

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ ДЕТОКСИКАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ИПРИТНО-ЛЮИЗИТНОЙ СМЕСЬЮ

Жариков Г.А.¹, Крайнова О.А.¹, Дядищева В.П.¹, Карабашев С.Г.²,

¹ Научно-исследовательский центр токсикологии и гигиенической регламентации биопрепаратов – филиал ФГБУ «Государственный научный центр «Институт иммунологии» Федерального медико-биологического агентства (НИИЦ ТБП), Московская область, Серпуховский городской округ, п. Большевик, ул. Ленина 102А, тел./факс (4967) 39-97-38, E-mail: zharikov@toxicbio.ru

² ООО «Компания «БНТ», 119234, г. Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 75 А, комн.3, irina@naftobioclean.ru

Резюме. В лабораторных условиях на базе Объекта по уничтожению химического оружия (п. Леонидовка Пензенской обл.) оценена эффективность детоксикации почв, загрязненных ипритом и люизитом, с использованием ассоциации 2 штаммов микроорганизмов-деструкторов *Pseudomonas putida* Y-21 и *Rhodococcus erythropolis* 8D. Установлено, что иприт гидролизует в почве на тиодигликоль в первый же день после внесения. Показано разложение тиодигликоля, обусловленное деятельностью микроорганизмов-деструкторов. Выявлено снижение концентрации люизита в почве в вариантах с 10 и 100 ПДК, вызванное деятельностью микроорганизмов-деструкторов. Внесение семян овса в загрязненную почву оказывает стимулирующее действие на микроорганизмы-деструкторы. Установлено, что интегральная токсичность загрязненной почвы в ходе эксперимента значительно снижается.

Ключевые слова: биоремедиация почвы, иприт, люизит, микроорганизмы-деструкторы, токсичность.

STUDYING THE POSSIBILITY OF USING MICROORGANISMS FOR DETOXICATION OF SOILS CONTAMINATED WITH AN MUSTARD-LEWIS MIXTURE

Zharikov G.A.¹, Krainova O.A.¹, Dyadisheva V.P.¹, Karabashev S.G.²,

State research center Institute of immunology

Abstract. In laboratory conditions, on the basis of the Chemical Weapons Destruction Facility (Leonidovka, Penza Region), the effectiveness of detoxification of soils contaminated with mustard and lewisite was evaluated using an association of 2 strains of *Pseudomonas putida* Y-21 and *Rhodococcus erythropolis* 8D destructive microorganisms. It has been established that mustard gas is hydrolyzed in the soil to thiodiglycol on the first day after application. The

decomposition of thiodiglycol due to the activity of microorganisms-destructors is shown. The decomposition of thiodiglycol due to the activity of microorganisms-destructors is shown. A decrease in the concentration of lewisite in the soil was revealed in the variants with 10 and 100 MPC caused by the activity of microorganisms-destructors. The introduction of oat seeds into contaminated soil has a stimulating effect on microorganisms-destructors. It was found that the integrated toxicity of contaminated soil during the experiment is significantly reduced.

Key words: soil bioremediation, mustard gas, lewisite, microorganisms-destructors, toxicity.

Введение.

Во многих странах мира имеются значительные запасы отравляющих веществ (ОВ), хранящиеся десятилетиями. В соответствии с Международной конвенцией о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и его уничтожении, в России проводятся работы по ликвидации химического оружия.

Одной из важнейших экологических проблем является детоксикация и восстановление территорий, которые могут быть загрязнены отравляющими веществами и продуктами их деструкции в местах хранения, транспортировки и уничтожения в результате возможных утечек, аварийных выбросов и т.д. Попадая в окружающую среду, ОВ в силу своей токсичности и биоустойчивости длительное время сохраняются в ней и оказывают губительное действие на все живое. Из-за своей высокой химической активности ОВ реагируют с различными компонентами почвы в присутствии грунтовой воды. При этом в почве образуются слаботоксичные продукты их разложения. Однако эти процессы идут очень медленно, и почва остается загрязненной десятилетия.

В настоящее время наряду с физико-химическими способами разрабатываются биологические подходы биоремедиации почв с использованием микроорганизмов-деструкторов и растительно-микробных ассоциаций. Для детоксикации микробную биомассу вносят "*in situ*" в загрязненную почву. Для удаления из почвы соединений мышьяка, вместе с микроорганизмами-деструкторами используют специально подобранные виды растений. Для этой цели применяют культурные растения: сою, сорго, клевер, рожь, ячмень и др. Затем растения скашивают и сжигают [1 - 15].

Однако, такие исследования, судя по доступной нам литературе, носят эпизодический характер. Поэтому актуальность таких работ не вызывает сомнений.

Материалы и методы

В ходе многолетних лабораторных исследований в НИЦ ТБП из загрязненных почвенных проб были выделены микроорганизмы, способные осуществлять полную или частичную деструкцию иприта и люизита, проведен отбор наиболее эффективных штаммов. В результате проведения комплекса лабораторных и микроделяночных полевых исследований была получена ассоциация из 2 штаммов микроорганизмов-деструкторов *Pseudomonas putida* Y21 и *Rhodococcus erythropolis* 8D, способная разлагать в почве тиодигликоль и монохлортиодигликоль, рисунок 1.



Рисунок 1 – Совместный рост микроорганизмов 2 штаммов на питательной среде

Оценку безопасности штаммов проводили на базе виварного комплекса НИЦ ТБП, аттестованного на соответствие требованиям GLP, на лабораторных линиях белых мышей и белых крыс по наиболее строгим критериям, принятым в международной практике для оценки безопасности штаммов микроорганизмов-продуцентов лекарственных препаратов. Проведенными токсикологическими исследованиями было установлено отсутствие патогенных свойств у этих микроорганизмов, что позволяет их использовать без ограничений при проведении работ по биоремедиации почв. Штаммы микроорганизмов-деструкторов иприта *Ps. putida* Y-21 (рег. #B-9450) и *Rh. erythropolis* 8D (рег.#Ac-1733) депонированы во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов на международном отделении (г. Москва).

На технологию биоремедиации почв и ассоциацию микроорганизмов-деструкторов оформлена Международная патентная заявка PCT/RU 2007/000192. Биотехнология экологически безопасна, обладает низкой трудоемкостью и сохраняет плодородие почв.

В 2014 г. на базе Объекта по уничтожению химического оружия (п. Леонидовка Пензенской обл.) проводились лабораторные эксперименты по изучению возможности детоксикации почвы, загрязненной ипритно-люизитно-мышьяковой смесью, при помощи

микроорганизмов и растений. Для проведения исследований использовали образцы почвы с площадки мониторинга объекта «Леонидовка». Почва характеризуется как светло-серая лесная супесчаная, маломощная.

В соответствии с «Программой исследований по оценке эффективности биоремедиации почв, загрязненных отравляющими веществами кожно-нарывного действия и продуктами их деструкции», утвержденной начальником Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия В.П.Капашиним, были подготовлены 13 модельных образцов почв с заданными параметрами. Эксперименты проводили в стеклянных эксикаторах. В эксикаторы внесли по 3 кг почвы и увлажнили до 80 ± 5 % от предельной влагоемкости.

В почву последовательно внесли иприт, люизит и мышьяк в дозах 10, 100 и 500 ПДК. Достижение требуемого уровня заражения модельных образцов почвы было подтверждено химико-аналитическими исследованиями в Научно-исследовательской лаборатории войсковой части объекта «Леонидовка».

На следующие сутки после заражения в почву внесли микробную суспензию в различных концентрациях.

Химико-аналитические исследования по определению содержания загрязнителей (иприт, люизит, мышьяк, тиодигликоль) проводили после заражения образцов почвы, непосредственно после внесения биодеструкторов и через 14 и 30 суток эксперимента. Для сравнения полученных результатов использовались контрольные (не имеющие биодеструкторов) модельные образцы почв.

Химико-аналитические исследования по определению содержания иприта в почве проводили по аттестованной методике МВИ № 031-03-233-07 «Методика выполнения измерений содержания иприта в почвах газохроматографическим методом с применением пламенно-фотометрического детектора». Пределы относительной погрешности измерений методики $\pm 28\%$.

Анализ поведения иприта в модельных образцах почвы показал, что иприт в диапазоне концентраций 10 и 100 ПДК в ходе естественных процессов разлагается (окисляется, гидролизуются) в почве в первый же день после внесения. Продуктом деструкции иприта является тиодигликоль, содержание которого также контролировали в почве. Определение содержания тиодигликоля в почве проводили по методике МВИ № 031-03-216-06 «Методика выполнения измерений содержания тиодигликоля в пробах почвы газохроматографическим методом с пламенно-фотометрическим

детектированием». Пределы измерения методики от 1,0 до 200,0 мг/кг. Пределы относительной погрешности измерений методики $\pm 32\%$.

Химико-аналитические исследования по определению содержания люизита в почве проводили по методике МВИ № 031-03-167-05 «Методика выполнения измерений содержания люизита в почве газохроматографическим методом с пламенно-ионизационным детектированием». Пределы относительной погрешности измерений методики $\pm 30\%$.

Химико-аналитические исследования по определению содержания мышьяка в модельных образцах почвы проводили по методике МВИ № 031-03-177-05 «Методика выполнения измерений содержания мышьяка в почве и материалах строительных конструкций фотометрическим методом». Пределы относительной погрешности измерений методики $\pm 22\%$.

Интегральную (суммарную) токсичность водных вытяжек из почвы оценивали на лабораторной культуре пресноводного рачка *Daphnia magna*, культивируемой в НИЦ ТБП. Биотестирование проводили в соответствии с ФР.1.39.2001.00283 «Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний» и ПНД ФТ 14.1:2:4.12-06 16.1:2:3.9-06 «Методика определения токсичности водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов, питьевой, сточной и природной воды по смертности тест-объекта *Daphnia magna Straus*». Метод основан на определении изменений выживаемости дафний при воздействии токсических веществ, содержащихся в тестируемой воде, по сравнению с контролем в течение срока испытаний. Критерием токсичности является достоверное отличие от контроля выживаемости дафний. При гибели 50% и более дафний вода считается токсичной. Результаты биотестирования считали правильными, если гибель дафний в контроле не превышала 10% в течение 3 суток (срок наблюдения).

Результаты исследований.

В рамках выполнения исследований были выполнены следующие задачи:

- 1) подготовлены модельные образцы почв;
- 2) определено фоновое содержание иприта, люизита, мышьяка и тиодигликоля в образцах почв;
- 3) проведено заражение образцов почвы веществами ипритом, люизитом и мышьяком в установленных программой исследования концентрациях;
- 4) в почвенные образцы внесена суспензия микроорганизмов-деструкторов;

5) отобраны и проанализированы пробы на фактическое содержание иприта, тиодигликоля, люизита и мышьяка в ходе эксперимента;

6) проведено изучение численности микроорганизмов-деструкторов в ходе эксперимента;

7) изучена интегральная токсичность почвенных проб до и после обработки микроорганизмами.

Для исследований были подготовлены 13 модельных образцов из расчета: 9 основных вариантов экспериментальных проб и 4 контрольных варианта согласно таблице 1.

Таблица 1 – Основные варианты экспериментальных проб

№	Основной вариант	Количество загрязняющих веществ, иприт/люизит/мышьяк
1	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10^6 к/мл	10 ПДК/10 ПДК/10 ПДК
2	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10^6 к/мл	100 ПДК/100 ПДК/100 ПДК
3	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10^6 к/мл	500 ПДК/500 ПДК/500 ПДК
4	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10^7 мк/мл	10 ПДК/10 ПДК/10 ПДК
5	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10^7 мк/мл	100 ПДК/100 ПДК/100 ПДК
6	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10^7 мк/мл	500 ПДК/500 ПДК/500 ПДК
7	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10^7 мк/мл + семена овса	10 ПДК/10 ПДК/10 ПДК
8	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10^7 мк/мл + семена овса	100 ПДК/100 ПДК/100 ПДК
9	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10^7 мк/мл + семена овса	500 ПДК/500 ПДК/500 ПДК
10	Почва (контроль)	10 ПДК/10 ПДК/10 ПДК
11	Почва (контроль)	100 ПДК/100 ПДК/100 ПДК
12	Почва (контроль)	500 ПДК/500 ПДК/500 ПДК
13	Почва чистая (контроль)	без загрязняющих веществ

1. На этапе подготовки почвы экспериментальным путем была определена полная влагоёмкость подготовленной почвы, значение которой использовалось для последующего создания в образцах почв влажности 85 %. В эксикаторах проводили увлажнение почвы до установленной влажности, фиксируя массу каждого эксикатора. В дальнейшем в течение эксперимента влажность почвенных образцов поддерживали путем полива водопроводной водой до первоначального веса.

2. Определение фонового содержания иприта, люизита, мышьяка и тиодигликоля в образцах почв.

Перед загрязнением модельных образцов почвы было определено фоновое содержание иприта, люизита, мышьяка и тиодигликоля. Содержание иприта, люизита и

тиодигликоля в образцах не обнаружено, фоновое содержание мышьяка составило 2,08 мг/кг (1 ПДК).

3. Заражение модельных образцов почв веществами иприт, люизит и мышьяк.

Расчетным путем была определена концентрация вносимых ОБ (иприта и люизита) и мышьяка в соответствии с заданными уровнями ПДК (10, 100, 500). В качестве растворителей были использованы гексан и ацетон. Соответствующие значения ПДК КНОВ и мышьяка представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения ПДК КНОВ и мышьяка

Значение ПДК	Иприт	Люизит	Мышьяк
ПДК (мг/кг)	0,05	0,1	2

Результаты расчета концентраций загрязняющих веществ для вносимого в образцы почвы раствора представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные значения концентраций КНОВ и мышьяка в расчете на 3 кг почвы

ПДК	Концентрации КНОВ и мышьяка для создания необходимых ПДК, мг/мл		
	Иприт	Люизит	Арсенит мышьяка, в пересчете на мышьяк
10 ПДК	0,03	0,06	0,00208
100 ПДК	0,3	0,6	0,0208
500 ПДК	1,5	3	1,104

Перед экспериментом почву увлажнили до 85% от полной влагоемкости. Заражение почвенных образцов производили поочередным внесением водных растворов мышьяка, иприта и люизита. После внесения каждого загрязнителя почву тщательно перемешивали.

4. Анализ на фактическое содержание иприта, люизита и мышьяка в модельных почвенных образцах.

Отбор образцов почвы на анализ производили до и после внесения микроорганизмов. Проба из каждого модельного образца усреднялась, проводилась пробоподготовка и анализ на фактическое содержание загрязнителей в соответствии с программой.

4.1 Определение содержания иприта в модельных образцах почв

В соответствии с «Методикой выполнения измерений содержания иприта в почвах газохроматографическим методом с применением пламенно-фотометрического детектора» (№ 031-03-233-07) определено содержание иприта в образцах почв до и после внесения микроорганизмов (таблицы 4, 5).

Таблица 4 - Результаты анализа содержания иприта в модельных образцах почвы до внесения микроорганизмов

№ п/п	Шифр пробы	Масса пробы	Содержание люизита в пробе, мг/кг		Среднее значение, мг/кг	ПДК почвы
			1 измерение	2 измерение		
1	1/10	10,01	Ниже предела обнаружения методики измерений			
2	2/100	10,00	$2,58 \cdot 10^{-2}$	$2,62 \cdot 10^{-2}$	$2,60 \cdot 10^{-2}$	0,52
3	3/500	10,01	$1,92 \cdot 10^{-1}$	$1,97 \cdot 10^{-1}$	$1,95 \cdot 10^{-1}$	3,90
4	4/10	10,00	Ниже предела обнаружения методики измерений			
5	5/100	10,02	$2,67 \cdot 10^{-2}$	$2,61 \cdot 10^{-2}$	$2,64 \cdot 10^{-2}$	0,53
6	6/500	10,00	$2,22 \cdot 10^{-1}$	$2,34 \cdot 10^{-1}$	$2,28 \cdot 10^{-1}$	4,56
7	7/10	10,01	Ниже предела обнаружения методики измерений			
8	8/100	10,00	$2,51 \cdot 10^{-2}$	$2,59 \cdot 10^{-2}$	$2,55 \cdot 10^{-2}$	0,51
9	9/500	10,01	$1,78 \cdot 10^{-1}$	$1,69 \cdot 10^{-1}$	$1,74 \cdot 10^{-1}$	3,48
10	10/10к	10,00	Ниже предела обнаружения методики измерений			
11	11/100к	10,01	$2,52 \cdot 10^{-2}$	$2,53 \cdot 10^{-2}$	$2,53 \cdot 10^{-2}$	0,51
12	12/500к	10,01	$2,65 \cdot 10^{-1}$	$2,61 \cdot 10^{-1}$	$2,63 \cdot 10^{-1}$	5,26

Таблица 5 - Результаты исследований содержания иприта в модельных образцах почвы после внесения микроорганизмов

№ п/п	Шифр пробы	Масса пробы	Содержание люизита в пробе, мг/кг		Среднее значение, мг/кг	ПДК почвы
			1 измерение	2 измерение		
1	1/10м	10,00	Ниже предела обнаружения методики измерений			
2	2/100м	10,01	$2,54 \cdot 10^{-2}$	$2,57 \cdot 10^{-2}$	$2,56 \cdot 10^{-2}$	0,51
3	3/500м	10,00	$1,91 \cdot 10^{-1}$	$1,94 \cdot 10^{-1}$	$1,93 \cdot 10^{-1}$	3,86
4	4/10м	10,00	Ниже предела обнаружения методики измерений			
5	5/100м	10,00	$2,59 \cdot 10^{-2}$	$2,67 \cdot 10^{-2}$	$2,63 \cdot 10^{-2}$	0,53
6	6/500м	10,01	$2,10 \cdot 10^{-1}$	$2,16 \cdot 10^{-1}$	$2,13 \cdot 10^{-1}$	4,26
7	7/10м	10,00	Ниже предела обнаружения методики измерений			
8	8/100м	10,00	$2,47 \cdot 10^{-2}$	$2,42 \cdot 10^{-2}$	$2,45 \cdot 10^{-2}$	0,49
9	9/500м	10,00	$1,62 \cdot 10^{-1}$	$1,79 \cdot 10^{-1}$	$1,71 \cdot 10^{-1}$	3,42
10	10/10к2	10,00	Ниже предела обнаружения методики измерений			
11	11/100к2	10,00	$2,38 \cdot 10^{-2}$	$2,41 \cdot 10^{-2}$	$2,40 \cdot 10^{-2}$	0,48
12	12/500к2	10,00	$2,51 \cdot 10^{-1}$	$2,45 \cdot 10^{-1}$	$2,48 \cdot 10^{-1}$	4,96

4.2 Определение содержания люизита в модельных образцах почвы.

В соответствии с «Методикой выполнения измерений содержания люизита в почве газохроматографическим методом с пламенно-ионизационным детекторированием» (№ 031-

03-167-05) определено содержание люизита в образцах почвы до и после внесения микроорганизмов (таблицы 6, 7).

Таблица 6 - Результаты анализа содержания люизита в модельных образцах почвы до внесения микроорганизмов

№ п/п	Шифр пробы	Масса пробы	Содержание люизита в пробе, мг/кг		Среднее значение, мг/кг	ПДК почвы
			1 измерение	2 измерение		
1	1/10	1,50	0,77	0,85	0,81	8,1
2	2/100	1,50	7,51	6,63	7,07	70,7
3	3/500	1,58	55,20	48,31	51,76	517,6
4	4/10	1,54	0,95	1,13	1,04	10,4
5	5/100	1,50	8,83	9,35	9,09	90,9
6	6/500	1,52	58,37	43,11	50,74	507,4
7	7/10	1,50	1,11	1,20	1,16	11,6
8	8/100	1,50	8,93	9,82	9,38	93,8
9	9/500	1,52	51,31	46,12	48,71	487,1
10	10/10к	1,60	0,84	0,90	0,87	8,7
11	11/100к	1,50	9,11	8,97	9,04	90,4
12	12/500к	1,50	51,22	49,30	50,26	502,6

Таблица 7 - Результаты исследований содержания люизита в модельных образцах почвы после внесения микроорганизмов

№ п/п	Шифр пробы	Масса пробы	Содержание люизита в пробе, мг/кг		Среднее значение, мг/кг	ПДК почвы
			1 измерение	2 измерение		
1	1/10м	1,50	0,69	0,73	0,71	7,1
2	2/100м	1,52	7,08	6,20	6,64	66,4
3	3/500м	1,57	42,02	50,14	46,08	460,8
4	4/10м	1,50	0,83	0,79	0,81	8,1
5	5/100м	1,50	7,76	8,21	7,99	79,9
6	6/500м	1,50	40,20	48,55	44,38	443,8
7	7/10м	1,53	0,83	0,97	0,90	9,0
8	8/100м	1,58	7,63	8,02	7,82	78,2
9	9/500м	1,50	48,01	44,43	46,22	462,2
10	10/10к2	1,50	0,69	0,75	0,72	7,2
11	11/100к2	1,50	8,22	7,77	8,00	80,0
12	12/500к2	1,50	47,02	44,18	45,60	456,0

4.3 Определение содержания мышьяка в модельных образцах почвы.

В ходе подготовки к проведению эксперимента по определению содержания мышьяка в почве, была установлена градуировочная характеристика спектрофотометра LEKI в соответствии с методикой МВИ 031-03-177-05. С использованием данной

градуировочной характеристики были получены результаты анализа проб до и после внесения биодеструкторов (таблицы 8, 9).

Таблица 8 - Результаты анализа содержания мышьяка в модельных образцах почвы до внесения биодеструкторов

№ пп	Шифр пробы	Содержание мышьяка, мг/кг	ПДК почвы
1	Фоновое значение	4,16	2,08
2	1/10	12,98	6,49
3	2/100	122,00	61,00
4	3/500	312,87	156,43
5	4/10	11,63	5,81
6	5/100	120,62	60,31
7	6/500	325,24	162,62
8	7/10	13,08	6,54
9	8/100	134,44	67,22
10	9/500	482,59	241,29
11	10/10к	13,10	6,55
12	11/100к	129,39	64,69
13	12/500к	510,36	255,18

Таблица 9 - Результаты анализа содержания мышьяка в модельных образцах почвы, с внесенными биодеструкторами

№ пп	Шифр пробы	Содержание мышьяка, мг/кг	ПДК почвы
1	1/10м	13,59	6,79
2	2/100м	126,16	63,08
3	3/500м	316,13	158,06
4	4/10м	12,10	6,05
5	5/100м	117,81	58,90
6	6/500м	319,63	159,81
7	7/10м	13,40	6,70
8	8/100м	135,28	67,64
9	9/500м	491,80	245,90
10	12/500м	497,39	248,69
11	10/10к	14,76	7,38
12	11/100к	130,76	65,38
13	12/500к	497,39	248,69

5. Внесение штаммов микроорганизмов-деструкторов в почву проводили методом полива по поверхности с последующим перемешиванием. В вариантах №№ 7, 8, 9 после внесения микроорганизмов в почву были добавлены (в проделанные бороздки) предварительно замоченные в течение 1 суток семена овса.

6. Оценка интегральной токсичности модельных образцов почвы биотестированием на дафниях.

Почва для проведения экспериментов была отобрана в санитарной зоне объекта «Леонидовка», просушена, просеяна и усреднена. Результаты предварительного биотестирования показали, что почва не токсична, таблица 10.

Таблица 10 – Оценка острой интегральной токсичности почвы в районе объекта «Леонидовка»

Повторность	Количество выживших дафний		Смертность дафний, в % к контролю	Оценка качества почвы
	в контроле	в опыте		
1	10	10	0	Не токсична
2	10	10	0	
3	10	10	0	

Изучение острой интегральной токсичности модельных образцов почвы, зараженных ипритом, люизитом и мышьяком в различных концентрациях, показало их высокую токсичность. Гибель дафний в водных вытяжках из загрязненных почв составляла 100%.

Изучение интегральной токсичности образцов почвы после лабораторного эксперимента (биотестирование на дафниях) показало, что ассоциация микроорганизмов-деструкторов активно разлагает иприт (тиодигликоль) и люизит. При этом почва с внесенными 10 и 100 ПДК ОВ становится через 30 суток эксперимента не токсичной, а токсичность почвы с 500 ПДК ОВ снижается, таблица 11.

Таблица 11 - Острая интегральная токсичность образцов почвы после лабораторного эксперимента, биотестированием на дафниях

№	Вариант опыта	Количество загрязняющих веществ иприт/ люизит/мышьяк	Количество выживших дафний, экз.		Смертность дафний в опыте, в % к контролю	Оценка качества образцов почвы
			в контроле	в опыте		
1	Почва + ассоциация микроорганизмов в 10^6 к/мл	10 ПДК /10ПДК /10ПДК	30	27	10	не токсична
2	Почва + ассоциация микроорганизмов в 10^6 к/мл	100 ПДК/100ПДК/100ПДК	30	21	30	не токсична
3	Почва + ассоциация микроорганизмов в 10^6 к/мл	500 ПДК/500ПДК/500ПДК	30	0	100	токсична

4	Почва + ассоциация микроорганизмо в 10^7 к/мл	10 ПДК /10ПДК /10ПДК	30	23	23	не токсична
5	Почва + ассоциация микроорганизмо в 10^7 к/мл	100 ПДК/100ПДК/100ПДК	30	13	57	токсична
6	Почва + ассоциация микроорганизмо в 10^7 к/мл	500 ПДК/500ПДК/500ПДК	30	0	100	токсична
7	Почва + ассоциация микроорганизмо в 10^7 к/мл +семена овса	10 ПДК /10ПДК /10ПДК	30	30	0	не токсична
8	Почва + ассоциация микроорганизмо в 10^7 к/мл +семена овса	100 ПДК/100ПДК/100ПДК	30	27	10	не токсична
9	Почва + ассоциация микроорганизмо в 10^7 к/мл +семена овса	500 ПДК/500ПДК/500ПДК	30	0	100	токсична
10	Почва (контроль)	10 ПДК /10ПДК /10ПДК	30	30	0	не токсична
11	Почва (контроль)	100 ПДК/100ПДК/100ПДК	30	8	73	токсична
12	Почва (контроль)	500 ПДК/500ПДК/500ПДК	30	0	100	токсична
13	Почва незагрязненная	-	30	30	0	не токсична
14	Вода (контроль)	Чистая вода (отстоянная)	30	30	0	не токсична

7. Изучение содержания ОВ в модельных образцах почвы в ходе эксперимента.

По результатам химико-аналитического анализа, представленным в таблицах 12- 14, можно заключить, что заражение модельных образцов почвы ипритом, люизитом и мышьяком было проведено в необходимых концентрациях.

Как видно из таблицы 12, иприт после внесения в модельные образцы почвы подвергся моментальной деструкции.

Таблица 12 – Изменение содержания иприта в модельных образцах почвы в ходе эксперимента

№ п/п	Шифр пробы	Содержание иприта, мг/кг	Отношение измеренной концентрации иприта к ПДК почвы
-------	------------	--------------------------	--

		1 день	14 день	30 день	1 день	14 день	30 день
1	1/10	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	< 1	< 1	< 1
2	2/100	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	< 1	< 1	< 1
3	3/500	$1,93 \cdot 10^{-1}$	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	3,86	< 1	< 1
4	4/10	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	< 1	< 1	< 1
5	5/100	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	< 1	< 1	< 1
6	6/500	$2,13 \cdot 10^{-1}$	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	4,26	< 1	< 1
7	7/10	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	< 1	< 1	< 1
8	8/100	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	< 1	< 1	< 1
9	9/500	$1,71 \cdot 10^{-1}$	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	3,42	< 1	< 1
10	10/10к	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	< 1	< 1	< 1
11	11/100к	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	< 1	< 1	< 1
12	12/500к	$2,48 \cdot 10^{-1}$	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	4,96	< 1	< 1

В связи со способностью иприта к быстрому гидролизу в почве, были проведены дополнительные исследования содержания в модельных образцах почвы тиодигликоля, как продукта деструкции иприта. Определение содержания тиодигликоля в почве проводили по «Методике выполнения измерений содержания тиодигликоля в пробах почвы газохроматографическим методом с пламенно-фотометрическим детектированием» МВИ № 031-03-216-06. Содержание тиодигликоля в модельных образцах почвы определяли на 20-й и 30-й день эксперимента (таблица 13).

Таблица 13 – Изменение содержания тиодигликоля в модельных образцах почвы в ходе эксперимента

№ п/п	Шифр пробы	Содержание тиодигликоля, мг/кг	
		20 день	30 день

1	1/10	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения
2	2/100	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения
3	3/500	0,67	0,15
4	4/10	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения
5	5/100	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения
6	6/500	0,90	0,17
7	7/10	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения
8	8/100	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения
9	9/500	0,73	0,19
10	10/10к	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения
11	11/100к	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения
12	12/500к	0,61	0,15

Используя значения количества вносимого в почву иприта, можно расчетным путем оценить возможное содержание тиодигликоля в почве. Так при внесении в образцы почвы иприта в концентрации 0,5 мг/кг (варианты 1/10, 4/10, 7/10, 10/10к) можно ожидать максимально возможную концентрацию тиодигликоля 0,4 мг/кг, при концентрации иприта 5 мг/кг (варианты 2/100, 5/100, 8/100, 11/100к) – 3,8 мг/кг, при 25 мг/кг (варианты 3/500, 6/500, 9/500, 12/500к) – 19,2 мг/кг.

Однако результаты химического анализа показывают, что тиодигликоль в почве на 20-й и 30-й день эксперимента обнаруживается только в вариантах 3/500, 6/500, 9/500, 12/500к, где его фактическое содержание значительно меньше расчетного максимально возможного значения. Также отмечается достоверное ($p > 0,95$) снижение концентрации тиодигликоля на 30-й день по сравнению с 20-м днем эксперимента. Поэтому можно утверждать, что тиодигликоль, образовавшийся в процессе гидролиза иприта, подвергается затем активному разложению микроорганизмами-деструкторами.

Результаты химического анализа содержания люизита в модельных почвенных образцах представлены в таблице 14. Среди значений снижения концентрации люизита в почве на 30 день максимальным является 26,67 % (вариант 7/10 – микроорганизмы 10^7 +овес), а минимальным 1,41 % (вариант 1/10- микроорганизмы 10^6).

Таблица 14 – Изменение содержания люизита в модельных образцах почвы в ходе эксперимента

№ п/п	Шифр пробы	Содержание люизита, мг/кг			Отношение измеренной концентрации люизита к ПДК		
		1 день	14 день	30 день	почвы		
		1 день	14 день	30 день	1 день	14 день	30 день

1	1/10	0,71	0,79	0,70	7,1	7,9	7,0
2	2/100	6,64	6,97	6,20	66,4	69,7	62,0
3	3/500	46,08	46,35	36,90	460,8	463,5	369,0
4	4/10	0,81	0,58	0,66	8,1	5,8	6,6
5	5/100	7,99	7,42	6,84	79,9	74,2	68,4
6	6/500	44,38	44,4	37,00	443,8	444,0	370,0
7	7/10	0,90	0,5	0,66	9,0	5,0	6,6
8	8/100	7,82	7,93	6,77	78,2	79,3	67,7
9	9/500	46,22	45,41	38,95	462,2	454,1	389,5
10	10/10к	0,72	0,61	0,68	7,2	6,15	6,8
11	11/100к	8,00	8,65	6,93	80,0	86,5	69,3
12	12/500к	45,60	45,95	36,2	456,0	459,5	362,0

Наиболее показательно микробиологическое разложение люизита выявлено в концентрации 100 ПДК, где степень деструкции зависела от концентрации внесенных микроорганизмов, рисунок 2.

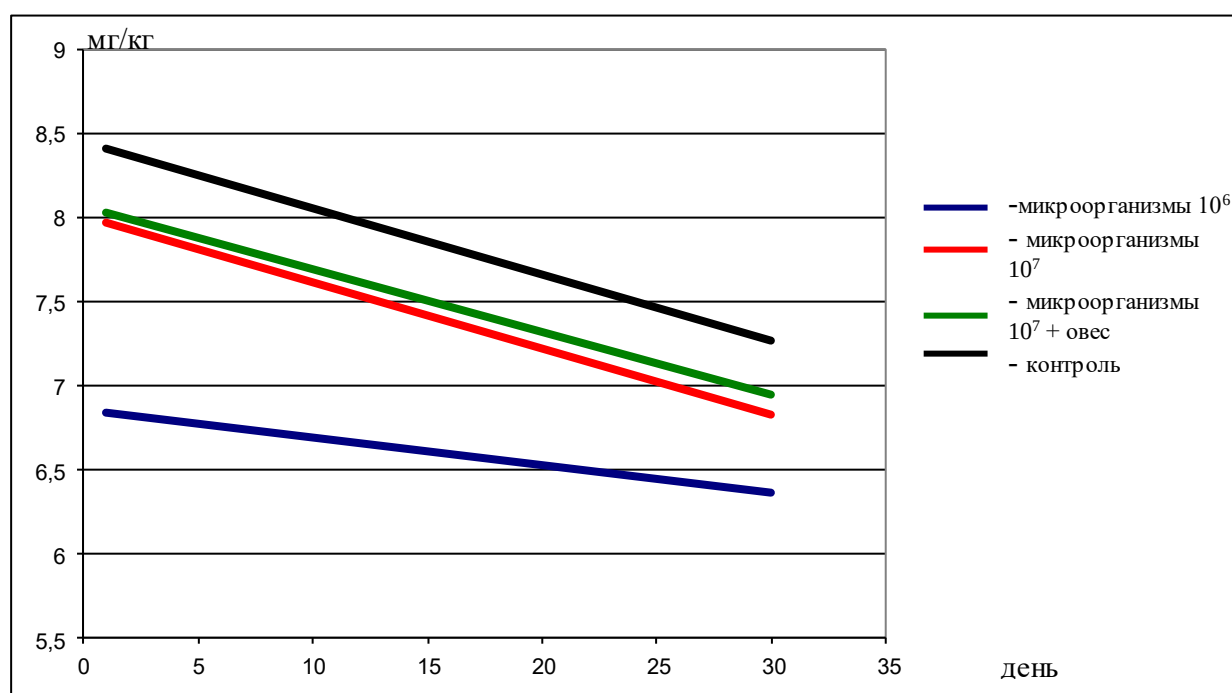


Рисунок 2 - Изменение содержания люизита в модельных образцах почвы с внесенной концентрацией загрязнителей 100 ПДК

Характеристика случайной погрешности измерений содержания мышьяка в модельных образцах почвы, как для основных, так и для контрольных вариантов находится ниже предела повторяемости методики измерения, таблица 15. Поэтому можно заключить, что содержание мышьяка во всех модельных образцах почвы достоверно ($p >$

0,95) не изменялось в ходе эксперимента. Естественно, что микроорганизмы не могут разлагать мышьяк, но он оказывает токсическое действие на бактериальные клетки, снижая их биологическую активность.

Таблица 15 – Изменение содержания мышьяка в модельных образцах почвы в ходе эксперимента

№ п/п	Шифр пробы	Содержание мышьяка, мг/кг			Отношение измеренной концентрации мышьяка к ПДК почвы		
		1 день	14 день	30 день	1 день	14 день	30 день
1	1/10	25,54	24,01	23,85	12,77	12,00	11,92
2	2/100	233,37	250,04	249,40	116,68	125,02	124,70
3	3/500	612,61	634,97	621,45	306,30	317,48	310,72
4	4/10	22,14	23,41	23,61	11,07	11,70	11,80
5	5/100	214,32	219,05	226,40	107,16	109,53	113,20
6	6/500	619,39	629,00	624,16	309,69	314,50	312,08
7	7/10	25,14	24,89	25,11	12,57	12,45	12,55
8	8/100	254,95	244,59	244,25	127,47	122,30	122,12
9	9/500	1 012,71	993,75	1 002,50	506,35	496,88	501,25
10	10/10к	28,19	26,54	26,75	14,09	13,27	13,37
11	11/100к	224,25	262,32	261,20	122,19	131,16	130,60
12	12/500к	1 025,85	1 015,32	1 022,07	512,92	507,66	511,03

8. Микробиологические исследования проб модельных образцов почвы

Микробиологический анализ модельных образцов почв на содержание микроорганизмов-деструкторов производили на 1-й, 14-й и 30-й дни эксперимента. В первый день эксперимента отбор проб модельных образцов почв производили через 2 часа после внесения. Высев микроорганизмов производили параллельно на два варианта сред: гидролизат рыбной муки (ГРМ) и селективную среду «S».

Результаты микробиологического анализа в на день эксперимента показали, что после внесения микроорганизмов-деструкторов в почву, содержащую смесь токсичных веществ (иприт, люизит и мышьяк) произошло их временное угнетение жизнедеятельности и последующая адаптация к изменившимся условиям содержания.

При оценке роста микроорганизмов в загрязненной почв на 14 сутки было выявлено, что деструкторы растут и дифференциально отличаются друг от друга. Подсчет двух видов деструкторов оказался выполнимым, но трудоемким, так как мешало присутствие большого количества аборигенной микрофлоры. Следует отметить, что в

вариантах 3/500, 6/500 и 9/500 с концентрацией загрязнителей на уровне 500 ПДК наблюдалось к 14 суткам полное, либо частичное угнетение деструкторов, таблица 16.

Таблица 16 - Результаты микробиологического анализа проб модельных образцов почв, отобранных на 14 день эксперимента

№	Вариант	Характеристика модельного образца почвы	14 день эксперимента		Комментарии
			Среда ГРМ-агар		
			<i>Rhod. erythropolis</i> 8D	<i>Ps.s putida</i> Y21	
1	1/10	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁶ к/мл (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁴ -10 ⁵)	2,0*10 ⁵	3,0*10 ⁵	Деструкторы обнаружены в ожидаемых расчетных количествах
2	2/100	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁶ к/мл (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁴ -10 ⁵)	1,0*10 ⁵	2,0*10 ⁵	Деструкторы обнаружены в ожидаемых расчетных количествах
3	3/500	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁶ к/мл (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁴ -10 ⁵)	Деструкто р не обнаружен	Деструкт ор не обнаруже н	Полное угнетение деструкторов
4	4/10	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁷ мк/мл (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁵ -10 ⁶)	3,0*10 ⁶	2,4*10 ⁵	Деструкторы обнаружены в ожидаемых расчетных количествах
5	5/100	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁷ мк/мл (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁵ -10 ⁶)	1,7*10 ⁵	3,3*10 ⁶	Деструкторы обнаружены в ожидаемых расчетных количествах
6	6/500	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁷ мк/мл (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁵ -10 ⁶)	5,0*10 ⁴	Деструкт ор не обнаруже н	Rh.er. 8D частичное угнетение, Ps.put. Y-21 полное угнетение
7	7/10	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁷ мк/мл + семена овса (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁵ -10 ⁶)	4,0*10 ⁶	Деструкт ор не обнаруже н	Rh.er. 8D нет угнетения, Ps.put. Y-21 полное угнетение
8	8/100	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁷ мк/мл + семена овса (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁵ -10 ⁶)	1,3*10 ⁵	3,4*10 ⁶	Деструкторы обнаружены в ожидаемых расчетных количествах

№	Вариант	Характеристика модельного образца почвы	14 день эксперимента		Комментарии
			Среда ГРМ-агар		
			<i>Rhod. erythropoli</i> s 8D	<i>Ps.s putida</i> Y21	
9	9/500	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁷ мк/мл + семена овса (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁵ -10 ⁶)	3,5*10 ⁴	Деструкт ор не обнаруже н	Rh.er. 8D частичное угнетение, Ps.put. Y-21 полное угнетение
10	10/10к	Почва (контроль)	1,8*10 ⁶		Нет угнетения аборигенов
11	11/100к	Почва (контроль)	1,2*10 ⁶		Нет угнетения аборигенов
12	12/500к	Почва (контроль)	1,0*10 ⁵		Частичное угнетение аборигенов
13	13к	Почва (контроль)	1,8*10 ⁶		Исходное кол-во аборигенов
Примечание: цифры в таблице являются результатом подсчета колоний деструкторов на среде ГРМ без подсчета колоний аборигенных видов.					

Результаты микробиологического анализа содержания микроорганизмов в модельных образцах почвы на 30 день эксперимента представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты микробиологического анализа проб модельных образцов почв, отобранных на 30–й день эксперимента

№	Вариант	Характеристика модельного образца почвы	30 день эксперимента		Комментарии
			Среда ГРМ-агар		
			<i>Rhod. erythropolis</i> 8D	<i>P. putida</i> Y21	
1	1/10	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁶ к/мл (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁴ -10 ⁵)	2,3×10 ⁵	2,1×10 ⁵	Деструкторы обнаружены в ожидаемых расчетных количествах
2	2/100	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁶ к/мл (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁴ -10 ⁵)	2,0×10 ⁵	5,6×10 ⁵	Деструкторы обнаружены в ожидаемых расчетных количествах
3	3/500	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁶ к/мл (Ожидаемая расчетная степень	Деструктор не обнаружен	Деструктор не обнаружен	Полное угнетение деструкторов

№	Вариант	Характеристика модельного образца почвы	30 день эксперимента		Комментарии
			Среда ГРМ-агар		
			<i>Rhod. erythropolis</i> 8D	<i>P. putida</i> Y21	
		деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁴ -10 ⁵)			
4	4/10	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁷ мк/мл (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁵ -10 ⁶)	1,2×10 ⁶	3,0×10 ⁵	Деструкторы обнаружены в ожидаемых расчетных количествах
5	5/100	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁷ мк/мл (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁵ -10 ⁶)	2,0×10 ⁴	1,0×10 ⁴	Деструкторы обнаружены в концентрациях ниже ожидаемых
6	6/500	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁷ мк/мл (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁵ -10 ⁶)	2,0×10 ³	Не обнаружены	<i>Rh.er.</i> 8D частичное угнетение, <i>P.put.</i> Y-21 полное угнетение
7	7/10	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁷ мк/мл + семена овса (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁵ -10 ⁶)	3,5×10 ⁶	5,0×10 ⁶	<i>Rh.er.</i> 8D нет угнетения, <i>P.put.</i> Y-21 обнаружен в ожидаемых расчетных количествах
8	8/100	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁷ мк/мл + семена овса (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁵ -10 ⁶)	1,3×10 ⁵	3,0×10 ⁶	Деструкторы обнаружены в ожидаемых расчетных количествах
9	9/500	Почва + ассоциация 2 микроорганизмов 10 ⁷ мк/мл + семена овса (Ожидаемая расчетная степень деструктора кл/г сух. почвы 10 ⁵ -10 ⁶)	1×10 ⁴	Не обнаружены	<i>Rh.er.</i> 8D частичное угнетение, <i>P.put.</i> Y-21 полное угнетение
10	10/10к	Почва (контроль)	6,1×10 ⁵		Аборигены обнаружены в ожидаемых расчетных количествах
11	11/100к	Почва (контроль)	6,2×10 ⁵		Аборигены обнаружены в ожидаемых расчетных количествах
12	12/500к	Почва (контроль)	2,1×10 ⁴		Аборигены обнаружены в ожидаемых расчетных количествах

№	Вариант	Характеристика модельного образца почвы	30 день эксперимента		Комментарии
			Среда ГРМ-агар		
			<i>Rhod. erythropolis</i> 8D	<i>P. putida</i> Y21	
13	13к	Почва (контроль)	7,8×10 ⁵		Аборигены обнаружены в ожидаемых расчетных количествах
Примечание: цифры в таблице являются результатом подсчета колоний деструкторов на среде ГРМ без подсчета колоний аборигенных видов.					

Концентрации загрязнителей (10 и 100 ПДК) в вариантах 1/10, 2/100, 4/10, 8/100 на 30-й день эксперимента не подавляют рост деструкторов. Количество обнаруженных микроорганизмов по сравнению с 14-м днем эксперимента практически не изменилось.

Концентрация аборигенной аэробной микрофлоры в контрольных вариантах 10/10к, 11/100к, 12/500к и 13ф на 30-й день после загрязнения осталась в пределах вариабельности в сравнении с результатами 14-го дня эксперимента, что говорит об устойчивости аборигенной аэробной микрофлоры по отношению к внесенным поллютантам: иприт, люизит и мышьяк.

По результатам проведенных микробиологических исследований установлено следующее:

- в модельных образцах почвы с содержанием люизита и мышьяка на уровне 500 ПДК штамм *Pseudomonas putida* Y21 во всех исследуемых концентрациях угнетается полностью, штамм *Rhodococcus erythropolis* 8D, внесенный в почву в концентрации 10⁵-10⁶ кл/г сухой почвы, угнетается на 99 %, а при внесении в меньших концентрациях – полностью подвержен угнетению;
- при содержании загрязнителей на уровне 100 ПДК в двух вариантах концентрация биодеструкторов сохранялась в течение 30 дней, а в одном варианте наблюдалось снижение количества биодеструкторов: *Rhodococcus erythropolis* 8D на 1 порядок, *Pseudomonas putida* Y21 на два порядка;
- в условиях загрязнения почвы люизитом и мышьяком на уровне 10 ПДК количество исследуемых биодеструкторов в течение 30-ти дней не изменялось.

Таким образом, в модельных образцах почвы с содержанием загрязнителей на уровне 10 ПДК и 100 ПДК микроорганизмы-деструкторы в течение всего эксперимента находились в необходимых для осуществления биоразложения количествах, что является

необходимым условием для подтверждения полученных оценок эффективности биоремедиации почв, загрязненных отравляющими веществами и продуктами их деструкции. Внесение семян овса положительно влияло на адаптацию к наличию в почве ОВ и на жизнедеятельность микроорганизмов.

Заключение

1. Результаты лабораторных экспериментов показали, что ассоциация 2 штаммов микроорганизмов-деструкторов *Pseudomonas putida* Y-21 и *Rhodococcus erythropolis* 8D обладает высокой жизнеспособностью в почве п. Леонидовка, не подавляется аборигенной почвенной микрофлорой.

2. Исследована динамика содержания загрязнителей (иприт, люизит, мышьяк) в модельных образцах почвы в течение 30 дней.

2.1. При исследовании динамики содержания иприта в модельных образцах почвы установлено, что иприт в исследуемых концентрациях в ходе естественных процессов гидролизуеться в почве в первый же день после внесения. В связи с этим, исследовано содержание тиодигликоля, как продукта разложения иприта. Показано достоверное ($p > 0,95$) снижение концентрации тиодигликоля на 30-й день, обусловленное деятельностью микроорганизмов-деструкторов.

2.2. Изучена динамика содержания люизита в модельных образцах почвы. Изменение содержания люизита в модельных образцах почвы происходило с различной скоростью. Наиболее быстрое снижение концентрации люизита наблюдалось в первые часы после его внесения (в среднем на 13 %), вызванное естественными процессами его трансформации в почве. В дальнейшем скорость деструкции люизита значительно снизилась, что позволило по его динамике в контрольных и основных вариантах модельных образцов почв оценить эффективность биодеструкторов. Содержание люизита в модельных образцах почвы и с учетом характеристик погрешности методик измерения достоверно ($p > 0,95$) выявлено снижение его концентрации в почве в вариантах с 10 и 100 ПДК, вызванное деятельностью микроорганизмов-деструкторов.

3. Исследована динамика количества микроорганизмов-деструкторов в модельных образцах почвы в течение 30 дней. При содержании загрязнителей в почве на уровне 10 ПДК и 100 ПДК внесенное количество микроорганизмов-деструкторов сохранялось на расчетном уровне. Установлено, что внесенные в модельные образцы почвы загрязнители в концентрациях 500 ПДК частично или полностью угнетают микроорганизмы-деструкторы. Внесение семян овса в загрязненную почву оказывает стимулирующее действие на микроорганизмы-деструкторы во всех вариантах опыта.

4. Оценена интегральная токсичность модельных образцов почвы методами биотестирования на дафниях. Установлено, что интегральная токсичность почвы в ходе эксперимента значительно снижается. В вариантах с 10 ПДК почва становится не токсичной, в вариантах с 100 ПДК почва становится слабо токсичной. Для контрольных и основных вариантов модельных образцов почв больших различий в токсичности не было выявлено.

Литература

1. Федеральная целевая программа «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации». Утв. Пост. Правительства РФ № 510 от 05.07.2001 г.
2. Боронин А.М., Сахаровский В.Г., Ермакова И.Т., Гречкина Г.М., Старовойтов И.И. Утилизация продуктов детоксикации ипритно-люизитной смеси / Прикладная биохимия и микробиология. 1999. Т.35, № 6. С. 671-678.
3. Капашин В.П., Кондратьев В.Б., Севостянов В.П., Олискевич В.В., Ферезанова М.В., Косокина Е.И. Технологические решения по уничтожению люизита на объекте в г. Камбарка Удмуртской Республики: Монография – М.: ФУ БХУХО, 2010. 68 с.
4. Любунь Е.В., Демидов О.Н., Шантроха А.В., Иванов К.Н., Щербаков А.А. Трансформация иприта в объектах окружающей среды / Тез. докл. международного семинара-презентации инновационных научно-технических проектов «Биотехнологии-2000». Пущино, 26-28 сентября 2000 г. С. 91-92.
5. Медведева Н.Г., Поляк Ю.М., Зиновьева С.В., Зайцева Т.Б., Сухаревич В.И. Микробная деструкция иприта бактериальными культурами / Биотехнология. 2000. № 2. С. 60-65.
6. Медведева Н.Г., Зайцева Т.Б., Зиновьева С.В., Сухаревич В.И., Орлова О.Г. Деструкция продуктов гидролиза иприта культурой *Pseudomonas* sp. Y-13 / Биотехнология. 2006. № 2. С. 50-56.
7. Мицевич Е.В., Мицевич И.П., Перельгин В.В. Микробные деструкторы некоторых хлорорганических соединений / Прикладная биохимия и микробиология. 2000. Т. 36, № 6. С. 642-646.
8. Савин Ю.И., Вишенкова Е.М., Пасынкова Е.М. Исследование поведения иприта и люизита в воде и почве при условиях, имитирующих их природные среды / Рос. хим. журн. им. Д.И.Менделеева. 1995. Т. 39, № 4. С.121-125.
9. Тихонова Е.Б., Ермакова И.Т., Слепенькин А.В., Кашпаров К.И., Старовойтов И.И., Боронин А.М. Биоутилизация тиодигликоля – продукта детоксикации иприта:

выделение штаммов-деструкторов, изучение условий процесса биodeградации / Микробиология. 2002. Т. 71, № 2. С. 247-253.

10. Щербаков А.А., Любунь Е.В., Кузнецов П.Е. Трансформация иприта в объектах окружающей среды. Саратов: Научная книга, 2002. 80 с.

11. Medvedeva N., Polyak Yu., Zaytceva T., Zinovieva S. Microbiological Destruction of Mustard in Soil / Bioremediation of contaminated soils. 2000. P. 151-176.

12. Medvedeva N., Polyak Yu., Kuzikova I., Orlova O., Zharikov G.A. The effect of mustard gas on the biological activity of soil / Environmental Research. 2008. Vol. 106, P. 289–295.

13. Munro N.B., Talmage S.S., Griffin G.D. The sources, fate, and toxicity of chemical warfare agent degradation products / Environ. Health Perspect. 1999. Vol. 107 (12). P. 933-973.

14. Price C.C., Bullit O.H. Hydrolysis and oxidation of mustard gas and related compounds in aqueous solution / J. Chem. Soc. 1947. Vol. 12, N 2. P. 2238-2248.

15. Stein W.H., Moore S., Bergmann M. Chemical reactions of mustard gas and related compounds // J. Org. Chem. 1946. Vol. 11, N 6. P. 664-674.

References

1. Federal'naja celevaja programma «Unichtozhenie zapasov himicheskogo oruzhija v Rossijskoj Federacii» = Utv. Post. Pravitel'stva RF № 510 ot 05.07.2001 g. [In Russian].

2. Boronin A.M., Saharovskij V.G., Ermakova I.T., Grechkina G.M., Starovojtov I.I. Utilizacija produktov detoksikacii ipritno-ljuizitnoj smesi = Prikladnaja biohimija i mikrobiologija - 1999. - T.35, № 6. - S. 671-678 [In Russian].

3. Kapashin V.P., Kondrat'ev V.B., Sevostjanov V.P., Oliskevich V.V., Ferezanova M.V., Kosokina E.I. Tehnologicheskie reshenija po unichtozheniju ljuizita na ob#ekte v g. Kambarka Udmurtskoj Respubliki: Monografija. M.: FU BHUHO, 2010 – 68 s. [In Russian].

4. Ljubun' E.V., Demidov O.N., Shantroha A.V., Ivanov K.N., Shherbakov A.A. i dr. Transformacija iprita v ob#ektah okruzhajushhej sredy. Tez.dokl. mezhdunarodnogo seminaraprezentacii innovacionnyh nauchno-tehnicheskikh proektov «Biotehnologii-2000» = Pushhino, 26-28 sentjabrja 2000 g. – s. 91-92; 169-170 [In Russian].

5. Medvedeva N.G., Poljak Ju.M., Zinov'eva S.V., Zajceva T.B., Suharevich V.I. Mikrobnaja destrukcija iprita bakterial'nymi kul'turami = Biotehnologija. – 2000a. - № 2. - S. 60-65 [In Russian].

6. Medvedeva N.G., Zajceva T.B., Zinov'eva S.V., Suharevich V.I., Orlova O.G. Destrukciya produktov gidroliza iprita kul'turoj *Pseudomonas* sp. Y-13 = Biotehnologiya. - 2006.- № 2. - S. 50-56 [In Russian].
7. Micevich E.V., Micevich I.P., Perelygin V.V. Mikrobnye destruktory nekotoryh hlororganicheskikh soedinenij = Prikladnaja biohimija i mikrobiologija. - 2000. - T. 36, № 6. - S. 642-646 [In Russian].
8. Savin Ju.I., Vishenkova E.M., Pasyunkova E.M. Issledovanie povedenija iprita i ljuizita v vode i pochve pri uslovijah, imitirujushhih ih prirodnye sredy = Ros. him. zhurn. im. D.I.Mendeleeva. 1995. T.39. № 4. S.121-125 [In Russian].
9. Tihonova E.B., Ermakova I.T., Slep'en'kin A.V., Kashparov K.I., Starovojtov I.I., Boronin A.M. Bioutilizacija tioglikol'noj kisljoty – produkta detoksikacii iprita: vydelenie shtammov-destruktorov, izuchenie uslovij processa biodegradacii = Mikrobiologija. - 2002. - T. 71, № 2. - S. 247-253 [In Russian].
10. Shherbakov A.A., Ljubun' E.V., Kuznecov P.E. Transformacija iprita v ob#ektah okruzhajushhej sredy. Saratov: Nauchnaja kniga, 2002, 80 s. [In Russian].
11. Medvedeva N., Polyak Yu., Zajtceva T., Zinov'eva S. Microbiological Destruction of Mustard in Soil // Bioremediation of contaminated soils. - 2000. - P. 151-176.
12. Medvedeva N., Polyak Yu., Kuzikova I., Orlova O., Zharikov G.A., The effect of mustard gas on the biological activity of soil.– Environmental Research, 2008, v. 106, pp. 289–295.
13. Munro N.B., Talmage S.S., Griffin G.D. The sources, fate, and toxicity of chemical warfare agent degradation products // Environ. Health Perspect. - 1999. - V. 107(12). - P. 933-973.
14. Price C.C., Bullit O.H.Jr. Hydrolysis and oxidation of mustard gas and related compounds in aqueous solution.// J. Chem. Soc. 1947. V.12. № 2. P.2238-2248.
15. Stein W.H., Moore S., Bergmann M. Chemical reactions of mustard gas and related compounds. I The transformations of mustard gas in water. Formation and properties of sulfonium salts deriveted from mustard gas.// J. Org. Chem. 1946. V.11. № 6. P.664-674.