

Адаптация микробных биотехнологий ремедиации почв к реальным объектам санации

© 2014. С. А. Шаров¹, начальник, отдела охраны окружающей среды,
Т. Я. Ашихмина^{2,3}, д.т.н., зав.кафедрой, зав. лабораторией,
¹Объект по хранению и уничтожению химического оружия
«Марадыковский», Кировская область,
²Вятский государственный гуманитарный университет,
³Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
e-mail: sharky2007.doost@mail.ru, ecolab2@gmail.com

Широкое применение фосфорсодержащих веществ в различных отраслях хозяйственной деятельности приводит к всё большему загрязнению окружающей среды соединениями техногенного фосфора. Отмечено, что одним из потенциальных поллютантов, подлежащих санации после деятельности объектов уничтожения химического оружия, являются фосфорсодержащие соединения. Поэтому изучение путей миграции их в компонентах природной среды и механизмов биodeградации вызывает большой интерес и является актуальным исследованием.

В статье представлен обзор работ по биodeградации фосфорсодержащих веществ, отмечены штаммы микроорганизмов, способные к разрыву связи С-Р. Рассмотрена необходимость проведения дополнительных исследований по изучению способности бактерий к биodeградации фосфорсодержащих веществ в присутствии тяжёлых металлов.

Widespread use of phosphorus-containing materials in various sectors of economic activity increases the effect of polluting the environment with technogenic phosphorus compounds. It is noted that one of the potential pollutants, subject to rehabilitation after the chemical weapons destruction plants' work is represented by phosphorus-containing compounds. Thus the study of their migration routes in the components of the natural environment and mechanisms of biodegradation is of great interest and its study is topical.

The article presents a review of researching biodegradation of phosphorus-containing materials. Microorganisms strains capable of breaking the C-P linking are marked. A need for additional studies of bacteria's ability to biodegrade phosphorus-containing compounds with heavy metals is discussed.

Ключевые слова: ремедиация, санация, биodeградация, фосфорсодержащие вещества,
биотехнологии, штаммы-деструкторы.

Keywords: remediation, rehabilitation, biodegradation, phosphorus-containing substances,
biotechnology, strains-destructors.

В настоящее время происходит повсеместное загрязнение окружающей среды фосфорсодержащими веществами (ФВ), находящими широкое применение в различных отраслях хозяйственной деятельности человека, так как они входят в состав гербицидов, инсектицидов, ингибиторов коррозии, пламегасителей, антибиотиков, ПАВ, мыломоющих соединений, полимерных добавок к сырью, фосфорорганических отравляющих веществ и продуктов их нейтрализации.

Основное накопление загрязнителей происходит в почвенном слое. Почва является уникальной биосистемой и сложно переоценить экологическую значимость почвенного покрова, т. к. почвы выполняют ряд важнейших экологических функций и являются важнейшим сорбционно-химическим барьером на

пути миграции поллютантов из атмосферы в грунтовые воды и речную сеть [1].

В рамках ведущихся разработок по ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и объектов по уничтожению химического оружия, проводится множество исследований, направленных на поиск экономически оправданных, экологически приемлемых, эффективных способов санации почв на территориях, расположенных в непосредственной близости от объектов. Порядка 80% запасов отравляющих веществ в Российской Федерации представлены фосфорорганическими отравляющими веществами. Уничтожение данного типа веществ в рамках ФЦП «Уничтожение запасов химического оружия в РФ» проводится на 5 из 7 объектов УХО [2]. Таким образом, одним из потенциальных поллютантов, подлежащих санации

после деятельности объектов уничтожения химического оружия, являются фосфорсодержащие соединения.

В настоящее время многие научные разработки в области избирательной ремедиации почв от конкретных поллютантов ведутся с использованием микробных биотехнологий. Проведены исследования [3], в результате которых из почв с многолетним загрязнением органофосфонатами выделены новые эффективные штаммы-деструкторы глифосата и метилфосфоновой кислоты. Создана коллекция бактерий-деструкторов, способных разрушать разные типы С-Р связи, которые могут использоваться для создания технологий очистки объектов окружающей среды от органофосфатов различной структуры. Микроорганизмы, отобранные для внесения в почву, не патогенны для теплокровных животных, не обладают фито- и интегральной токсичностью и могут использоваться в процессе биоремедиации без ограничений. Разработаны способы улучшения деструктивных свойств штаммов микроорганизмов, выделенных из окружающей среды.

Из активного ила станции очистки сточных вод выделены 4 новых штамма микроорганизмов, которые активно используют в качестве единственного источника потребления фосфора изопропиловый эфир метилфосфоновой кислоты, тем самым могут участвовать в очищении почвенного слоя при ликвидации последствий деятельности объектов хранения и уничтожения химического оружия [4].

Исследование деградации гербицида глифосата бактериями *Pseudomonas* и *Proteus* показано, что они обладают способностью к биodeградации фосфонометилглицина и других фосфонатов и также могут использоваться для ремедиации почв от ФВ [5].

Авторами исследования [6] рассматривается использование штамма *P. fluorescens* EK-5-93, проявляющего в присутствии органических кислот С-Р лиазную активность, характеризующуюся расщеплением углерод-фосфорной связи. Штамм способен к накоплению биомассы в процессе культивирования и обладает другими необходимыми свойствами для его использования при переработке остаточных количеств реакционных масс, образующихся при утилизации ФОС.

Исследования по деградации ФВ микроорганизмами, естественно, не ограничиваются только рассмотренными работами. В настоящее время, что очень актуально, использование биологических методов ремедиации

почв, загрязнённых ФВ рассматривается российскими и зарубежными специалистами в качестве главной альтернативы физическим и химическим методам.

Однако все имеющиеся разработки в данной области проводятся в «идеальных» условиях, нацеленных на исключение мешающих факторов. Максимальный акцент в исследованиях по применению микроорганизмов направлен на разложение целевой группы поллютантов, без учёта воздействия других токсикантов, сезонности, климатических условий региона. Таким образом, при адаптации полученных знаний в области применения микроорганизмов для деградации ФВ в природных условиях необходимы дополнительные исследования по изучению процессов разложения ФВ в присутствии наиболее широко распространённых поллютантов водной и почвенной среды.

Примером поллютантов, способных оказывать существенное влияние на численность, видовой состав и жизнедеятельность почвенной биоты, а, следовательно, и способность микроорганизмов к разложению ФВ, являются тяжёлые металлы (ТМ) [7]. ТМ составляют значительную долю загрязнителей окружающей среды и по токсичности занимают второе место после пестицидов. Однажды попав в биогеохимический цикл, они крайне редко и медленно покидают его [8]. Специфика воздействия ТМ на различные группы микроорганизмов и степень их токсичности зависят от вида металла, его концентрации и типа почвы. Например, под влиянием промышленного и транспортного загрязнения ТМ изменяется структура комплексов почвенных грибов: снижается богатство выделяемых видов, изменяется их встречаемость и в результате разнообразие комплексов грибов уменьшается. Упрощение структуры микробных комплексов при высоких дозах ТМ происходит за счёт уменьшения числа редко встречаемых видов, и в сильно загрязнённых почвах может сохраниться лишь несколько доминантных форм [9].

Степень угнетения жизнедеятельности микробоценоза зависит также от физиолого-биохимических свойств конкретных металлов, загрязняющих почву. Свинец отрицательно влияет на биотическую деятельность в почве, ингибируя активность ферментов, уменьшая интенсивность выделения диоксида углерода, снижает численность микроорганизмов, вызывает нарушения метаболизма микроорганизмов, особенно процессов дыхания и клеточного деления. Ионы кадмия в концентрации 12 мг/кг

нарушают фиксацию атмосферного азота, а также изменяют процессы аммонификации, нитрификации и денитрификации. Наиболее подвержены воздействию кадмия грибы, причём некоторые виды после попадания металла в почву полностью исчезают. Избыток цинка в почвах затрудняет ферментацию разложения целлюлозы, дыхание микроорганизмов, действие уреазы и т. д., вследствие чего нарушаются процессы преобразования органического вещества в почвах. Кроме того, токсичное влияние ТМ зависит от набора металлов и их взаимного воздействия [10].

Таким образом, наличие в почвах соединений ТМ с высокими значениями концентраций может привести к снижению показателей биохимической активности или гибели почвенных микроорганизмов, нацеленных на разложение ФВ.

Изучение деградации ФВ микроорганизмами является перспективным научным направлением. Отличительной особенностью данной технологии является экологическая безопасность процессов биоремедиации, высокая специфичность микробной деструкции, отсутствие токсичных продуктов разложения. Однако необходимы дополнительные исследования по изучению поведения бактерий в присутствии таких поллютантов, как ТМ, что позволит провести селекцию микроорганизмов, предназначенных для разложения ФВ в соответствии с конкретными условиями применения.

Литература

1. Приваленко В.В., Безуглова О.С. Экологические проблемы антропогенных ландшафтов Ростовской области. Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. 288 с.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 21.03.96. № 305 (ред. от 09.12.10) Об

утверждении федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации».

3. Шушкова Т.В. Биодеструкция глифосата почвенными бактериями: дис. ...канд. биол. наук: 03.01.06: защищена 2010 г. – Пущино, 2010 г. – 128 с.

4. Кравцов И.С., Янов С.Н., Дармов И.В., Ковтун А.Л. Выделение из окружающей среды микроорганизмов, способных разлагать фосфонаты // ВИНТИ РАН, ФГУП «ЦНИИХМ» Химическая и биологическая безопасность, 2006. № 6. С. 3-6.

5. Бакулин М.К., Овсянников Ю.С., Туманов А.С., Бакулин В.М. Деградация гербицида глифосата бактериями родов *pseudomonas* и *proteus* // Биологические науки. Фундаментальные исследования. Киров. 2014. № 8. С. 1377–1382.

6. Стяжкин К.К., Петров С.В., Туманов А.С., Завьялова Н.В., Воробьёв К.А., Тетерин В.В., Погорельский И.П., Лещенко А.А., Лазыкин А.Г., Менухова В.С. Биопрепарат для ремедиации почвы в пределах зоны защитных мероприятий объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 4. С. 41–48.

7. Луковникова Л.В. Металлы в окружающей среде, проблемы мониторинга / Л.В. Луковникова, А.Д. Фролова, М.П. Чекунова // Эфферентная терапия. Т. 10, 2004. С. 74–79.

8. Шилов В.В. Токсикология свинца / В.В. Шилов, Е.В. Полозова, А.С. Богачева, Н.М. Фролова // Пособие для врачей. СПб: Издательство Политехнического университета. 2010. С. 4–5.

9. Жигарева Т.Л., Ратников А.Н., Свириденко Д.Г., Попова Г.Л., Петров К.В., Касьяненко А.А., Черных Н.А. Изучение взаимодействия Cd и Zn с почвенно-поглощающим комплексом и их действия на почвенный микробоценоз // Сб. Вып. 9. Калуга: АНО КНЦ, 2006. С. 268–278.

10. Алексеев Ю.В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях. Л.: 1987. 365 с.

11. Марфенина О. Е. Микробиологические аспекты охраны почв. М.: Изд-во МГУ, 1991. 118 с.