. Response of soil catalase activity to chromium contamination // *J. Environ. Sci. (China)*. 2009. V. 21. Iss. 8. P. 1142-1147. Doi: 10.1109/ISWREP.2011.5893614
31. Achuba F.I., Peretiemo-Clarke B.O. Effect of spent engine oil on soil catalase and dehydrogenase activities // *International Agrophysics*. 2008. N 22. P. 1-4.
32. Bouchez M., Blanchet D., Vandecasteele J-P. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by pure strains and by defined strain associations: inhibition phenomena and cometabolism // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 1995. V. 43. Iss. 1. P. 156-164. Doi: 10.1007/BF00170638

REFERENCES

1. Peng R.H., Xiong A.S., Xeo Y., Fu X.Y., Gao F., Zhao W., Tian Y.S., Yao, Q.H. Microbial biodegradation of polyaromatic hydrocarbons. *FEMS Microbiol Reviews*, 2008, vol. 32, pp. 927-955. Doi: 10.1111/j.1574-6976.2008.00127.x
2. Kimes N.E., Callaghan A.V., Suflita J.M., Morris P.J. Microbial transformation of the Deepwater Horizon oil spill- past, present, and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 2014, no. 5, 603 p. Doi: 10.3389/fmicb.2014.00603
3. Riveroll-Larios J., Escalante-Espinosa E., Fócil-Monterrubbio R.L., Díaz-Ramírez I.J. Biological activity assessment in Mexican tropical soils with different hydrocarbon contamination histories. *Water Air Soil Pollution*, 2015, vol. 226, iss. 10, 353 p. Doi: 10.1007/s11270-015-2621-1
4. Wolińska A., Kuźniar A., Szafranek-Nakonieczna A., Jastrzębska N., Roguska E., Stepniewska Z. Biological activity of autochthonic bacterial community in oil contaminated soil. *Water Air Soil Pollution*, 2016, vol. 227, 130 p. Doi: 10.1007/s11270-016-2825-z
5. Nikolopoulou M., Pasadakis N., Norf H., Kalogerakis, N. Enhanced ex situ bioremediation of crude oil contaminated beach sand by supplementation with nutrients and rhamnolipids. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, vol. 77, iss. 1-2, pp. 37-44. Doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.10.038
6. Macaulay B.M., Rees D. Bioremediation of oil spills: a review of challenges for research advancement. *Annals of Environmental Science*, 2014, vol. 8, pp. 9-37.
7. Poi G., Shahsavari E., Aburto-Medina A., Mok P.Ch., Ball A.S. Large scale treatment of total petroleum-hydrocarbon contaminated groundwater using bioaugmentation. *Journal of Environmental Management*, 2018, vol. 214, pp. 157-163. Doi:10.1016/j.jenvman.2018.02.079
8. Polyak Y.M., Bakina L.G., Chugunova M.V., Mayachkina N.V., Gerasimov A.O., Bure V.M. Effect of remediation strategies on biological activity of oil-contaminated soil - A field study. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2018, vol. 126, pp. 57-68. Doi: 10.1016/j.ibiod.2017.10.004
9. Shapovalova N.N., Godunova E.I., Menkina E.A. Influence of fertilizers application aftereffect on ecological and agrochemical state of chernozem ordinary. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical Herald]. 2018, no. 5, pp. 9-15. (In Russian) Doi: 10.24411/0235-2516-2018-10036



10. Varjani S.J., Upasani V.N. A new look on factors affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2017, vol. 120, pp. 71-83. Doi: 10.1016/j.ibiod.2017.02.006
11. Kireeva N.A., Novoselova E.I., Grigoriadi A.S. Effect of soil pollution by oil on the physiological parameters of plants and the rhizosphere microbiota. *Agrokhimiya* [Agricultural Chemistry]. 2009, no. 7, pp. 71-80. (In Russian)
12. Minnikova T.V., Denisova T.V., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V. Assessment of Agroecological Indicators of Oil-Contaminated Chernozem in Rostov Oblast after Remediation with Urea and Potassium Humate. *Russian Agricultural Sciences*, 2018, vol. 44, iss. 2, pp. 177-180. Doi: 10.3103/S1068367418020118
13. Wu M., Dick W.A., Li W., Wang X., Yang Q., Wang T., Xu L., Zhang M., Chen L., Bioaugmentation and biostimulation of hydrocarbon degradation and the microbial community in a petroleum-contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2016, vol. 107, pp. 158-164. Doi: 10.1016/j.ibiod.2015.11.019
14. Gabbasova I.M., Suleymanov R.R., Garipov T.T Degradation and remediation of soils polluted with oil-field wastewater. *Eurasian Soil Science*, 2013, vol. 46, no. 2, pp. 204-211. Doi: 10.1134/S1064229313020051
15. Souza E.C., Vessoni-Penna T.C., de Souza Oliveira R.P. Biosurfactant-enhanced hydrocarbon bioremediation: an overview. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2014, vol. 89, pp. 88-94. Doi: 10.1016/j.ibiod.2014.01.007
16. Dolgova L.G. Oxidoreductase activity as a diagnostic indicator of soil contamination with industrial waste. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1978, no. 7, pp. 152-157. (In Russian)
17. Kolesnikov S.I., Aznaur'yan D.K., Kazeev K.Sh., Denisova T.V. Studying the Application of Urea and Phosphogypsum as Ameliorants on Oil-Contaminated Soils in a Model Experiment. *Agrokhimiya* [Agrochemistry]. 2011, no. 9, pp. 77-81. (In Russian)
18. Novosyolova E.I., Kireeva N.A. Soil Enzymatic Activity in Conditions of Oil Contamination and its Biodiagnostic Importance. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology]. 2009, no. 2, pp. 4-12. (In Russian)
19. Minnikova T.V., Denisova T.V., Mandzhieva S.S., Kolesnikov S.I., Minkina T.M., Chaplygin V.A., Burachevskaya M.V., Sushkova S.N., Bauer T.V. Assessing the effect of heavy metals from the Novocherkassk power station emissions on the biological activity of soils in the adjacent areas. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 174, pp.70-78. Doi: 10.1016/j.gexplo.2016.06.007
20. Kochetkov I.A., Kavelenova L.M. Izuchenie dykhatel'noi aktivnosti pochv nekotorykh rastitel'nykh soobshchestv Krasnosamarskogo lesnichestva [The study of the respiratory activity of the soil of some plant communities of Krasnosamarsky's forestry]. *Materialy mezhr regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Ekologicheskie problemy srednego Povolzh'ya»*, Ul'yanovsk, 1999 [Materials of the interregional scientific-practical conference "Environmental problems of the middle Volga region", Ul'yanovsk, 1999]. Ul'yanovsk, 1999, pp. 128-130. (In Russian)
21. Kanis'kin M.A., Terekhova V.A., Yakovlev A.S. Control of humate detoxification of phosphogypsum waste using biotesting methods. *Ekologia i promyshlennost Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. 2007, no. 8, pp. 48-51. (In Russian)
22. Dindar E., Şağban F.T., Başkaya H.S. Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soil. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 2013, vol. 7, no. 19, pp. 39-47.
23. Kireeva N.A., Grigoriadi A.S., Khaibullina E.F. Association of hydrocarbon-oxidizing microorganisms for bioremediation of oil-contaminated soils. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of Bashkir University]. 2009, vol. 14, no. 2, pp. 391-394. (In Russian)



24. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Tatosyan M.L., Val'kov V.F. The effect of pollution by oil and oil products on the biological status of ordinary chernozems. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science]. 2006, no. 5, pp. 552-556. (In Russian)
25. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F., Aznaur'yan D.K., Zharkova M.G. *Biodiagnostika ekologicheskogo sostoyaniya pochv, zagryaznennykh nef't'yu i nefteproduktami* [Biodiagnostics of the ecological condition of soils polluted by oil and oil products]. Rostov-on-Don, Rostizdat Publ., 2007, 192 p. (In Russian)
26. Agnello A.C., Bagard M., Van Hullebusch E.D., Esposito G., Huguenot D. Comparative bioremediation of heavy metals and petroleum hydrocarbons co-contaminated soil by natural attenuation, phytoremediation, bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation. *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 563-564, pp. 693-703. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.10.061
27. Baldan E., Basaglia M., Fontana F., Shapleigh J. P., Casella S. Development, assessment and evaluation of a biopile for hydrocarbons soil remediation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2015, vol. 98, pp. 66-72. Doi: 10.1016/j.ibiod.2014.12.002
28. Chen M., Xu P., Zeng G., Yang Ch., Huang D., Zhang J. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs. *Biotechnology Advances*, 2015, vol. 33, pp. 745-755. Doi: 10.1016/j.biotechadv.2015.05.003
29. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V., Dadenko E.V. *Metody biodiagnostiki nazemnykh ekosistem* [Methods of diagnosis of terrestrial ecosystems]. Rostov-on-Don, SFU Publ., 2016, 356 p. (In Russian)
30. Stepniewska Z., Wolinska A., Ziomek J. Response of soil catalase activity to chromium contamination. *J. Environ. Sci. (China)*, 2009, vol. 21, iss. 8, pp. 1142-1147. Doi: 10.1109/ISWREP.2011.5893614
31. Achuba F.I., Peretiemo-Clarke B.O. Effect of spent engine oil on soil catalase and dehydrogenase activities. *International Agrophysics*, 2008, no. 22, pp. 1-4.
32. Bouchez M., Blanchet D., Vandecasteele J-P. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by pure strains and by defined strain associations: inhibition phenomena and cometabolism. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1995, vol. 43, iss. 1, pp. 156-164. Doi: 10.1007/BF00170638

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Татьяна В. Минникова*, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник кафедры экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета; просп. Стачки 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090 Россия; тел.: 89885390134, e-mail: loko261008@yandex.ru

Сергей И. Колесников, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия.

AUTHOR INFORMATION

Affiliations

Tatyana V. Minnikova*, Cand. Sci. (Biol.), Junior Researcher, Department of Ecology and Nature Management, Academy of Biology and Biotechnology named after D.I. Ivanovsky, Southern Federal University; 194/1 Stachky ave., Rostov-on-Don, 344090 Russia; tel.: 89885390134, e-mail: loko261008@yandex.ru

Sergey I. Kolesnikov, Dr. Sci. (Agric.), Professor, Head of the Department for Ecology and Nature Management, Academy of Biology and Biotechnology named after D.I. Ivanovsky, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia.



Татьяна В. Денисова, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия.

Tatyana V. Denisova, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Department of Ecology and Nature Management, Academy of Biology and Biotechnology named after D.I. Ivanovsky, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia.

Критерии авторства

Татьяна В. Минникова проводила лабораторно-аналитические исследования влияния мелиорантов на состояние нефтезагрязненных почв, написала рукопись статьи; Сергей И. Колесников участвовал в составлении схемы эксперимента, выборе мелиорантов, проведении лабораторного моделирования, участвовал в написании рукописи статьи; Татьяна В. Денисова проанализировала данные, участвовала в написании рукописи статьи. Все авторы в равной степени несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в реакцию 08.02.2019

Принята в печать 18.03.2019

Contribution

Tatyana V. Minnikova conducted laboratory and analytical studies on the influence of ameliorants on the state of oil-contaminated soils, as well as wrote the manuscript of the article. Sergey I. Kolesnikov participated in drawing up the experiment scheme, choosing ameliorants, carrying out laboratory modeling, as well as in writing the manuscript of the article. Tatyana V. Denisova analysed the data and participated in writing the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 08.02.2019

Accepted for publication 18.03.2019