

Биоремедиация техногенно деградированных земель после завершения специальной военной операции на территории новых субъектов Российской Федерации

© 2023. Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., г. н. с., зав. лабораторией,
Л. И. Домрачева^{1,3}, д. б. н., профессор,
И. П. Погорельский⁴, д. м. н., в. н. с.,
А. А. Лещенко⁴, д. т. н., в. н. с., А. Ю. Миронина², к. фил. н., доцент,
В. С. Лобастов⁴, к. т. н., с. н. с., А. В. Сенькин⁴, к. м. н., м. н. с.,
¹Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
²Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,
³Вятский государственный агротехнологический университет,
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133,
⁴Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения
«48 Центральный научно-исследовательский институт»
Министерства обороны Российской Федерации,
610000, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 19,
e-mail: ecolab2@gmail.com

Одними из последствий специальной военной операции по демилитаризации и денацификации территории Украины, прилегающей к границам Российской Федерации, являются тяжёлые экологические последствия, связанные с разрушением природного ландшафта, близком к состоянию коллапса – необратимой утрате биологической его продуктивности. Предстоит разработать и утвердить федеральную целевую программу по приведению территорий, где проводилась специальная военная операция, в экологически безопасное состояние, пригодное для жизни людей, а также для флоры и фауны. Реализация данной федеральной целевой программы потребует комплексного подхода, обеспечивающего восстановление нарушенных земель и их возвращение к использованию по целевому назначению. Вполне закономерно, что восстановление деградированных земель предстоит осуществлять с обязательным учётом потенциала растительно-микробных комплексов (природных или искусственно созданных) в ходе биоремедиации почвы. Совокупность теоретических и экспериментальных данных даёт основание полагать о готовности и возможности внедрения соответствующих разработок в практику биоремедиации деградированных земель.

Ключевые слова: микроорганизмы, растительно-микробные комплексы, деградация почвы, биоремедиация.

Bioremediation of technogenically degraded lands after the completion of a special military operation on the territory of new subjects of the Russian Federation

© 2023. T. Ya. Ashikhmina^{1,2}, ORCID: 0000-0003-4919-0047
L. I. Domracheva^{1,3}, ORCID: 0000-0002-7104-3337, I. P. Pogorelsky⁴, ORCID: 0000-0001-6293-7366,
A. A. Leschenko⁴, ORCID: 0000-0003-1229-503X, A. Yu. Mironina²,
V. S. Lobastov⁴, A. V. Senkin⁴,

¹Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
²Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

³Vyatka State Agrotechnological University,

133, Oktyabrskiy Prospekt, Kirov, Russia, 610017,

⁴Branch of the Federal State Budgetary Institution "48 Central Research Institute"

of the Ministry of Defense of the Russian Federation,

119, Oktyabrskiy Prospekt, Kirov, Russia, 610000,

e-mail: ecolab2@gmail.com

One of the consequences of a special military operation to demilitarize and denazify the territories of Ukraine adjacent to the borders of the Russian Federation is the severe environmental consequences associated with the destruction of the natural landscape, close to the state of collapse – the irreversible loss of its biological productivity. It is necessary to develop and approve a federal target program to bring the territories where a special military operation was carried out into an ecologically safe state suitable for human life, as well as for representatives of the flora and fauna. The implementation of this federal target program will require an integrated approach to ensure the restoration of disturbed lands and their return to use for their intended purpose. It is quite natural that the restoration of degraded lands will have to be carried out with the obligatory consideration of the potential of plant-microbial complexes (natural or artificially created) in the course of soil bioremediation. The totality of theoretical and experimental data gives grounds to believe that the relevant designs are ready and possible to be introduced into the practice of bioremediation of degraded lands.

Keywords: microorganisms, plant-microbial complexes, soil degradation, bioremediation.

Человеческая жизнь на протяжении всего своего существования на планете неотделима от природы. Во всемирно известном музыкально-поэтическом произведении Фридриха Шиллера и Людвиг ван Бетховена Ода «К радости» утверждается: «Мать природа всё живое соком радости поит, всем даёт своей рукою долю счастья без обид...» [1]. И каждый живущий на земле с незамутнённым сознанием это понимает и принимает. Во многих социологических опросах на часто задаваемый вопрос, какой бы вы хотели видеть окружающую среду, респонденты упоминали такие вещи, как чистая вода, чистый воздух, плодородная почва и высокопродуктивное сельское хозяйство, отсутствие опасных отходов и обширные нетронутые человеком пространства с богатым животным и растительным миром. Но больше всего людей волнует предсказуемое взаимоотношение с природой, чтобы можно было с уверенностью смотреть в будущее, зная, что всё перечисленное выше не деградирует и не исчезнет, а будет сохраняться, постоянно возобновляясь.

Без преувеличения можно говорить о том, что наши нынешние взаимоотношения с природой весьма далеки от устойчивости и партнёрства. В «Экологическом манифесте» [2] говорится: «Тысячелетиями мы боролись с природой, покоряли её, преобразовывали, нещадно уничтожали». Действительно, наши действия приводят к истощению и деградации природы. Данное состояние очень ёмко определил французский учёный естествоиспытатель, создатель первой эволюционной теории Жан-Батист Ламарк, который ещё в 1820 г. писал: «Можно, пожалуй, сказать, что предна-

значение человека как бы заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав земной шар непригодным для обитания» [цит. по 2]. С высоты сегодняшнего дня ясно, что природная среда, как и разнообразие биологических видов, сохранились лишь там, где они были недоступны людям для «успешного» преобразования: это суровые малопригодные для жизни земли с экстремальными для человека условиями существования. Поскольку человеческое общество превратилось в мощную природную силу, целенаправленно и необратимо преобразующую окружающую среду, возникает вопрос о тенденции таких преобразований. Относительно почвы со всей определённой можно говорить о негативной тенденции: темпы разрушения почвенного покрова значительно выше, чем скорость образования, а в некоторых странах Европы они приобрели в 70-х годах прошлого столетия угрожающие масштабы [3]. К этому следует добавить, что, согласно имеющимся данным [4], для формирования 1 см почвенного слоя требуется в зависимости от условий от 10 до 50 лет.

С сожалением приходится констатировать, что во многих странах как бы не замечают негативных тенденций воздействия человеческой деятельности, в том числе и в военной сфере, на окружающую среду. Не замечают того, что природа не вокруг нас, а в нас самих, а её беды и болезни – наши беды и болезни. Более того, политики ряда стран не желают понимать того неопровержимого факта, что однополярному миру приходит конец. Они не хотят и не могут признать того, что конфронтация как метод решения политических проблем

и способ обогащения одних за счёт других остались в историческом прошлом. Нынешний единый мир подобен организму с его органами. Любое военное противостояние опасно для всех стран и народов, разорительно для них, а потому война и угроза войны есть преступление перед всем миром, всеми людьми, нынешними и будущими поколениями [5, 6]. Сейчас даже региональные войны, отвлекая от решения экологических проблем, оказываются направленными против всего человечества, т. е. теряют локальный характер и приобретают мировое значение, подвергая опасности всё население планеты.

Цель обзора – обосновать возможность использования технологии биоремедиации, основанной на применении микробных биопрепаратов, для восстановления техногенно деградированных земель новых субъектов Российской Федерации после завершения специальной военной операции.

Объекты и методы исследования

Объектом литературного обзора является анализ возможностей и особенностей использования микроорганизмов различной видовой принадлежности естественного происхождения и созданных с использованием методов генной инженерии, а также биопрепаратов с ферментативной активностью и их консорциумов, перспективных для применения в микробной биоремедиации деградированных в ходе специальной военной операции земель. Для обзора использованы литературные источники (1979–2022 гг.) из базы данных научной электронной библиотеки, освещающей исследование отечественных и зарубежных учёных по этой тематике. Поиск источников проводили на сайте eLIBRARY.RU, а также при помощи поисковых систем Яндекс и Google по поисковым запросам: «деградация почвы», «биоремедиация», «микроорганизмы-деструкторы», «микроорганизмы-активаторы», «биокализаторы», «растительно-микробные ассоциации». На основе анализа изученных материалов определены подходы для проведения успешной биоремедиации техногенно деградированных земель.

Экологическое состояние районов проведения специальной военной операции

Военные действия в Чечне при участии коллективного Запада нанесли крупномас-

штабный, долговременный и тяжёлый ущерб лесам, плодородным земельным угодьям, пастбищам. «Зачистка природы» через уничтожение растительности и почвы стала войной против будущих поколений жителей республики [7]. История войн – это история, в том числе, уничтожения природы и экологических катастроф. Почти все военные действия всегда сопровождалась изменениями и разрушениями природной среды, приводя к экоциду и детериорации [8, 9].

Был предложен критерий оценки деградации экологических систем с использованием показателей темпов их самовосстановления, учитывающих качественно-количественное состояние и биологическую продуктивность [2]. Выделяется 6 этапов данного деструктивного процесса, начиная от естественного состояния, при котором наблюдается лишь фоновое антропогенное воздействие, и далее через равновесное, кризисное и критическое состояния к катастрофическому состоянию как труднообратимому процессу закрепления малопродуктивных экосистем, у которых биомасса и биологическая продуктивность минимальны, а затем к состоянию коллапса – необратимой утрате биологической продуктивности, когда биомасса стремится к нулю. К этому следует добавить, что в настоящее время при разработке экологической политики и социально значимых мероприятий, направленных на улучшение здоровья населения [10], также предложено использовать индекс экологического благополучия и методику его расчёта, основанную на данных официальной статистики, с использованием условной нормы, соответствующей 50% обеспеченности показателя техногенного воздействия, позволяющие объективно наметить и научно обоснованно реализовывать планируемые мероприятия.

Очевидно, что война – это не только гуманитарная катастрофа, которая уносит жизни и здоровье людей, отбрасывает назад науку и культуру, причиняет материальный ущерб. Но от военных действий не меньше страдает природа [5, 6, 9, 11]. Применение оружия XX и XXI веков в значительной степени изменяет рельеф земной поверхности. Взрывчатые вещества разрушают её и превращают в изрытую кратерами «длительно незаживающую рану земли», что нарушает экосистему, сложившуюся в конкретной местности, но ещё более тяжёлыми последствиями от боевых действий являются отравления почвы, воды и воздуха. Причиной загрязнений является боевая тех-

ника: самолёты, танки, боевые суда, оставляющие выражено негативный экологический след. Для них нет нормативов выхлопов и выбросов вредных веществ, а при затоплении техники в реках, болотах топливо и масло разливаются, образуя нефтяные «озёра».

В результате военных действий происходит угнетение флоры и фауны [5–7, 9–11]. Страдают деревья – они гибнут от взрывов снарядов, уничтожаются при расчистке территорий и возведении укреплений и переправ. Ужасы войны ощущают на себе животные [6–8, 10]. На территории, где ведутся боевые действия, гибнут тысячи живых существ. Виной этому являются пожары, взрывы, токсичные вещества, попадание пуль, осколков, тяжёлая боевая техника.

Бедствие не кончается с наступлением мира: в почве остаются мины, неразорвавшиеся авиационные бомбы и фугасы, снаряды и другие боеприпасы, которые могут напомнить о себе через несколько лет. Считается, что до 10% боеприпасов не взрываются на поле боя [6, 7]. Один из серьёзных видов экологического ущерба – материальные остатки военных действий (так называемое «эхо войны»): руины зданий, воронки от бомб и снарядов, почвенные провалы, повреждённая военная техника, бетонные блок-посты, доты, дзоты, многочисленные рвы, окопы, осколки снарядов.

Уже сейчас ясно, что разрушение природы в ходе военных действий будет иметь глубокие долговременные последствия. Важно подчеркнуть, что при любом экологическом воздействии наибольшую опасность представляют не только вновь выявленные эффекты. Гораздо больше угрожает перспектива тех существенных медленно накапливающихся изменений, которые могут происходить вследствие малоизученных химических реакций [12]. Преодоление катастрофических экологических последствий требует глубокого научного подхода, умения преодолевать такие страшные явления как эрозия, заболачивание почвы, накопление в них тяжёлых металлов и органических соединений, и других загрязнителей [9, 11, 13–15].

Ограниченность и конечность природных возможностей социально-экономического и физического развития человечества диктуют необходимость чёткого знания размеров глобальных, региональных и локальных ресурсов, крайне важных для поступательного развития человечества. Другим итогом такого знания об оскудевающих ресурсах планеты

является стремление стран коллективного Запада «освоить» ресурсы России, причём военным путём. Украина стала «антироссийским» государством, и дальнейшее расширение НАТО на восток с каждым годом становилось для России всё опаснее. России не оставили другого выбора для защиты территории и российского народа. Ситуация потребовала решительных и немедленных действий. Президент Российской Федерации В.В. Путин 24 февраля 2022 г. подписал Указ о начале специальной военной операции Вооружённых Сил на Украине, основной целью которой являлась демилитаризация и денацификация Украины. Главная задача состоит в защите жителей Донецкой народной Республики и Луганской народной Республики, Херсонской и Запорожской областей, которые на протяжении 8 лет подвергались издевательствам и геноциду со стороны киевских властей.

Экологизация реабилитационных мероприятий по обеспечению санации территории бывших боевых действий

Специальная военная операция по демилитаризации и денацификации Украины является лишь важной частью внешнеполитической стратегии Российской Федерации и предусматривает локализацию конфликта с соблюдением всех интересов России. Это, в свою очередь, предопределяет необходимость приведения в безопасное состояние присоединившихся к России территорий, мало пригодных для жизни в мирное время не только людей, животных и растений, но и многих почвенных обитателей. Данное обстоятельство служит императивом для экологизации восстановительных мероприятий, обеспечивающих эффективную санацию территорий боевых действий.

Нет сомнения в том, что будет разработана и утверждена федеральная целевая программа по приведению территорий военных действий в экологически безопасное состояние и будет разработана и утверждена технология очистки загрязнённых территорий с учётом того, что многочисленные загрязнения могут быть причиной таких последствий, как торможение почвообразовательных процессов и самоочищения почвы, значительного изменения видового состава и жизнеспособности почвенной микробиоты, накопления вредных веществ в окружающей среде, которые прямо или опосредованно могут оказывать влияние на здо-

ровые человека. Вся эта информация крайне необходима для успешного осуществления биоремедиации – комплекса мероприятий, направленных на очистку и восстановление свойств природных сред, в частности, почв, грунтов, донных осадков. При этом важно понимать, что уже нельзя будет ограничиваться только восстановлением нарушенного массива плодородных земель, созданием растительного покрова, а важно будет восстанавливать и все другие компоненты природной среды. При этом микроорганизмы, в частности, почвенная микробиота, должны рассматриваться как необходимый естественный элемент и активный участник биоремедиации [15–17]. Необходим комплексный подход, обеспечивающий восстановление деградированных земель и их возвращение в сельско-, лесохозяйственное и другое использование [8–11, 13].

Вполне закономерно, что восстановление деградированных земель немыслимо без учёта естественной (аборигенной) микробиоты, а также без интродукции специально выделенных или созданных штаммов микроорганизмов, и, таким образом, микробную биоремедиацию почвы по своей сути следует рассматривать как составную часть биотехнологии – санации деградированных земель [18, 19]. В этой связи отметим, что впервые термин «биотехнология» был предложен венгерским инженером Карлом Эрике [цит. по 18] ещё в 1917 г. в связи с изучением процесса крупномасштабного выращивания свиней. Официально термин «биотехнология» вошёл в научный оборот лишь в конце 1961 г. по предложению шведского микробиолога Карла Герена Хадена, предложившего заменить название научного журнала «Журнал микробиологической и химической инженерии и технологии» на «Биотехнология и биоинженерия» [цит. по 18]. До этого наука о важнейших микробиологических процессах, связанных с получением индустриальным способом ценных продуктов, называлась технологией или промышленной микробиологией.

В настоящее время рассматриваются три подхода для реализации потенциала биоремедиации почв с использованием микроорганизмов [16, 19]: биостимуляция (стимулирование развития аборигенной микробиоты); биодополнение (внесение в почву биопрепаратов микроорганизмов, способных к деградации загрязнителей-экоотоксикантов); фитостимуляция (использование растений с целью стимуляции развития ризосферных

микроорганизмов). Саму же биоремедиацию предваряют три этапа. Первый этап – подготовительный, включающий подготовку к работе оборудования, составление проектной и рабочей документации, подготовку бюджета. Второй этап – технический, обеспечивающий ускорение процессов физического очищения почв. На данном этапе с использованием современной техники корректируется ландшафт, т. е. засыпаются рвы, траншеи, ямы, впадины, провалы грунта, разравниваются и террасируются промышленные территории, создаются гидротехнические и мелиоративные сооружения и др. При необходимости предусматриваются мероприятия по снятию, складированию, хранению плодородного слоя почвы.

Таким образом, технический этап обеспечивает, с одной стороны, ускорение процессов физического очищения почвы, а с другой, значительно сокращает сроки разложения растительных остатков [18].

После завершения технического этапа выполняется непосредственно этап биоремедиации. При этом необходимо иметь в виду, что военные действия определённо ведутся без учёта условий функционирования экологических систем, а сами военные действия могут вызвать изменения количества и качества экологических комплексов, ведущих к замене одной экосистемы другой, которая может быть не всегда желательной. И хотя искусственные изменения экосистем вследствие военных действий нередко бывают перманентными [13, 14, 18], их глубина, не соответствующая «выносливости» самих экосистем, часто приводит к деградации последних и их неспособности к самовосстановлению и саморегуляции. Поэтому в данном случае классический подход к восстановлению деградированных экосистем с учётом экологической комплементарности составляющих экосистемы элементов, их конгруэнтности, равновесия, экологической коррекции и оптимальности в компонентной дополнении, а также частных приспособлений биоты экосистем неприемлем [2]. Такие тонкие качественные изменения структуры экосистем нельзя учесть во всей полноте на начальной стадии биоремедиации техногенно деградированных в ходе военных действий земель. Однако, опираясь на имеющиеся данные о наличии у экосистем универсальных механизмов, которые обеспечивают их потенциальную устойчивость, по-видимому, следует вначале использовать

на практике фитостимулирующий подход к реализации потенциала биоремедиации, включающий подготовку почвы, внесение удобрений и биопрепаратов, подбор трав и травосмесей и их посев, уход за посевами. Всё вместе взятое обеспечивает закрепление поверхностного слоя почвы корневой системой растений, создание сомкнутого травостоя и предотвращает развитие водной и ветровой эрозии на нарушенных землях при одновременном стимулировании развития ризосферных микроорганизмов [8, 20, 21].

Реализация потенциала биоремедиации при использовании такого подхода как биодополнение может быть осуществлена в ходе обработки почвы *in situ* путём стимулирования размножения природных микроорганизмов-деструкторов, аэрации и введения в почву питательных веществ; внесении в почву биокатализаторов на основе ферментов, суспензий или лиофилизированных бактерий-деструкторов, а также иммобилизованных ферментов и консорциумов микроорганизмов; обработки почвы иммобилизованными ферментными препаратами бактерий-деструкторов, устойчивыми к большим концентрациям экотоксикантов; внесении (интродукции) в почву биопрепаратов, сконструированных на основе специализированных микроорганизмов или микроорганизмов в составе растительно-микробных ассоциаций [8, 20, 21]. При этом, как отмечено в работе [22], микробные ассоциаты всегда находятся в выигрышном положении, поскольку их качественный и количественный состав находится в динамическом равновесии за счёт возможности использования в качестве источников питания как метаболитов, так и самих растительных клеток.

Ещё одним подходом к реализации потенциала биоремедиации является биостимуляция, основную роль в которой играют микроорганизмы аборигенной микробиоты, выделенные из мест их естественной адаптации к чужеродным агентам. Это имеет принципиальное значение, поскольку согласно принципу Р. Риклефса [23]: эффективность сообщества макро- и микроорганизмов и его стабильность возрастают прямо пропорционально той степени, в которой составляющие её популяции в процессе эволюции адаптировались друг к другу. В этой связи биоремедиация имеет свои особенности. Так, микроорганизмы не должны быть экологически чужеродными, но должны быть экологически безопасными, непатогенными, генетически однородными (в плане стабильности генов биодеструкции

экотоксикантов), совместимыми друг с другом и с почвенными микроорганизмами, а также обладать такими важными свойствами, как способность элиминации из экосистемы при полной деградации субстрата биодеструкции. Элиминация микроорганизмов-деструкторов из экосистемы имеет существенное значение для предотвращения процесса «депривации» микробного сообщества, которая обычно происходит на фоне интенсивного размножения интродуцированных видов организмов, что приводит к исчезновению или видоизменению экологических ниш функционально близких видов, создавая предпосылки сохранения их численности, или наоборот, их массового размножения. В настоящее время разработана технология получения биопрепарата на основе микроорганизмов аборигенной микробиоты, находящихся в составе биопрепарата в лиофилизированном состоянии. В ходе санации и рекультивации загрязнённых почв могут быть использованы различные технологии, в том числе биотехнологические методы. Так, выполнен комплекс исследований, связанных с оценкой возможности создания новой формы двухкомпонентного биопрепарата, объединяющего бактерии *Pseudomonas fluorescens* ЕК-5-93 и *P. putida* ЕК-8-4 – эффективных деструкторов фосфорорганических соединений и углеводов нефти с клубеньковыми бактериями *Rhizobium loti*, семенами нефетолерантного бобового растения лядвенца рогатого *Lotus corniculatus*, а также с бактериями штамма-деструктора экотоксикантов *P. delhiensis* В-11400 в составе растительно-микробной ассоциации. Двухкомпонентный биопрепарат в новой форме с расширенным спектром деградативной активности биосовместимых, экологически безопасных микроорганизмов природного происхождения в ассоциации с семенами бобового растения в результате синергидного эффекта входящих в его состав биологически активных компонентов может быть использован для санации территории [24]. Технология позволяет получать биопрепарат в короткие сроки. Микроорганизмы-деструкторы в составе биопрепарата находятся в лиофилизированном состоянии, но своей жизнеспособности не теряют. Восстановив свою жизнеспособность после интродукции в почву, они способны в результате биосовместимости взаимодействовать с почвенной микробиотой, оказывая на неё синергидный эффект, и, таким образом, содействовать активизации так называемым «экогеноэлементам» экосистем [2].

Заключение

Человек как биологическое существо генетически приспособлен к тем условиям жизни, которые существовали в период его первоначальной эволюции. Эти условия в корне меняются в ходе военных действий, а генетическая адаптация к новым условиям существования не может произойти быстро. Создающиеся экстремальные условия существования являются результатом глубокого дисбаланса в системе окружающая среда – генетика человека. Закономерно, что восстановление экологического статуса техногенно деградированных земель является экологическим императивом. И только при восстановлении и устойчивом функционировании деградированных земель могут сложиться определённые специфические отношения между человеком, животными и растениями, а также микробными сообществами, определяемые многими биотическими и абиотическими факторами. Данное обстоятельство обуславливает необходимость использования технологии биоремедиации деградированных в ходе военных действий земель. И это как раз тот случай, когда логика намерений соответствует логике обстоятельств. На сегодняшний день целесообразно применять для биоремедиации почвы, основанной на использовании метаболитического потенциала живых организмов, относящихся как к аборигенной микрофлоре, обитающей в подлежащей санации почве, так и создаваемым в лабораторных условиях микроорганизмам рода *Escherichia*, *Pseudomonas*, обеспечивающих биосинтез специфических ферментов – деструкторов поллютантов и экотоксикантов, а также биопрепаратов на основе растительно-микробных ассоциаций бактерий *Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp., бобового растения *L. corniculatus* и растительно-микробных комплексов на основе бактерий антагонистов в сочетании с ростстимуляторами и биодеструкторами.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 1220401000325.

Литература

- Schiller F. An die Freude. Ода «К радости». Перевод на русский [Электронный ресурс] lyricstranslate.com/ru/die-frende-oda-k-radost.html (Дата обращения: 19.10.2022).
- Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Журнал «Россия молодая», 1994. 367 с.
- Heigerer H. Landwirtschaft und umweltbelastung // Schriften Agrar wiss, Fachbereichs Univ. Kill. 1979. No. 51. P. 290–304.
- Belgibayev M.E. On the maximum permissible value of soil deflation // Прогрессивные направления проектирования, строительства и эксплуатации мелиоративных систем в условиях Сибири: Тезисы докладов республиканского семинара. Красноярск, 1978. С. 252–254.
- The environmental consequences of war: legal, economic, and scientific perspectives / Eds. J.E. Austin, C.E. Bruch. Cambridge University Press, 2000. 712 p.
- Brauer J. War and nature: the environmental consequences of war in a globalized world. Lanham: AltaMira Press, 2009. 233 p.
- Зонн С.В., Зонн И.С. Экологические последствия военных операций в Чечне [Электронный ресурс] https://portales.ru/modules/Warcraft/rus_readme.php?subaction=showfull&id=1096300781&archive=777&start_from=&ucat=& (Дата обращения: 19.10.2022).
- Евдокимова Г.А. Почвенная микробиота как фактор устойчивости почв к загрязнению // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 2. С. 17–24.
- Гаджиева С.Р., Алиева Т.И., Велиева З.Т., Ализаде Б.Ф., Гаджиева Х.Ф. Война и экология. Конфликт между природой и человеком в период военного столкновения [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/voyna-i-ekologiya-konflikt-mezhdu-prirodoy-i-chelovekom-v-period-voennyh-stolknoveniy> (Дата обращения: 19.10.2022).
- Минкина А.В., Двинских С.А., Зуева Т.В. Подход к разработке интегрального индекса экологической безопасности территорий // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 235–240.
- Рамад Ф. Основы прикладной экологии: Воздействие человека на природу. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 544 с.
- Янковская А.А., Филимонов И.В., Завьялова Н.В., Голипад А.Н., Ковтун В.А. Экологически безопасная биоремедиация почвы и очистка воды *in situ* от продуктов деструкции отравляющих веществ // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 4. С. 89–95.
- Григоров С.И., Родионов А.С. Военная экология и экологическое обеспечение Вооружённых сил Российской Федерации // Военная мысль. 1994. № 2. С. 44–50.
- Экология. Военная экология / Под ред. В.И. Исакова. М.–Смоленск: ИД Камертон-Маджента, 2006. 724 с.
- Schacht O., Kennet A. Soil bioremediation: *in-situ* vs *ex-situ* (Costs, Benefits and Effects). WSP and Göteborg Energi, 2002. 77 p.
- Лещенко А.А., Погорельский И.П., Ашихмина Т.Я., Лундовских И.А., Дармов И.В., Янов С.Н., Лазыкин А.Г., Шабалина М.Р., Устюжанин И.А., Шаров С.А., Рыч-

ков Г.М. Микробная биотехнология рекультивации почвы для санирования и устойчивого функционирования техногенной экосистемы // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 4. С. 54–64.

17. Лещенко А.А., Погорельский И.П., Кучеренко А.С. Перспективы внедрения биотехнологий для поддержания экологического статуса пунктов постоянной дислокации Вооружённых сил Российской Федерации // Военная мысль. 2020. № 11. С. 96–101.

18. Егоров Н.С. Микробная биотехнология: становление и состояние // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2012. № 1. С. 47–50.

19. Биоремедиация [Электронный ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F> (Дата обращения: 19.10.2022).

20. Munro N.B., Talmage S.S., Griffin G.D., Waters L.C., Watson A.P., King J.F., Hauschidi V. The source, fate and toxicity of chemical warfare agents degradation products // Research Review. 1999. V. 107. No. 12. P. 933–974.

21. Домрачева Л.И., Скугорева С.Г., Ковина А.Л., Коротких А.И., Стариков В.А., Ашихмина Т.Я. Специфика растительно-микробных комплексов при антропогенном загрязнении почвы (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 14–25.

22. Haldar S., Sengupta S. Microbial ecology at rizo-sphere: bioengineering and future prospective // Plant microbe interaction: an approach to sustainable agriculture / Eds. D. Choudhary, A. Varma, N. Tuteja. Singapore: Springer, 2016. P. 63–96.

23. Риклефс Р. Основы общей экологии / Под ред. Н.Н. Каргашева. М.: Мир, 1979. 424 с.

24. Лазыкин А.Г., Лещенко А.А., Ашихмина Т.Я., Погорельский И.П., Дармов И.В., Лундовских И.А., Устюжанин И.А., Шаров С.А. Оценка возможности использования растительно-микробных ассоциаций при рекультивировании почвы на объекте «Марадыковский» // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 4. С. 96–104.

References

1. Schiller F. An die Freude [Internet resource] <https://lyricstranslate.com/ru/die-freude-oda-k-radosti.html> (Accessed: 19.10.2023) (in German and in Russian).

2. Reymers N.F. Ecology. Moskva: Rossiya molodaya, 1994. 367 p. (in Russian).

3. Heigerer H. Landwirtschaft und umweltbelastung // Schriften Agrar wiss, Fachbereichs Univ. Kill. 1979. No. 51. P. 290–304 (in German).

4. Belgibayev M.E. On the maximum permissible value of soil deflation // Progressive directions of design, construction and operation of reclamation systems in Siberia: Tezisy dokladov respublikanskogo seminar. Krasnoyarsk, 1978. P. 252–254 (in Russian).

5. The environmental consequences of war: legal, economic, and scientific perspectives / Eds. J.E. Austin, C.E. Bruch. Cambridge University Press, 2000. 712 p.

6. Brauer J. War and nature: the environmental consequences of war in a globalized world. Lanham: AltaMira Press, 2009. 233 p.

7. Zonn S.V., Zonn I.S. Environmental consequences of military operations in Chechnya [Internet resource] https://portalus.ru/modules/warcraft/rus_readme.php?subaction=showfull&id=1096300781&archive=777&start_from=&ucat=& (Accessed: 19.10.2022) (in Russian).

8. Evdokimova G.A. Soil microbiota as a factor in soil resistance to pollution // Theoretical and Applied Ecology. 2014. No. 2. P. 17–24 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2014-2-017-024

9. Gadzhieva S.R., Alieva T.I., Velieva Z.T., Alizade B.F., Gadzhieva H.F. War and ecology. The conflict between nature and man during a military clash [Internet resource] <https://cyberleninka.ru/article/n/voyna-i-ekologiya-konflikt-mezhdu-prirodoy-i-chelovekom-v-period-voennyh-stolknoveniy> (Accessed: 19.10.2022) (in Russian).

10. Minkina A.V., Dvinskikh S.A., Zueva T.V. An approach to the development of an integral index of ecological well-being of the territory // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 3. P. 235–240 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-235-240

11. Ramad F. Fundamentals of applied ecology: Human impact on nature. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981. 544 p. (in Russian).

12. Yankovskaya A.A., Filimonov I.V., Zavyalova N.V., Golipad A.N., Kovtun V.A. Ecologically safe bioremediation of soil and water purification *in situ* from chemical warfare agents destruction products // Theoretical and Applied Ecology. 2016. No. 4. P. 89–95 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2016-4-089-095

13. Grigorov S.I., Rodionov A.S. Military ecology and environmental support of the Armed Forces of the Russian Federation // Voyennaya mysl. 1994. No. 2. P. 44–50 (in Russian).

14. Ecology. Military ecology / Ed. V.I. Isakov. Moskva–Smolensk: ID Kamerton-Madzhenta, 2006. 724 p (in Russian).

15. Schacht O., Kennet A. Soil bioremediation: *in-situ* vs *ex-situ* (Costs, Benefits and Effects). WSP and Göteborg Energi, 2002. 77 p.

16. Leshchenko A.A., Pogorelsky I.P., Ashikhmina T.Ya., Lundovskikh I.A., Darmov I.V., Yanov S.N., Lazыкин A.G., Shabalina M.R., Ustyuzhanin I.A., Sharov S.A., Rychkov G.M. Microbial biotechnology of soil remediation for sanitation and sustainable functioning of the technogenic ecosystem // Theoretical and Applied Ecology. 2017. No. 4. P. 54–64 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2017-4-054-065

17. Leshchenko A.A., Pogorelsky I.P., Kucherenko A.S. Prospects for the introduction of biotechnologies to maintain the ecological status of the points of permanent deployment of the Armed Forces of the Russian Federation // Voyennaya mysl. 2020. No. 11. P. 96–101 (in Russian).

18. Egorov N.S. Microbial biotechnology: formation and status // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16. Biologiya. 2012. No. 1. P. 47–50 (in Russian).
19. Bioremediation [Internet resource] <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F> (Accessed: 19.10.2022) (in Russian).
20. Munro N.B., Talmage S.S., Griffin G.D., Waters L.C., Watson A.P., King J.F., Hauschild V. The source, fate and toxicity of chemical warfare agents degradation products // Research Review. 1999. V. 107. No. 12. P. 933–974.
21. Domracheva L.I., Skugoreva S.G., Kovina A.L., Korotkikh A.I., Starikov P.A., Ashikhmina T.Ya. Specificity of plant-microbial complexes under anthropogenic soil pollution (review) // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 3. P. 14–25 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-014-025
22. Haldar S., Sengupta S. Microbial ecology at rhizosphere: bioengineering and future prospective // Plant microbe interaction: an approach to sustainable agriculture / Eds. D. Choudhary, A. Varma, N. Tuteja. Singapore: Springer, 2016. P. 63–96. doi: 10/1007/978-981-10-2854-0_4
23. Ricklefs R. Fundamentals of general ecology / Ed. N.N. Kartashev. Moskva: Mir, 1979. 424 p. (in Russian).
24. Lazykin A.G., Leshchenko A.A., Ashikhmina T.Ya., Pogorelsky I.P., Darmov I.V., Lundovskikh I.A., Ustyuzhanin I.A., Sharov S.A. Assessment of the possibility of using plant-microbial associations in biotechnology of soil remediation at the facility “Maradykovskiy” // Theoretical and Applied Ecology. 2016. No. 4. P. 96–104 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2016-4-096-104

Памяти И. П. Погорельского

Иван Петрович Погорельский (1948–2023) – доктор медицинских наук, профессор, полковник медицинской службы был активным автором практически с момента создания журнала «Теоретическая и прикладная экология», большим другом нашей редколлегии.

Талантливый учёный, высококвалифицированный специалист в области изучения генетики возбудителей инфекционных заболеваний, он принимал участие в разработке средств профилактики, диагностики и лечения особо опасных инфекций.

Его опыт, как авторитетного учёного-микробиолога, был востребован при выполнении Федеральных целевых программ «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации» и «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации». По тематике научной деятельности им подготовлено и опубликовано более 200 научных работ и патентов.

Более 20 лет Иван Петрович занимался преподавательской деятельностью на кафедре микробиологии Вятского государственного университета. Великолепный лектор, он передавал свои знания студентам многих поколений Вятского государственного университета, являясь одним из самых авторитетных и знающих преподавателей, руководил более 50 дипломными проектами выпускников университета. Под его руководством успешно защитили диссертационные работы более 10 соискателей, став кандидатами наук.

Выдержанный, доброжелательный, эрудированный Иван Петрович пользовался большим уважением коллег по работе, любовью всех, кто был с ним рядом. Его отличали сердечность и приветливость, чуткость и отзывчивость, доброта и доброжелательность, интеллигентность, постоянная готовность прийти на помощь в любом деле.

Мы в нашей редакции всегда ждали прихода Ивана Петровича с его глубоко научными статьями, с его интереснейшими рассказами о новостях науки. Иван Петрович Погорельский относился к тем людям, которые делают жизнь ярче и краше.

В нашей памяти навсегда останется этот прекрасный человек, надёжный друг и выдающийся учёный, вся жизнь которого была посвящена служению России.

*Редколлегия журнала
«Теоретическая и прикладная экология»*