

БИОТЕХНОЛОГИЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

DOI: 10.15593/2224-9400/2020.4.01

УДК 631.46: 579.222.2

А.В. Назаров

Институт экологии и генетики микроорганизмов –
филиал ФГБУН ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

БИОРЕМЕДИАЦИЯ ГРУНТА, ЗАГРЯЗНЕННОГО СИНТЕТИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

*Исследована эффективность использования бактерий штамма *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7 и гуминового препарата «Гумиком» для биоремедиации грунта, загрязненного синтетическими соединениями. Из-за деятельности химической промышленности к настоящему времени произошло накопление в окружающей среде устойчивых к микробному разложению ксенобиотиков, опасных для здоровья человека. Поэтому для предотвращения отрицательных последствий данного загрязнения необходима разработка методов очистки окружающей среды от комплекса синтетических загрязнителей.*

*Техногенный грунт, использованный в эксперименте, был отобран с территории бывшего химического предприятия «Средне-Волжский завод химикатов» г. Чапаевск Самарской области. Грунт содержал следующие ксенобиотики: гексахлорбензол, линдан, смесь полихлорбифенилов (ПХБ), дихлордифенилтрихлорметилметан (ДДТ) и дихлордифенилтрихлорметилметан (ДДД), триаллат, эфиры фталевой кислоты (дибутилфталат и диоктилфталат). В грунт в зависимости от варианта опыта вносили клетки бактерий штамма *R. wratislaviensis* KT112-7 в количестве 10^7 кл/г и препарат «Гумиком» 0,01; 0,1 и 1,0 % и через 2 недели измеряли содержание в нем остаточных загрязнителей. Концентрация ксенобиотиков оценивалась с помощью хромато-масс-спектрометра Agilent 6890/5973N. Ранее влияние гуминовых препаратов на разрушение бактериями-деструкторами пестицидов в почве не исследовалось.*

*Внесение препарата «Гумиком» в дозах 0,1 и 1,0 % уменьшило относительно варианта без добавления препарата концентрацию в загрязненном грунте триаллата и эфиров фталевой кислоты. Инокуляция бактериями *R. wratislaviensis* KT112-7 в загрязненный грунт снизила по сравнению с вариантом без добавления бактерий-деструкторов концентрацию линдана, смеси ПХБ, ДДТ и ДДД, триаллата, эфиров фталевой кислоты. Максимальная убыль большинства веществ-загрязнителей происходила при внесении препарата «Гумиком» совместно с бактериями-деструкторами. При внесении «Гумикома» в дозах 0,1 и 1,0 % наибольший положительный эффект наблюдался в снижении содержания линдана – в 2,6 и 3,5 раза соответствен-*

но, наименьший – в уменьшении концентрации ДДТ и ДДД – в 1,2 раза. Полученные данные могут быть использованы для разработки биотехнологий очистки окружающей среды от комплексного загрязнения почв изученными ксенобиотиками.

Ключевые слова: пестициды, полихлорбифенилы (ПХБ), эфиры фталевой кислоты (дибутилфталат и диоктилфталат), *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7, очистка почвы.

A.V. Nazarov

Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms Ural Branch
Russian Academy of Sciences, Perm, Russian Federation

BIOREMEDIATION OF SOIL CONTAMINATED WITH SYNTHETIC COMPOUNDS

*The efficiency of using bacteria of the *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7 strain and the humic fertilizer "Gumikom" for bioremediation of soil contaminated with synthetic compounds has been investigated. Due to the activities of the chemical industry, to date, there has been an accumulation in the environment of xenobiotics, resistant to microbial decomposition, dangerous to human health. Therefore, to prevent the negative consequences of this pollution, it is necessary to develop methods for cleaning the environment from a complex of synthetic pollutants.*

*The technogenic soil used in the experiment was taken from the territory of the former chemical enterprise "Sredne-Volzhsy Chemical Plant" in Chapayevsk, Samara Region. The soil contained the following xenobiotics: hexachlorobenzene, lindane, a mixture of polychlorinated biphenyls (PCBs), dichlorodiphenyltrichloromethylmethane (DDT) and dichlorodiphenyltrichloromethylmethane (DDD), triallate, phthalic esters (dioctyl phthalate and dibutyl phthalate). Cells of bacteria of the *R. wratislaviensis* KT112-7 strain in the amount of 10^7 cells/g and the fertilizer "Gumikom" – 0.01, 0,1 and 1,0% were introduced into the soil, depending on the variant of the experiment, and after 2 weeks the content of residual pollutants. The concentration of xenobiotics was estimated using an Agilent 6890/5973N gas chromatography-mass spectrometer. Previously, the effect of humic fertilizer on the destruction of pesticides by bacteria-destructors in the soil has not been studied.*

*The introduction of the "Gumikom" in doses of 0,1 and 1,0% reduced the concentration of triallate and phthalic acid esters in the contaminated soil relative to the variant without the addition of the humic fertilizer. The inoculation with *R. wratislaviensis* KT112-7 bacteria into the contaminated soil, compared with the option without the addition of destructive bacteria, reduced the concentration of lindane, a mixture of PCBs, DDT and DDD, triallate, phthalic acid esters. The maximum loss of most of the pollutants was observed when the drug "Gumikom" was added together with bacteria-destructors. With the introduction of "Gumikom" in doses of 0,1 and 1,0%, the greatest positive effect was observed on a decrease in the content of lindane, by 2,6 and 3,5, respectively, the least – on a decrease in the concentration of DDT and DDD – by 1,2 times. The data obtained can be used to develop biotechnologies for cleaning the environment from complex soil contamination with the studied xenobiotics.*

Keywords: pesticides, polychlorinated biphenyls (PCBs), phthalic esters (dioctyl phthalate and dibutyl phthalate), *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7, soil remediation.

Одной из важнейших проблем современности является накопление синтетических соединений в окружающей среде. В г. Чапаевск Самарской области в XX в. в течение нескольких десятилетий до конца 80-х гг. химическим предприятием «Средне-Волжский завод химикатов» (ОАО «СВЗХ») осуществлялся выпуск хлорорганических пестицидов, что привело к загрязнению ими территории города и негативно повлияло на здоровье местных жителей [1, 2]. Поэтому для предотвращения отрицательных последствий данного загрязнения на человека необходима разработка методов очистки окружающей среды от комплекса синтетических загрязнителей. Биоремедиационные технологии наиболее перспективны для решения этой проблемы, так как они характеризуются относительно низкой стоимостью работ, мягкостью воздействия на окружающую среду и достаточно высокой эффективностью [3]. Для биологического восстановления загрязненных почв обычно используют внесение бактерий-деструкторов совместно с удобрениями, которые ускоряют разрушение бактериями органических загрязнителей. Ранее было установлено, что добавление гуминового удобрения «Гумиком» положительно влияет на очистку почвы от нефтяного загрязнения [4, 5]. Также была обнаружена высокая деструкционная активность бактерий *Rhodococcus wratislaviensis* КТ112-7 в отношении ароматических углеводородов [6], полихлорбифенилов (ПХБ) [7]. Однако воздействие внесения бактерий *R. wratislaviensis* КТ112-7 и препарата «Гумиком» на очистку почвы от смеси синтетических соединений и, в частности, хлорорганических пестицидов до сих пор не исследовано.

Цель данной работы – оценка эффективности применения бактерий штамма *R. wratislaviensis* КТ112-7 и гуминового препарата «Гумиком» для биоремедиации грунта, загрязненного синтетическими соединениями.

Техногенный грунт, использованный в эксперименте, был отобран с территории бывшего химического предприятия «Средне-Волжский завод химикатов» г. Чапаевск Самарской области. Грунт содержал следующие синтетические загрязнители: гексахлорбензол – 1,0 мг/кг; линдан – 1,8 мг/кг; смесь полихлорбифенилов (ПХБ) – 1,1 мг/кг; дихлордифенилтрихлорметилметан (ДДТ) и дихлордифенилтрихлорметилметан (ДДД) – 0,5 мг/кг; триаллат – 6,6 мг/кг; эфиры фталевой кислоты (дибутилфталат и диоктилфталат) – 7,5 мг/кг. Гексахлорбензол, линдан, ДДТ, триаллат являются хлорорганическими пес-

тицидами, которые выпускались на данном химическом заводе, ДДТ – продукт разложения ДДТ бактериями. ПХБ использовались в трансформаторах и другом электрооборудовании. В отношении гексахлорбензола, линдана, ДДТ и ПХБ действует Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях, согласно которой эти вещества из-за их опасности для окружающей среды и здоровья человека подлежат полному выведению из производства и применения и должны быть уничтожены [8].

Препарат «Гумиком» представляет собой продукт однократной экстракции бурого угля гидроксидом калия с последующим осаждением их фосфорной кислотой, выпускается предприятием ООО «Эмульсионные Технологии» г. Самара [9]. В эксперименте использовался препарат «Гумиком» марки А, с концентрацией гуматов 4–6 %.

Штамм *Rhodococcus wratislaviensis* КТ112-7 был выделен из техногенно-минеральных образований предприятия БКРУ1 ОАО «Уралкалий». Установлено, что данный штамм является активным деструктором ароматических соединений (фенантрена, нафталина, бифенила, бензола, толуола, фенола, ортофталевой и бензойной кислот) и ПХБ [6, 7].

Приготовленный грунт в количестве 100 г помещали в пластиковые контейнеры, закрывающиеся крышками, размером 60×85×45 и увлажняли до 60 % от ее полной влагоемкости. Затем к грунту добавляли клетки штамма *R. wratislaviensis* КТ112-7 в количестве 10^7 кл/г и препарат «Гумиком» – 0,01; 0,1 и 1,0 % в зависимости от варианта опыта.

Для эксперимента бактерии выращивали на минеральной среде К1 следующего состава (г/л): $K_2HPO_4 \times 3H_2O$ – 4,0; $NaH_2PO_4 \times 2H_2O$ – 0,4; $(NH_4)_2SO_4$ – 0,5; $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,15; $Ca(NO_3)_2 \times 4H_2O$ – 0,01; $NaMoO_4 \times 2H_2O$ – 0,18; $FeSO_4 \times 7H_2O$ – 1,98, дополненную 1 мл/л раствора микроэлементов, содержащего (г/л): ЭДТА – 2,50; $ZnSO_4 \times 2H_2O$ – 10,95; $FeSO_4 \times 7H_2O$ – 5,0; $MnSO_4 \times 2H_2O$ – 1,54; $CuSO_4 \times 5H_2O$ – 0,39; $Co(NO_3)_2 \times 6H_2O$ – 0,24; $Na_2B_4O_7 \times 10H_2O$ – 0,17; pH среды 7,3 [10], с добавлением 1 г/л бифенила.

Концентрацию загрязнителей измеряли в хлороформенных экстрактах на хромато-масс-спектрометре Agilent 6890/5973N (Agilent, США), с кварцевой колонкой RESTEK RTX-5MS (Restek, США) по методу [7]. Анализ хроматограмм проводили программой MSD Productivity Chem Station (Agilent, США).

Содержание загрязнителей в техногенном грунте измеряли через 2 недели после внесения в него бактерий *R. wratislaviensis* КТ112-7 и препарата «Гумиком».

Внесение препарата «Гумиком» в дозах 0,1 и 1,0 % уменьшило концентрацию в загрязненном грунте триаллата и эфиров фталевой кислоты (рис. 1). При дозе удобрения «Гумиком» 0,1 % концентрация триаллата снизилась относительно варианта без добавления препарата в 1,3 раза эфиров фталевой кислоты – в 1,2 раза. При дозе 1,0 % концентрация триаллата и эфиров фталевой кислоты уменьшилась в 1,4 и 1,3 раза, соответственно. В то же время препарат «Гумиком» в этом варианте эксперимента не оказал влияние на деструкцию гексахлорбензола, линдана, смеси ПХБ, ДДТ и ДДД.

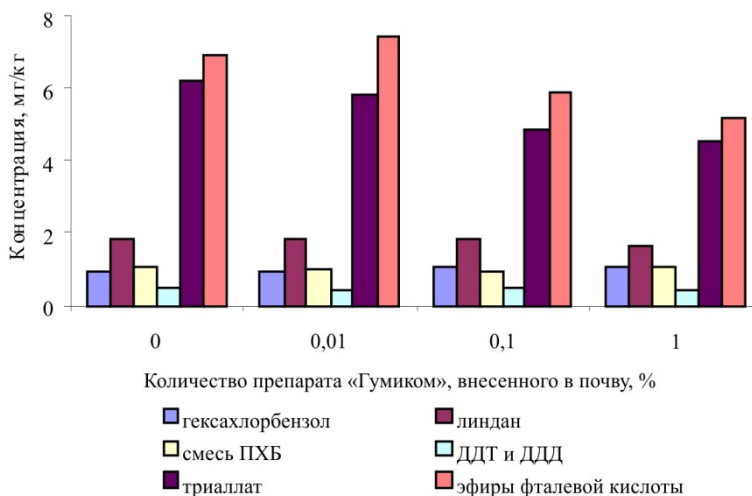


Рис. 1. Концентрация загрязнителей в грунте через 2 недели после внесения препарата «Гумиком»

Инокуляция бактериями *R. wratislaviensis* КТ112-7 в загрязненный грунт имела больший положительный эффект на его очистку, чем внесение препарата «Гумиком» (рис. 2). Концентрация линдана уменьшилась по сравнению с вариантом без добавления бактерий-деструкторов в 1,7 раза, смеси ПХБ – 1,2 раза, ДДТ и ДДД – в 1,5 раза, триаллата – в 2,3 раза, эфиров фталевой кислоты – в 5,6 раза. Однако при этом не было отмечено положительное воздействие инокуляции в грунт изученных бактерий-деструкторов на его очистку от гексахлорбензола.

Добавление гуминового препарата «Гумиком» совместно с бактериями *R. wratislaviensis* КТ112-7 в грунт стимулировало бактериальное разложение всех синтетических загрязнителей, за исключением триаллата (рис. 3).

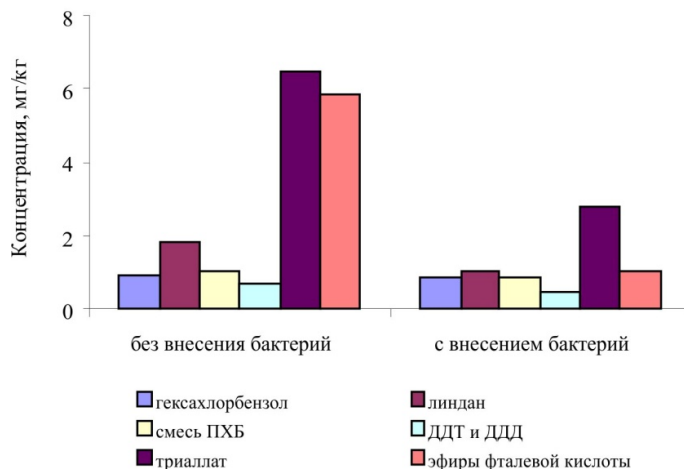


Рис. 2. Концентрация загрязнителей в грунте через две недели после вынесения бактерий *R. wratislaviensis* КТ112-7

При комплексной обработке «Гумиком» и бактериями в отличие от варианта эксперимента с внесением гуминового препарата без бактерий наблюдалось положительное воздействие на очистку грунта от добавления «Гумиком» в дозе 0,01 %. В данном случае концентрация загрязнителей в грунте уменьшилась в 1,2–1,3 раза. При внесении «Гумиком» в дозах 0,1 и 1 % наибольший положительный эффект наблюдался в снижении содержания линдана в 2,6 и 3,5 раза соответственно, наименьший – в уменьшении концентрации ДДТ и ДДД в 1,2 раза.

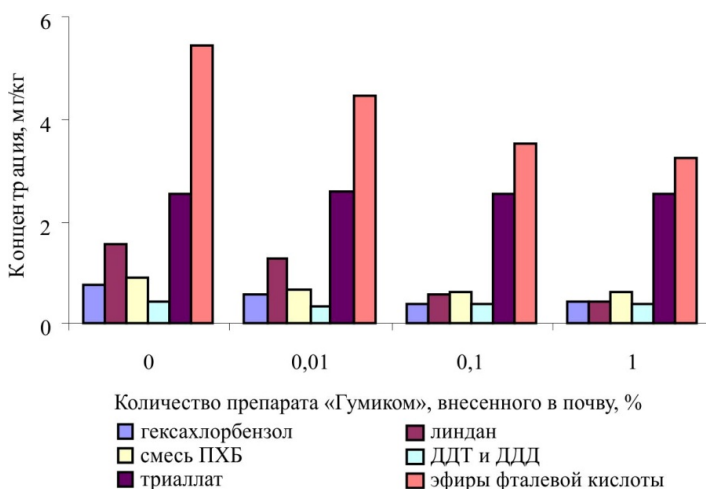


Рис. 3. Концентрация загрязнителей в грунте через две недели после комплексной обработки бактериями штамма *R. wratislaviensis* КТ112-7 и препаратом «Гумиком»

Влияние гуматов на деструкцию пестицидов в почве ранее не исследовалось. Однако в более ранних работах было показано положительное влияние гумусовых веществ на очистку почвы от ПХБ из-за образования химических связей между данными соединениями [11, 12]. При этом дальнейшая судьба связанного гумусовыми веществами ПХБ остается не исследованной. В проведенном нами исследовании после добавления препарата «Гумиком» и без внесения бактерий-деструкторов не отмечено уменьшение содержания ПХБ в почве через 14 дней. Отсутствие положительного эффекта гуматов в проведенных нами опытах связано с более низкой концентрацией внесенных гуматов, максимальная доза в проведенных нами экспериментах составила 0,06 %, в то время как в более ранней работе [11] гуматы добавляли в концентрации 4 и 8 %.

Максимальная убыль большинства веществ-загрязнителей в проведенном нами исследовании проявлялась при внесении препарата «Гумиком» совместно с бактериями-деструкторами, что указывает на активизацию деструкции под действием препарата изученных синтетических соединений бактериями. Поэтому положительное воздействие гуматов на очистку почвы от изученных синтетических веществ-загрязнителей может быть обусловлено следующим:

1. Гуматы активируют окислительные процессы в клетках бактерий, активизируют бактериальное разложение органических веществ [13].

2. Гуматы являются поверхностно-активными веществами [14], при действии гуматов на нерастворимые в воде вещества-загрязнители происходит десорбция загрязнителей с почвы, диспергирование, повышение поверхности контакта частиц загрязнителя со средой и с клетками микроорганизмов-деструкторов, благодаря чему ускоряется их разрушение.

3. Гуматы являются удобрениями, источниками макро- и микроэлементов [15], необходимыми для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов.

Таким образом, исследование влияния обработки бактериями *R. wratislaviensis* КТ112-7 и гуминового препарата «Гумиком» на очистку грунта, загрязненного синтетическими соединениями, показало, что максимальная убыль концентрации большинства веществ-загрязнителей происходила при внесении препарата «Гумиком» совместно с бактериями-деструкторами. Полученные данные могут быть использованы для разработки биотехнологий очистки окру-

жающей среды от комплексного загрязнения почв гексахлорбензолом, линданом, ПХБ, ДДТ, триаллатом, дибутилфталатом и диоктилфталатом.

Работа выполнена в рамках государственного задания, номер госрегистрации темы АААА-А19-119112290008-4.

Список литературы

1. Рак молочной железы в Чапаевске / Б.А. Ревич, Т.И. Ушакова, О.В. Сергеев, В.Ю. Зейлерт // Гигиена и санитария. – 2005. – № 1. – С. 18–21.
2. Никитин А.И. Гормоноподобные ксенобиотики и их роль в патологии репродуктивной функции человека // Экология человека. – 2006. – № 1. – С. 9–16.
3. Домрачева Л.И. Использование организмов и биосистем в ремедиации территорий // Теоретическая и прикладная экология. – 2009. – № 4. – С. 4–16.
4. Разработка технологии ремедиации нефтезагрязненных почв и грунтов с использованием гуминового препарата «Гумиком» / Я.И. Вайсман, И.С. Глушанкова, Л.В. Рудакова, В.В. Куми, И.П. Токарев // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 10. – С. 128–131.
5. Биоремедиация грунтов, загрязненных тяжелой нефтью / Г.Г. Ягафарова, А.К. Мазитова, С.В. Леонтьева, А.Х. Сафаров, Д.Р. Вахитова // SOCAR Proceedings. – 2016. – № 3. – С. 75–80.
6. Деструкция ароматических углеводов штаммом *Rhodococcus wratislaviensis* КТ112-7, выделенным из отходов соледобывающего предприятия / Д.О. Егорова, Е.С. Корсакова, В.А. Демаков, Е.Г. Плотникова // Прикладная биохимия и микробиология. – 2013. – Т. 49, № 3. – С. 267–278.
7. Егорова Д.О., Демаков В.А. Штамм *Rhodococcus wratislaviensis* КТ 112-7 – основа для биорегенерации полихлорбифенилзагрязненного металлургодного катализатора // Биотехнология. – 2018. – Т. 34, № 4. – С. 51–61.
8. Final act of the Conference of Plenipotentiaries on the Stockholm convention on persistent organic pollutants, Stockholm, 22-23 May / UNEP/POPS/CONF/4. United Nations Environment Programme. – Geneva, 2001. – 44 p.
9. Куми В.В. Гумиком: эффективная экология // Самара и Губерния. – 2013. – № 3. – С. 46–47.
10. Зайцев Г.М., Карасевич Ю.Н. Подготовительный метаболизм 4-хлорбензойной кислоты у *Arthrobacter globiformis* // Микробиология. – 1981. – Т. 50. – С. 423–428.
11. Биоиндикация и детоксикация почв, загрязненных полихлорированными бифенилами (влияние гумусовых веществ) / Н.Б. Градова, В.В. Тарасов, М.В. Хмылова, Г.А. Жариков // Агрохимия. – 2005. – № 7. – С. 73–76.

12. Исследование деструкции полихлорбифенолов натриевыми солями аминокислот и гуминовыми кислотами в почвах / Д.В. Демин, Д.Ю. Аладин, И.В. Татаркин, С.М. Севостьянов, Н.Ф. Деева, А.А. Ильина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15, № 3 (4). – С. 1282–1286.

13. Влияние гуминового комплекса препарата Гумиком на окисление органических веществ бактериальной культурой *Gluconobacter oxydans* / Е.В. Емельянова, А.А. Савинов, Е.А. Михина, И.В. Шемонаев, А.А. Макаренко, А.Н. Решетиллов // Агрехимия. – 2014. – № 8. – С. 63–71.

14. Попов А.И., Зеленков В.Н., Теплякова Т.В. Биологическая активность и биохимия гуминовых веществ // Вестник Российской академии естественных наук. – 2016. – № 5. – С. 9–15.

15. Орлов Д.С. Свойства и функции гуминовых веществ // Гуминовые вещества в биосфере. – М.: Наука, 1993. – С. 16–27.

References

1. Revich B.A., Ushakova T.I., Sergeev O.V., Zejlert V.Ju. Rak molochnoj zhelezy v Чараевске [Breast cancer in Чараevsk]. *Gigiena i sanitarija*, 2005, no. 1, pp. 18–21.

2. Nikitin A.I. Gormonopodobnye ksenobiotiki i ih rol' v patologii reproduktivnoj funkcii cheloveka [Hormone-like xenobiotics and their role in the pathology of human reproductive function]. *Jekologija cheloveka*, 2006, no. 1, pp. 9–16.

3. Domracheva L.I. Ispol'zovanie organizmov i biosistem v remediacii territorij [The use of organisms and biological systems in the remediation of territories]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2009, no. 4, pp. 4–16.

4. Vajsman Ja.I., Glushankova I.S., Rudakova L.V., Kumi V.V., Tokarev I.P. Razrabotka tehnologii remediacii neftezagrjaznennyh pochv i gruntov s ispol'zovaniem guminovogo preparata «Gumikom» [Development of technology for remediation of oil-contaminated soils and grounds using the humic preparation "Gumikom"]. *Nefijanoe hozjajstvo*, 2013, no. 10, pp. 128–131.

5. Jagafarova G.G., Mazitova A.K., Leont'eva S.V., Safarov A.H., Vahitova D.R. Bioremediacija gruntov, zagrjaznennyh tjazhelej нефтьju [Bioremediation of soils contaminated with heavy oil]. *SOCAR Proceedings*, 2016, no. 3, pp. 75–80.

6. Egorova D.O., Korsakova E.S., Demakov V.A., Plotnikova E.G. Destrukciya aromaticeskikh uglevodorodov shtammom *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7, vydelennym iz othodov soledobывajushhego predpriyatija [Destruction of aromatic hydrocarbons by the *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7 strain isolated from the waste of a salt-mining enterprise]. *Prikladnaja biohimija i mikrobiologija*, 2013, vol. 49, no. 3, pp. 267–278.

7. Egorova D.O., Demakov V.A. Shtamm *Rhodococcus wratislaviensis* KT 112-7 – osnova dlja bioregeneracii polihlorbifenil – zagrjaznennogo metall/uglerodnogo katalizatora [Strain *Rhodococcus wratislaviensis* KT 112-7 – the basis for

the bioregeneration of polychlorinated biphenyl – contaminated metal/carbon catalyst]. *Biotehnologija*, 2018, vol. 34, no. 4, pp. 51–61.

8. Final act of the Conference of Plenipotentiaries on the Stockholm convention on persistent organic pollutants. *UNEP/POPS/CONF/4. United Nations Environment Programme*, 22-23 May, Stockholm, Geneva, 2001, 44 p.

9. Kumi V.V. Gumikom: jeffektivnaja jekologija [Gumikom: effective ecology]. *Samara i Gubernija*, 2013, no. 3, pp. 46-47.

10. Zajcev G.M., Karasevich YU.N. Podgotovitel'nyj metabolizm 4-hlorbenzojnoj kisloty u *Arthrobacter globiformis* [Preparatory metabolism of 4-chlorobenzoic acid in *Arthrobacter globiformis*]. *Mikrobiologiya*, 1981, vol. 50, pp. 423–428.

11. Gradova N.B., Tarasov V.V., Hmylova M.V., Zharikov G.A. Bioindikacija i detoksikacija pochv, zagrjaznennyh polihlorirovannymi bifenilami (Vlijanie gumusovyh veshhestv) [Bioindication and detoxification of soils contaminated with polychlorinated biphenyls [Influence of humic substances]]. *Agrohimija*, 2005, no. 7, pp. 73-76.

12. Demin D.V., Aladin D.Ju., Tatarin I.V., Sevost'janov S.M., Deeva N.F., Il'ina A.A. Issledovanie destrukcii polihlorbifenolov natrievymi soljami aminokislot i guminovymi kislotami v pochvah [Study of the destruction of polychlorinated biphenols by sodium salts of amino acids and humic acids in soils]. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN*, 2013, vol. 15, no. 3(4), pp. 1282-1286.

13. Emel'janova E.V., Savinov A.A., Mihina E.A., Shemonaev I.V., Makarenko A.A., Reshetilov A.N. Vlijanie guminovogo kompleksa preparata Gumikom na okislenie organicheskikh veshhestv bakterial'noj kul'turoj *Gluconobacter oxydans* [Influence of the humic complex of the Gumikom preparation on the oxidation of organic substances by the bacterial culture *Gluconobacter oxydans*]. *Agrohimija*, 2014, no. 8, pp. 63-71.

14. Popov A.I., Zelenkov V.N., Tepljakova T.V. Biologicheskaja aktivnost' i biohimija guminovyh veshhestv [Biological activity and biochemistry of humic substances]. *Vestnik rossijskoj akademii estestvennyh nauk*, 2016, no. 5, pp. 9-15.

15. Orlov D.S. Svoystva i funkcii guminovyh veshchestv [Properties and functions of humic substances]. *Guminovye veshchestva v biosfere*. Moscow, Nauka, 1993, pp. 16-27.

Получено 07.10.2020

Об авторах

Назаров Алексей Владимирович (Пермь, Россия) – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН (614081, г. Пермь, ул. Голева, 13, e-mail: nazarov@iegm.ru).

About the authors

Alexey V. Nazarov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms UB RAS (13, Goleva str., Perm, 614081, e-mail: nazarov@iegm.ru).