

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА КАК
КОМПОНЕНТА ЭКОБИОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ
ПОЧВЫ
СОЕДИНЕНИЯМИ МЫШЬЯКА**

**И.М. Янников, В.А. Алексеев, Т.Л. Зубко,
Н.В. Козловская, А.И. Панов**

*Главное управление МЧС России по Удмуртской Республике,
ГОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет», г. Ижевск*

Рецензент Н.С. Попов

Ключевые слова и фразы: биомониторинг; лазерное излучение; облучение саженцев; схема ремедиации территорий; трансформация мышьяка; фиторемедиация; экологический полигон.

Аннотация: Рассмотрены новые подходы к совершенствованию существующих систем организации экологического мониторинга объектов по хранению и уничтожению химического оружия. Предложено применение экологического полигона. Экспериментально подтверждено положительное влияние лазерного облучения на жизнеспособность и развитие растений, подвергшихся воздействию соединений содержащих мышьяк.

В январе 1993 года Российская Федерация подписала «Конвенцию о запрещении разработки производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении» (Париж, 13.01.1993). В соответствии с требованием Конвенции, Российская Федерация сосредоточила на этом направлении усилия ведущих научных школ, ученых и инженеров-практиков, осуществивших за последние годы глубокую теоретическую и практическую проработку вопросов создания комплексных систем безопасности объектов уничтожения химического оружия (**ОУХО**).

Основное требование к проектируемым системам мониторинга состоит в обеспечении требуемой достоверности контроля (вероятности обнаружения) загрязняющих веществ в зонах техногенного влияния объектов, выявления объективной (выраженной в количественных показателях) оценки окружающей среды [1, 4]. Для мониторинга химически опасного объекта оперативность получения данных имеет первостепенное значение, что исключает проведение подробного анализа биообъектов на всей территории. При этом необходимо учитывать поправки на компенсационные и адаптационные механизмы биообъектов, а также допускать возможность тестовой проверки антропогенного воздействия на биообъект и отклика объекта на данное воздействие. Для решения указанных выше проблем целесообразно создание в зоне влияния ОУХО идентификационного полигона, с помощью которого возможно моделировать различные сценарии на объекте в реальных условиях с определением зависимостей «доза – эффект» и «время – реакция». С помощью данного полигона возможно не только изучение трансформации экологических и эколого-социальных систем, но и разработка схем, систем и конкретных технологий ремедиации и рекультивации земель, подвергшихся трансформации по каждому конкретному поллютанту [3–7].

Для Удмуртской Республики проблема распространения и влияния на окружающую среду мышьяка и его соединений является весьма актуальной в связи с размещением на его территории объектов по уничтожению и хранению химического оружия, в том числе люизита, продуктом трансформации которого являются мышьякорганические соединения.

Фиторемедиация (способ очистки окружающей среды при помощи растений) таит в себе огромный потенциал по очистке загрязненной мышьяком почвы. После того как растения абсорбируют токсичные вещества, они накапливают их в своей надземной части. Таким образом, большая часть мышьяка, ранее находившаяся в почве, может быть удалена путем скашивания таких растений.

Принципиальная схема ремедиации территорий выглядит следующим образом:

- посев семян фитомелиорантов в начале вегетации (весной);
- скашивание в конце вегетации (в начале осени);
- утилизация насыщенной мышьяком фитомассы, с возможным выделением чистого мышьяка (компостирование, сбраживание).

Очищенная биомасса может быть использована в качестве органического удобрения [2, 3, 7].

Объединенной межведомственной рабочей группой Главного управления МЧС России по Удмуртской Республике и Ижевского государственного технического университета в рамках научно-исследовательской тематики ГУ МЧС РФ по УР с 2005 года проводятся лабораторные и полевые эксперименты по совершенствованию существующих систем организации экологического мониторинга объектов по хранению и уничтожению химического оружия на всех стадиях: проектирования, строительства, эксплуатации и конверсии ОУХО.

Общей целью всех производимых экспериментов являются оценка и прогноз влияния химически опасных объектов на окружающую среду. Суть экспериментов заключается в обработке сценариев развития чрезвычайных ситуаций на объекте путем моделирования влияния выбросов на биоту.

В ходе исследований на идентификационном полигоне выявлены виды растений, устойчивые к мышьяковистому загрязнителю, то есть накапливающие в тканях мышьяк без нарушения жизненно важных функций организма. Эти виды перспективны в качестве фитомелиорантов на этапе конверсии объекта по уничтожению химического оружия [2, 3, 7].

Использование идентификационного полигона позволит контролировать параметры влияния химически опасного объекта на всех этапах производственного цикла – в ходе строительства, эксплуатации и конверсии.

Фактически появляется механизм определения масштабов воздействия ОУХО на окружающую среду, позволяющий определить масштабы конверсионных мероприятий при выводе ОУХО из эксплуатации, что, в свою очередь, позволит значительно повысить экологическую безопасность в Российской Федерации [1, 2].

Критерием выбора направленности эксперимента, целью которого являлась оценка действия гелий-неонового лазера на рост и развитие растений при мышьяковистом загрязнении послужили уникальные свойства лазерного луча (монохроматичность, энергия и мощность, направленность и когерентность излучения, возможность получения сверхкоротких длительностей импульсов и перестройки частоты во всем диапазоне от ультрафиолетовой до инфракрасной областей спектра).

Мышьяксодержащие органические соединения в почве трансформируются до неорганических арсенатов (H_3AsO_4) и арсенитов (H_3AsO_3), поэтому для моделирования мышьяковистого загрязнения был использован водный раствор арсенита кальция $Ca_3(AsO_3)_2$ различных концентраций.

Эксперимент №1. Главной целью проведенного эксперимента было изучение свойств лазерного излучения как биопротектора (длина волны 0,63 мкм, длительность облучения одного образца 30 с). Для проведения экспериментальных исследований выбраны общепринятые методики проведения экологических экспериментов. В ходе эксперимента велись наблюдения за реакцией *Allium cepa L.* на присутствие мышьяка в растворе в разных концентрациях. Эксперимент проводился в 5 вариантах концентрации мышьяка – контроль (0 мг/л), 10, 30, 50, 100 мг/л в лабораторных фарфоровых стаканах емкостью 250 мл, в трехкратной повторности.

Ярко выраженный эффект воздействия лазера наблюдался на образцах с высоким содержанием арсенита кальция. Подвергавшиеся облучению растения имели более длительный срок жизнедеятельности, чем их соседи, не имеющие такой привилегии! Эти образцы эффективнее восстанавливались и меньше подвергались некрозу тканей. Таким образом, было подтверждено положительное влияние гелий-неонового лазера.

Эксперимент №2. Для проведения исследований брались модельные ветви тополя (*Populus sp.*) как одного из наиболее устойчивого к антропогенному прессу древесных растений. Опыт проводился в соответствии с общепринятыми методиками проведения экологических экспериментов. Для моделирования мышьяковистого загрязнения использован водный раствор арсенита кальция $Ca_3(AsO_3)_2$, кратный фоновым значениям Φ для Удмуртии, в четырехкратной повторности для каждой концентрации. Периодически проводилось облучение образцов гелий-неоновым лазером ЛГН-207А №1063 мощностью 1,8 мВт, длина волны 0,63 мкм, измеритель мощности ИМ 1-1 №11-84; характеристики лазера не изменялись.

Через неделю после начала эксперимента у 10 % листьев появились ярко-желтые пятна и деформации контура в виде ожога, у 8 % начался некроз от центральной жилки. Понизился общий тонус растений, начали подсыхать верхушки.

На десятый день наблюдался ярко выраженный ромбовидный некроз тканей от центральной жилки на всех концентрациях (10-40Ф, где Ф – значение фоновой концентрации). Процент ожоговых деформаций увеличился. На 30Ф появились новые почки для листьев и корней одновременно и новые корневые образования, наблюдалось нарушение апикального доминирования (начинали развиваться боковые почки). Усыхание ветвей шло с верхушки, увеличилась кривизна веток по сравнению с контролем. Через 12 дней после закладки эксперимента 2/3 модельных ветвей были облучены гелий-неоновым лазером. Через 4 дня после облучения наблюдалось снятие общего стресса, восстановление хлорофилла на малых концентрациях от центральной жилки, на больших концентрациях – пятнами по листовой пластинке. Появились листовые почки. Наблюдалась полиферация на стволе – как компенсация воздействия.

У некоторых образцов идет возобновление функций (оживание стволов с верхушки). Хотелось бы отметить, что на третью неделю эксперимента после повторного облучения происходит обновление корневой системы, и как факт – пролиферация почек на частях модельных ветвей, находящихся в водном растворе (рис. 1, 2).

Также одним из важных аспектов исследования явилось то, что подобная система применима ко многим видам растений. В случае выбора древесных пород для рекультивации территорий можно с уверенностью заявить, что облученные саженцы справятся с этой задачей с наименьшими проблемами.

Таким образом, экспериментально подтверждено положительное влияние лазерного облучения на жизнеспособность и развитие растений, подвергшихся воздействию мышьяксодержащих соединений, что без сомнения позволит использовать данный метод для повышения эффективности фиторемедиации загрязненных территорий в ходе эксплуатации и конверсии химически опасных объектов, в том числе ОУХО.



Рис. 1. Проллиферация верхушечных почек модельных ветвей



Рис. 2. Проллиферация боковых почек модельных ветвей

Список литературы

1. Габричидзе, Т.Г. Когда в регионе химически опасный объект / Т.Г. Габричидзе, И.М. Янников, Т.Л. Зубко // Гражданская защита. – 2007. – №2. – С. 28–29.
2. Янников, И.М. Анализ методов организации флористического мониторинга вокруг химически опасных объектов / И.М. Янников // Вест. ИжГТУ. – 2007. – № 2. – С. 135–138.
3. Янников, И.М. Выявление спектра травянистых растений перспективных в качестве фитомелиорантов при загрязнении почвы мышьяковистыми соединениями / И.М. Янников, Т.Г. Габричидзе, Т.Л. Зубко, Н.В. Козловская // Вест. ИжГТУ. – 2007. – № 2. – С. 138–140.
4. Янников, И.М. Структура и принцип построения комплексной системы безопасности критически важного потенциально опасного объекта / И.М. Янников, Т.Г. Габричидзе // Теорет. и приклад. экология. – 2007. – № 2. – С. 55–69.
5. Янников, И.М. Новые подходы к организации мониторинга объектов по хранению и уничтожению химического оружия / И.М. Янников // Вест. МЧС Удмуртской Республики. – 2008. – № 2(010). – С. 24–27.

6. Янников, И.М. Экологический полигон как база оперативного мониторинга объектов по хранению и уничтожению химического оружия / И.М. Янников, Н.В. Козловская // Вест. Министерства по делам ГО и ЧС Удмуртской Республики. – 2007. – № 4. – С. 37–38.

7. Янников, И.М. Трансформация почвенно-растительного покрова под влиянием мышьяксодержащих соединений и возможность мониторинга / И.М. Янников, Т.Г. Габричидзе, Т.Л. Зубко, Н.В. Козловская // Интеллектуальные системы в производстве. – 2007. – №2(8). – С. 203–207.

Estimation of Helium-Neon Laser Efficiency as Ecobioprotective Systems Component under Soil Pollution with Arsenic Compounds

I.M. Yannikov, V.A. Alekseev, T.L. Zubko, N.V. Kozlovskaya, A.I. Panov

Central Administrative Board of Emergency Control Ministry of the Udmurtia Republic, Izhevsk State Technical University, Izhevsk

Key words and phrases: bio-monitoring; laser radiation; young plants irradiation; territory remediation scheme; arsenictransformation; phytoremediation; ecological range.

Abstract: The paper considers new approaches to the improvement of the existing systems of organization of ecological monitoring of objects of chemical weapons storage and termination.

The application of ecological range is offered. The positive effect of laser irradiation on the viability and development of plants subjected to the influence of arsenic compounds is experimentally verified.

© И.М. Янников, В.А. Алексеев, Т.Л. Зубко,
Н.В. Козловская, А.И. Панов, 2009