М.И. Маллябаева (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация), **Т.В. Тюмкина** (Институт нефтехимии и катализа, г. Уфа, Российская Федерация), **Э.М. Зайнутдинова**, **С.В. Балакирева**, **И.Ю. Кудрявцева**, **А.Х. Сафаров** (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНСЕКТИЦИДА КАРБОФОС, СОДЕРЖАЩЕГО МАЛАТИОН, НА БИОЦЕНОЗ ПОЧВЫ И ВОДЫ

Marina I. Mallyabaeva (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation), **Tatyana V. Tyumkina** (Institute of Petrochemical and Catalysis, Ufa, Russian Federation), **Elvira M. Zainutdinova**, **Svetlana B. Balakireva**, **Inna Yu. Kudryavtseva**, **Albert Kh. Safarov** (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE INSECTICIDE CARBOPHOS CONTAINING MALATION ON THE BIOCENOSIS OF SOIL AND WATER

Введение

В статье показано влияние инсектицида карбофос, действующим веществом которого является малатион, на почвенную и водную биоты. Для определения токсичности инсектицида использовались различные тестируемые организмы. Карбофос используется в сельском хозяйстве страны в борьбе с различными вредителями.

Цели и задачи

Цель работы - изучение влияния пестицида карбофос на почвенную и водную биоты:

- определение токсического действия препарата на проростки семян томата (*Solanum lycopersicum*), огурца (*Cucumis sativus*) и пшеницы (*Triticum*);
- изучение воздействия на простейшие водные организмы инфузории-туфельки (*Paramecium caudatum*);

Background

The article shows the influence of the insecticide Karbofos, the active ingredient of which is malathion, on soil and water biota. Various test organisms were used to determine the toxicity of the insecticide. Karbofos is used in the country's agriculture in the fight against various pests.

Aims and Objectives

The purpose of this work is to study the effect of the pesticide karbofos on soil and water biota:

- determination of the toxic effect of the drug on seedlings of tomato seeds (*Solanum lycopersicum*), cucumber (*Cucumis sativus*) and wheat (*Triticum*);
- study of the impact on the simplest aquatic organisms ciliates-shoes (*Paramecium caudatum*);

- изучение воздействия препарата на дождевых червей (*Lumbricus terrestris* L.) и микроорганизмы, обитающие в почве;

- исследование биодеструкции малатиона с помощью почвенных микроорганизмов.

Методы

Материалом для экспериментов являлся препарат карбофос, в котором действующим веществом является малатион, и почва для выделения почвенных микроорганизмов, способных разрушать инсектицид, отобранная на экологически чистой территории Уфимского района Республики Башкортостан.

В представленной работе проводились исследования на фитотоксичность, в качестве тест-объектов использовали культуры томата (*Solanum lycopersicum*), огурца (*Cucumis sativus*) и пшеницы (*Triticum*), данный препарат в сельском хозяйстве часто используют для обработки этих растений.

Эксперименты по оценке токсичности инсектицида на простейшие водные организмы проведены на инфузориях-туфельках (*Paramecium caudatum*). Исследование проводилось с помощью прибора БИОТЕСТЕР-2.

Проведены эксперименты по воздействию карбофоса на дождевых червей с учетом их поведения, моделировалось условие контакта дождевых червей (*Lumbricus terrestris* L.) с препаратом.

Определение численности микроорганизмов в образце почвы до и после воздействия инсектицидом в концентрациях 1 производственная концентрация (ПК), 2 ПК и 5 ПК проводили методом «отпечатков» в чашках Петри на мясопептонном агаре, взятом в качестве питательной среды. Осуществляли посев взвеси почвенных проб и культивировали их от 2 до 5 сут в термостате при температуре 28 °C. В качестве источника углерода и энергии микроорганизмы использовали малатион.

Изменение деструктивного материала определяли с помощью тонкослойной хроматограммы (ТСХ), применяли пластинки *Silufol UV-254*, элюент-ацетон, проявитель фосфорно-молибденовая кислота ($R_f = 0,5$). Хромато-масс-спектральный анализ проводили на приборе Shimadzu GC-9A.

Результаты

Эксперименты по изучению фитотоксичности показали, что после обработки семян препаратом карбофос с различной концентрацией: ПК, 2ПК, 5ПК и контроль (без препарата) длины надземной и подземной

- study of the effect of the drug on earthworms (*Lumbricus terrestris* L.) and microorganisms living in the soil;

- study of the biodegradation of malathion using soil microorganisms.

Methods

The material for the experiments was the drug karbofos, in which the active substance is malathion, and the soil for the isolation of soil microorganisms capable of destroying the insecticide, selected in the ecologically clean territory of the Ufa region of the Republic of Bashkortostan.

In the presented work, studies on phytotoxicity were carried out, the cultures of tomato (*Solanum lycopersicum*), cucumber (*Cucumis sativus*) and wheat (*Triticum*) were used as test objects; this preparation is often used in agriculture to treat these plants.

Experiments to assess the toxicity of the insecticide to protozoan aquatic organisms were carried out on slipper ciliates (*Paramecium caudatum*). The research was carried out using BIOTESTER-2 device.

Experiments on the effect of malophos on earthworms were carried out, taking into account their behavior, the condition of contact of earthworms (*Lumbricus terrestris* L.) with the drug was modeled.

Determination of the number of microorganisms in the soil sample before and after exposure to insecticide at concentrations of 1 industrial concentration (IC), 2 IC and 5 IC was carried out by the method of «prints» in Petri dishes in beef-extract agar-agar, taken as a nutrient medium. Suspended soil samples were inoculated and cultivated for 2 to 5 days in a thermostat at a temperature of 28 °C. The microorganisms used malathion as a source of carbon and energy.

The change in the destructive material was determined using a thin-layer chromatogram (TLC) using *Silufol UV-254* plates, acetone as eluent, phosphoric-molybdic acid developer ($R_f = 0.5$). Chromato-mass spectral analysis was performed on a Shimadzu GC-9A instrument.

Results

Experiments on the study of phytotoxicity showed that after treatment of seeds with the drug karbofos with different concentrations: IC, 2IC, 5IC and control (without the drug), the lengths of the aboveground and underground

частей растений, которые подвергались протравливанию, отличаются от длин контрольного образца. Воздействие нарастающей дозы носит угнетающий характер.

Биотестирование инсектицида карбофос на инфузориях-туфельках показало, что индекс токсичности ПК инсектицида составляет 0,75 (IV группа), следовательно, исследуемый препарат имеет высокую степень токсичности.

Результаты анализа воздействия инсектицида на основе малатиона на дождевые черви показали, что препарат обладает высоким токсичным действием.

В эксперименте по установлению влияния инсектицида на почвенные бактерии было установлено, что в почве, необработанной токсикантом, в составе микроорганизмов доминирующими являются *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Arthrobacter* sp., *Azotobacter* sp., *Flavobacterium* sp. и *Penicillium* sp. Угнетение и снижение количества микроорганизмов происходит уже при ПК. Загрязнение 5 ПК приводит к исчезновению из микросреды почвы *Azotobacter* sp., *Arthrobacter* sp. и *Flavobacterium* sp. Токсическое действие малатиона выдерживают бактерии вида *Pseudomonas* sp. и *Bacillus* sp.

Мониторинг биодеструкции исследуемого препарата, который проводился с помощью мультаядерной спектроскопии ЯМР ^1H и ^{31}P , показал, что молекула пестицида практически не подвергается трансформации даже по истечении 154 сут.

parts of plants that were etched differ from the lengths of the control -sample. The effect of the increasing dose is depressing in nature.

Bioteesting of the insecticide carbophos on infusoria-shoes showed that the toxicity index of the IC insecticide is 0.75 (group IV), therefore, the studied drug has a high degree of toxicity.

The results of the analysis of the effect of the malathion-based insecticide on earthworms showed that the drug has a high toxic effect.

In an experiment to establish the effect of an insecticide on soil bacteria, it was found that in the soil untreated with a toxicant, the microorganisms are dominated by *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Arthrobacter* sp., *Azotobacter* sp., *Flavobacterium* sp. and *Penicillium* sp. The suppression and decrease in the number of microorganisms occurs already with IC. Contamination with 5 IC leads to the disappearance of *Azotobacter* sp., *Arthrobacter* sp. and *Flavobacterium* sp. from the soil microenvironment. The toxic effect of malathion is resisted by bacteria of the species *Pseudomonas* sp. and *Bacillus* sp.

Monitoring of the biodegradation of the studied drug, which was carried out using multinuclear ^1H and ^{31}P NMR spectroscopy, showed that the pesticide molecule practically does not undergo transformation even after 154 days.

Ключевые слова: химическое загрязнение; пестицид; инсектицид; карбофос. малатион; биотестирование; фитотоксичность; микроорганизмы; токсичность; биодеструкция

Key words: chemical pollution; pesticide; insecticide; carbophos; malathion; bioteesting; phytotoxicity; microorganisms; toxicity; biodestruction

Введение

Загрязнение почв и нарушение круговорота веществ происходит в результате несбалансированного применения минеральных удобрений и пестицидов. Ежегодное применение пестицидов, часто несколько раз в се-

зон, приводит к накоплению их в почве. Кроме того, они являются источниками загрязнения подземных и наземных вод, различных водоемов и атмосферы [1].

Малатион представляет собой несиستمный, фосфорорганический инсектицид широкого спектра действия и используется

для контроля над бытовыми и сельскохозяйственными вредителями. Он оказывает токсическое действие путем связывания с ферментом ацетилхолинэстеразы и ингибирует его активность, что приводит к накоплению ацетилхолина в нервных тканях, вызывая спазмы, судороги, паралич и смерть насекомого [2].

Научные исследования и тесты на мутагенность (на бактериях, фруктовых мухах, мышах, хомяках, рыбных и человеческих клеточных культурах) показали, что малатион обладает мутагенными свойствами. В процессе метаболического окисления у млекопитающих, насекомых и растений образуется малеоксон, который в несколько раз токсичнее малатиона [3].

Экспериментальные исследования, проведенные авторами [3], указывают на то, что малатион вызывает рак молочной железы, а также дегенеративные изменения печени и почек [4].

Имеется ряд статей о деградации малатиона. Так, например, авторы [5] использовали штаммы бактерий *Brevibacillus* sp. штамм KB2 и *Bacillus* штамм штамма PU, выделенные из образцов почв, загрязненных малатионом. Оба штамма хорошо развивались в среде, содержащей малатион с концентрацией до 0,15 %. ВЭЖХ-УФ анализ показал, что деградация малатиона произошла на 36,22 % штаммом KB2, тогда как штаммом PU на 49,31 % после 7 дней инкубации.

Новый изолят бактерии *Lysinibacillus sphaericus* YMM, способный к биодеструкции инсектицида в жидких средах, выделен авторами [6]. Деградация 200 мг малатиона/л достигнута в течение 24 ч на 98,97 %.

Изучена биodeградация малатиона с помощью штаммов *Enterobacter cloacae* PMM16 (E1) и *E. amnigenus* XGL214 (M1). [7] Установлено, что *E. amnigenus* может полностью удалить малатион, превратив его в нетоксичный продукт бутандиовую кислоту.

Миграция пестицидов в почве происходит в результате адсорбции, а также биотической и абиотической деградацией. Неоднородность микроорганизмов почвы играет важную роль в микробиологических процессах и сохранении пестицидов [8, 9].

Сообщалось, что малатион может оставаться в окружающей среде на протяжении нескольких месяцев, но обычно он трансформируется или деградирует в течение нескольких недель через процессы фотоллиза, гидролиза или биodeградацию микроорганизмами [10].

Цели и задачи

Цель работы - изучение влияния пестицида карбофос на почвенную и водную биоту. Изучение воздействия проводилось с учетом экологических факторов в модельных условиях, в том числе при внесении доз с превышением предельно допустимой концентрации.

Экспериментальная работа проводилась в трех направлениях:

первое - определение токсического действия препарата на проростки семян томата (*Solanum lycopersicum*), огурца (*Cucumis sativus*) и пшеницы (*Triticum*);

второе - воздействие на простейшие водные организмы инфузории-туфельки (*Paramecium caudatum*);

третье - изучение воздействия препарата на дождевых червей (*Lumbricus terrestris* L) и микроорганизмы, обитающие в почве: *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Arthrobacter* sp., *Azotobacter* sp., *Flavobacterium* sp. и *Penicillium* sp. с учетом экологических факторов биотического и антропогенного характера. Исследована биодеструкция малатиона с помощью почвенных микроорганизмов-деструкторов.

Материалы и методы исследования

Материалом для экспериментов служил инсектицид карбофос (действующее вещество малатион - $C_{10}H_{19}O_6S_2P$), его структурная формула представлена на рисунке 1.

Испытание инсектицида на фитотоксичность определяли с помощью биотестирования. Для этого было выбрано несколько видов тест-объектов: семена, используемые как для подсобного хозяйства (овощные культуры), так и для сельского хозяйства (зерновые).

Рисунок 1. Структурная формула малатиона

Токсикологический мониторинг выполнялся на культурах с разной концентрацией препарата - производственной концентрацией (ПК) (0,6 г инсектицида на 100 мл воды), 2 ПК (1,2 г инсектицида на 100 мл воды) и 5 ПК (3,0 г инсектицида на 100 мл воды) с помощью методики [11].

В качестве тест-культуры использовали семена томата (*Solanum lycopersicum*), огурца (*Cucumis sativus*) и пшеницы (*Triticum*). После обработки карбофосом измеряли длину подземной и надземной частей проростков и сравнивали с контрольными образцами (чистая вода без инсектицида). Через каждые 2-3 дня увлажняли семена. По истечении срока наблюдения проводили измерения размеров проростков.

Эксперименты по оценке токсичности инсектицида на простейшие водные организмы проведены на инфузориях-туфельках (*Paramecium caudatum*). Исследование проводилось с помощью прибора «БИОТЕСТЕР - 2» [12].

Определение влияния инсектицида на геобионтов моделировалось согласно методике [13,14].

Влияние инсектицида на почвенные бактерии проводили следующим образом: в 4 пластиковых контейнера отобрали по 100 г почвы и внесли раствор препарата в концентрации ПК, 2 ПК и 5 ПК, тщательно перемешивая.

Инсектицид предварительно разводили в растворителе (в воде), получены следующие дозы:

ПК - 0,6 г препарата на 100 мл воды;
2 ПК - 1,2 г препарата на 100 мл воды;
5 ПК - 3,0 г препарата на 100 мл воды.

В четвертый (контрольный) контейнер добавляли только воду. Контрольные и экспериментальные контейнеры на протяжении всего времени проведения опыта находились в одинаковом режиме температуры (20-25 °С) и влажности (60 % от полной влагоемкости).

Определение состава и численности микроорганизмов в образце почвы проводили методом «отпечатков» в чашках Петри на мясопептонном агаре (МПА), взятом в качестве питательной среды.

Выполнили посев взвеси почвенных проб и культивировали их от 2 до 5 сут в термостате при температуре 28 °С по методике [15].

С целью исследования биодеструкции малатиона из препаративной формы исходного инсектицида было выделено действующее вещество методом экстракции - малатион. Экстракцию проводили следующим образом: 30 г препарата растворили в смеси, состоящей из 200 мл H₂O и 200 мл этилацетата, через 1 ч отделили водную фазу от эфирной, упаривали до получения сухого остатка.

Для культивирования микроорганизмов деструкторов использовали минеральную среду, состоящую из 2,0 г/л NaNO₃, 1,0 г/л KH₂PO₄, 0,013 г/л MnSO₄, 0,5 г/л MgSO₄, 0,013 г/л ZnSO₄ в дистиллированной воде. В качестве источника углерода и энергии микроорганизмы использовали малатион 0,1 г на 100 мл среды. Бактерии культивировали в термостате при температуре 30 °С в течение 154 сут.

Изменение деструктивного материала определяли с помощью тонкослойной хроматограммы (ТСХ), применяли пластинки *Silufol UV-254*, элюент - ацетон, проявитель фосфорно-молибденовая кислота ($R_f = 0,5$). По окончании культивирования водный экстракт экстрагировали этилацетатом, сушили над безводным MgSO₄.

Спектры ЯМР ¹H, ¹³C и ³¹P регистрировали в CDCl₃ на спектрометре Bruker Avance 400 (400,13 МГц, 100,58 МГц и 161,92 МГц, соответственно).

Образцы готовили в стандартной ампуле диаметром 5 мм. Количество точек в одномерной спектроскопии ЯМР 1H - 32К.

Результаты и их обсуждение

Анализ результатов эксперимента по изучению фитотоксичности показал, что после обработки препаратом карбофос с различной концентрацией: ПК, 2 ПК, 5 ПК и контроль (без препарата) длины надземной и подземной частей растений, которые подвергались протравливанию, отличаются от контрольного образца.

Полученные результаты позволяют сделать выводы, что загрязнение почвы инсектицидом подавляет развитие семени, нарушает физиологические процессы растений, что в дальнейшем скажется на его росте, на понижении выхода агропродукции.

Воздействие нарастающей дозы носит угнетающий характер, при заявленной производителем ПК отмечалось угнетение посевного материала. На рисунках 2-4 представлена средняя длина надземной и подземной частей испытуемых объектов в зависимости от дозы препарата.

Как видно из рисунков 2-4 период прорастания у семян, подвергнутых обработке, значительно отличается от контрольного образца.

В контроле во всех культурах наблюдается развитие стебля, который далее сопровождается дальнейшим ростом корешков. В семенах, обработанных раствором инсектицида в концентрации ПК, видны только рост первичных корешков и готовность семян к развитию проростков. В образцах 2 ПК и 5 ПК - набухание, которое заканчивается наклеванием проростка.

Результаты биотестирования инсектицида карбофос на инфузориях-туфельках показали, что индекс токсичности ПК 0,75 (IV группа), следовательно, исследуемый препарат имеет высокую степень токсичности.

Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таким образом, исследуемый инсектицид обладает высокой токсичностью по отношению к мелким беспозвоночным организмам, находящимся в воде, которые располагаются на втором уровне трофических цепей в водных экосистемах.

Рисунок 2. Средняя длина проростков *Solanum lycopersicum*

Рисунок 3. Средняя длина проростков *Triticum*

Рисунок 4. Средняя длина проростков *Cucumis sativus*

Таблица 1. Результаты измерений на приборе БИОТЕСТЕР-2

Вариант	Показания прибора					Средние значения I_{cp}	Индекс токсичности (для инфузорио-туфелька) T
Контроль	40	39	47	41	40	41,4	-
ПК	15	14	10	9	5	10,6	0,75 (IV)
ПК в разбавлении 1 : 100	21	17	15	20	18	18,2	0,56 (III)

Результаты анализа воздействия инсектицида на основе малатиона на дождевых червей, показали, что данное вещество оказывает высокое токсичное действие (в условиях модельного загрязнения). При ПК на 3 сут живых дождевых червей наблюдалось 90 % (рисунок 5). На 5 сут в контрольной почве выжило 100 % особей, в модельных образцах загрязнения при ПК - 50 %; при 2 ПК - 30 %; при 5 ПК - 0. Чувствительность на 5 сут уже была низкая. На 7 сут выживших особей не было. С увеличением производственной концентрации инсектицида степень токсичности действующего вещества возрастает, что приводит к необратимым нарушениям в физиологических процессах, вызывая гибель дождевых червей.

В эксперименте по установлению влияния инсектицида на почвенные бактерии было установлено, что в чистой почве, не обработанной токсикантом, в составе микроорганизмов доминирующими являются *Bacillus* sp. и *Pseudomonas* sp., в большом количестве присутствуют *Arthrobacter* sp., *Azotobacter* sp., *Flavobacterium* sp. и *Penicillium* sp. (таблица 2). Бактерии выполняют главную роль в процессах почвенной экосистемы. Ряд микроорга-

низмов принимает участие в биодеструкции пестицидов [6-8].

Состав почвенных организмов представлен в таблице 2.

Анализ токсичности инсектицида (действующее вещество - малатион) показывает, что при нарастании концентрации модельного загрязнения почвы (ПК-5 ПК) наблюдается изменение качественного и количественного составов микросреды. Угнетение и снижение количества микроорганизмов происходят уже при ПК. Значительное экологическое загрязнение в 2 ПК приводит к обеднению видового состава микроорганизмов, токсичность выдерживают и становятся видами-доминантами *Pseudomonas* sp. и *Bacillus* sp. При 5 ПК происходит гибель всей существующей микросреды, полностью происходит подавление роста выявленных микроорганизмов.

Отрицательное действие на микроорганизмы почвенной среды инсектицида связано с наличием в химической структуре атомов фосфора, серы, а также с чувствительностью к нему микроорганизмов, каждый из которых имеет свои особенности в морфологии и процессах обмена.

Рисунок 5. Динамика изменения количества живых червей

Таблица 2. Состав почвенных микроорганизмов

Микроорганизмы	Контроль	ПК		
	0	1	2	5
<i>Pseudomonas sp.</i>	$(2 \pm 0,02) \cdot 10^5$	$(1 \pm 0,03) \cdot 10^3$	$(2 \pm 0,02) \cdot 10^2$	-
<i>Bacillus sp.</i>	$(3 \pm 0,02) \cdot 10^4$	$(2 \pm 0,02) \cdot 10^2$	$(1 \pm 0,02) \cdot 10^1$	
<i>Arthrobacter sp.</i>	$(2 \pm 0,03) \cdot 10^3$	$(2 \pm 0,03) \cdot 10^2$	-	
<i>Azotobacter sp.</i>	$(1 \pm 0,02) \cdot 10^3$	$(1 \pm 0,02) \cdot 10^1$		
<i>Flavobacterium sp.</i>	$(2 \pm 0,03) \cdot 10^4$	$(2 \pm 0,03) \cdot 10^2$	-	-
<i>Penicillium sp.</i>	+++	++	+	-
Примечания: контроль- без внесения пестицида; +++ - обильный рост микроорганизмов; ++ - умеренный рост; + - слабый рост; - - нет роста				

Полное вытеснение из почвенной среды в исследуемых образцах микроорганизмов приводит к замещению видового состава, что обедняет микросреду почвы, сдвигает экологическую устойчивость и биологическое равновесие, нарушает круговороты вещества и энергии в почве, процессы почвообразования, ее плодородность.

Появляются микроорганизмы-доминанты, устойчивые к определенному уровню загрязнения пестицидом.

Так, из консорциума микроорганизмов наиболее устойчивыми к загрязнению малатионом оказались *Pseudomonas sp.* и *Bacillus sp.*, которые можно отнести к микроорганизмам-деструкторам. Мониторинг биодеструкции исследуемого пестицида проводился с помощью мультаядерной спектроскопии ЯМР ^1H и ^{31}P . Первоначально отнесения сигналов в спектрах ЯМР ^1H , ^{13}C и ^{31}P исходного вещества были выполнены на основе литературных данных [16]. Так, в спектре ЯМР ^{31}P малатиона наблюдается единственный сигнал с химическим сдвигом 95.6 м.д., в то время как

через 154 сут в соответствующих спектрах пробы, полученной экстракцией экспериментального образца малатиона с организмами деструкторами (предварительный контроль методом ТСХ), наряду с сигналом исходного вещества наблюдается дополнительный сигнал при 0,0 м.д., что свидетельствует об образовании фосфорсодержащего кислотного фрагмента. Однако интенсивность нового сигнала не превышает 5 %, поэтому следует сделать вывод о значительной устойчивости пестицида в окружающей среде.

Выводы

При исследовании фитотоксичности препарата карбафос было установлено, что в контрольных образцах всех культур наблюдаются развитие стебля и рост корешков. В семенах, обработанных раствором инсектицида, происходят только рост первичных корешков и готовность семян к развитию проростков. В образцах 2 ПК и 5 ПК - набухание, которое заканчивается наклеиванием проростка.

Результаты биотестирования инсектицида карбофос на инфузориях-туфельках показали, что индекс токсичности ПК 0,75 (IV группа), следовательно, исследуемый препарат имеет высокую степень токсичности.

Результаты анализа воздействия инсектицида на дождевых червей показали, что данное вещество оказывает высокотоксичное действие. При заявленной производителем норме расхода пестицида (ПК) происходит гибель 50 % дождевых червей на 5 сут.

Установлено, что экологическое загрязнение в 2 ПК приводит к обеднению видового состава микроорганизмов, токсич-

ность выдерживают и становятся видами-доминантами *Pseudomonas sp.* и *Bacillus sp.* При 5 ПК происходит гибель всей существующей микросреды, полностью происходит подавление роста выявленных микроорганизмов. Мониторинг биодеструкции малатиона под действием почвенных бактерий показал, что молекула пестицида практически не подвергается трансформации даже по истечению 154 сут.

Благодарность. Спектры ЯМР ^1H , ^{13}C и ^{31}P получены с использованием оборудования РЦКП «Агидель» УФИЦ РАН.

Список литературы

1. Врочинский К.К., Маковский В.Н. Применение пестицидов и охрана окружающей среды. Киев: Вища школа, 1979. 208 с.
2. Goda S.K., Elsayed I.E., Khodair T.A., Sayed W.E., Mohamed M.E. Screening for and Isolation and Identification of Malathion-Degrading Bacteria: Cloning and Sequencing a Gene that Potentially Encodes the Malathion-Degrading Enzyme, Carboxylesterase in Soil Bacteria // *Biodegradation*. 2010. Vol. 21. Issue 6. P. 903-913. DOI: 10.1007/s10532-010-9350-3.
3. Selmi S., Rtibi K., Grami D., Sebai H., Marzouki L. Malathion, an Organophosphate Insecticide, Provokes Metabolic, Histopathologic and Molecular Disorders in Liver and Kidney in Prepubertal Male Mice // *Toxicology Reports*. 2018. Vol. 9. Issue 5. P. 189-195. DOI: 10.1016/j.toxrep.2017.12.021.
4. Miracle M.R., Alfonso M.T., Vicente E. Fish and Nutrient Enrichment Effects on Rotifers in a Mediterranean Shallow Lake: a Mesocosm Experiment // *Hydrobiologia*. 2007. Vol. 593. P. 77-94. DOI: 10.1007/s10750-007-9071-8.
5. Baljinder S., Jagdeep K., Kashmir S. Biodegradation of Malathion by *Brevibacillus* sp. strain KB2 and *Bacillus Cereus* Strain PU // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2012. Vol. 28. Issue 3. P. 1133-1141. DOI: 10.1007/s11274-011-0916-y.
6. Gehan I.Kh. Marei, Youssef M.M. Mohammed, Entsar I. Rabea, Mohammed E.I. Badawy Isolation, Characterisation and Efficacy of the Bacterial Strain *Lysinibacillus Sphaericus* YMM in Biodegradation of Malathion Insecticide in Liquid Media // *International Journal of Environmental Studies*. 2019. Vol. 76. Issue 4. P. 616-633. DOI: 10.1080/00207233.2018.1522922.
7. Jimenez-Torres C., Ortiz I., San- Martin P., Hernandez-Herrera R.I. Biodegradation of Malathion,

References

1. Vrochinskii K.K., Makovskii V.N. *Primenenie pestitsidov i okhrana okruzhayushchei sredy* [Pesticide Use and Environmental Protection]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 1979. 208 p. [in Russian].
2. Goda S.K., Elsayed I.E., Khodair T.A., Sayed W.E., Mohamed M.E. Screening for and Isolation and Identification of Malathion-Degrading Bacteria: Cloning and Sequencing a Gene that Potentially Encodes the Malathion-Degrading Enzyme, Carboxylesterase in Soil Bacteria. *Biodegradation*, 2010, Vol. 21, Issue 6, pp. 903-913. DOI: 10.1007/s10532-010-9350-3.
3. Selmi S., Rtibi K., Grami D., Sebai H., Marzouki L. Malathion, an Organophosphate Insecticide, Provokes Metabolic, Histopathologic and Molecular Disorders in Liver and Kidney in Prepubertal Male Mice. *Toxicology Reports*, 2018, Vol. 9, Issue 5, pp. 189-195. DOI: 10.1016/j.toxrep.2017.12.021.
4. Miracle M.R., Alfonso M.T., Vicente E. Fish and Nutrient Enrichment Effects on Rotifers in a Mediterranean Shallow Lake: a Mesocosm Experiment. *Hydrobiologia*, 2007, Vol. 593, pp. 77-94. DOI: 10.1007/s10750-007-9071-8.
5. Baljinder S., Jagdeep K., Kashmir S. Biodegradation of Malathion by *Brevibacillus* sp. strain KB2 and *Bacillus Cereus* Strain PU. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2012, Vol. 28, Issue 3, pp. 1133-1141. DOI: 10.1007/s11274-011-0916-y.
6. Gehan I.Kh. Marei, Youssef M.M. Mohammed, Entsar I. Rabea, Mohammed E.I. Badawy Isolation, Characterisation and Efficacy of the Bacterial Strain *Lysinibacillus Sphaericus* YMM in Biodegradation of Malathion Insecticide in Liquid Media. *International Journal of Environmental Studies*, 2019, Vol. 76, Issue 4, pp. 616-633. DOI: 10.1080/00207233.2018.1522922.
7. Jimenez-Torres C., Ortiz I., San- Martin P.,

α - and β -endosulfan by Bacterial Strains Isolated from Agricultural Soil in Veracruz, Mexico // *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 2016. Vol. 51, Issue 12. P. 853-859. DOI: 10.1080/03601234.2016.1211906.

8. Sharma T., Rajor A., Toor A.P. Potential of *Enterobacter* sp. Strain ATA1 on Imidacloprid Degradation in Soil Microcosm: Effects of Various Parameters // *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 2015. Vol. 34, Issue 5. P. 1291-1297. DOI: 10.1002/ep.12115.

9. Маллябаева М.И., Ягафарова Г.Г., Тюмкина Т.В., Балакирева С.В., Зайнутдинова Э.М. Исследование влияния метальдегида на биоценоз почвы и механизм его биотрансформации // *Башкирский химический журнал*. 2016. Т. 23. № 3. С. 63-67.

10. Butzler J.M., Chase J.M. The Effects of Variable Nutrient Additions on a Pond Mesocosm Community // *Hydrobiologia*. 2009. Vol. 617. P. 65-73. DOI: 10.1007/s10750-008-9443-8.

11. Кабиров Р.Р., Сагитова А.Р., Суханова Н.В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // *Экология*. 1997. № 6. С. 408-411.

12. Приказ МПР России от 15.06.2001 № 511 «Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды» // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/2158155/> (дата обращения: 22.12.2020).

13. Бадтиев Ю.С., Тертышников А.В. Технологии биомониторинга окружающей среды. М.: 2006. 147 с.

14. Долженко Т.В., Козлова Е.Г., Долженко О.В. Оценка действия инсектицидов на полезных членистоногих // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2016. № 2-3. С. 21-23.

15. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник. М.: ВНИИ-стандарт, 2001. 300 с.

16. Нетрусова А.И., Егорова М.А., Захарчук Л.М. Практикум по микробиологии. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 603 с.

Hernandez-Herrera R.I. Biodegradation of Malathion, α - and β -endosulfan by Bacterial Strains Isolated from Agricultural Soil in Veracruz, Mexico. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 2016, Vol. 51, Issue 12, pp. 853-859. DOI: 10.1080/03601234.2016.1211906.

8. Sharma T., Rajor A., Toor A.P. Potential of *Enterobacter* sp. Strain ATA1 on Imidacloprid Degradation in Soil Microcosm: Effects of Various Parameters. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 2015, Vol. 34, Issue 5, pp. 1291-1297. DOI: 10.1002/ep.12115.

9. Mallyabaeva M.I., Yagafarova G.G., Tyumkina T.V., Balakireva S.V., Zainutdinova E.M. Issledovanie vliyaniya metal'degida na biotsenoz pochvy i mekhanizm ego biotransformatsii [Research of Metaldehyde Influence on the Soil Biocenosis and His Biotransformation Mechanism]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal - Bashkir Chemical Journal*, 2016, Vol. 23, No. 3, pp. 63-67. [in Russian].

10. Butzler J.M., Chase J.M. The Effects of Variable Nutrient Additions on a Pond Mesocosm Community. *Hydrobiologia*, 2009, Vol. 617, pp. 65-73. DOI: 10.1007/s10750-008-9443-8.

11. Kabirov R.R., Sagitova A.R., Sukhanova N.V. Razrabotka i ispol'zovanie mnogokomponentnoi test-sistemy dlya otsenki toksichnosti pochvennogo pokrova gorodskoi territorii [Development and Use of a Multicomponent Test System for Evaluating the Toxicity of Soil in an Urban Territory]. *Ekologiya - Russian Journal of Ecology*, 1997, No. 6, pp. 408-411. [in Russian].

12. *Prikaz MPR Rossii ot 15.06.2001 № 511 «Kriterii otneseniya opasnykh otkhodov k klassu opasnosti dlya okruzhayushchei prirodnoi sredy»* [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia of June 15, 2001 No. 511 «Criteria for Classifying Hazardous Waste as a Hazard Class for the Environment»]. Informatsionno-pravovoe obespechenie «Garant». Available at: <https://base.garant.ru/2158155/> (accessed 22.12.2020). [in Russian].

13. Badtiev Yu.S., Tertyshnikov A.V. *Tekhnologii biomonitoringa okruzhayushchei sredy* [Environmental Biomonitoring Technologies]. Moscow, 2006. 147 p. [in Russian].

14. Dolzhenko T.V., Kozlova E.G., Dolzhenko O.V. Otsenka deistviya insektitsidov na poleznykh chlenistonogikh [Action's Evaluation of Insecticides on Beneficial Arthropods]. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka - Russian Agricultural Sciences*, 2016, No. 2-3, pp. 21-23. [in Russian].

15. Fomin G.S., Fomin A.G. *Pochva. Kontrol' kachestva i ekologicheskoi bezopasnosti po mezhdunarodnym standartam. Spravochnik* [The Soil. Quality Control and Environmental Safety in Accordance with International Standards. Directory]. Moscow, VNIISTandart Publ., 2001. 300 p. [in Russian].

16. Netrusova A.I., Egorova M.A., Zakharchuk L.M. *Praktikum po mikrobiologii* [Workshop on Microbiology]. Moscow, Izdatel'skii tsentr «Akademiya» Publ., 2005. 603 p. [in Russian].

Авторы

• Маллябаева Марина Ивановна, канд. хим. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: mmallyabaeva@yandex.ru

• Тюмкина Татьяна Викторовна, канд. хим. наук
Институт нефтехимии и катализа
Уфимского федерального исследовательского
центра Российской академии наук
Старший научный сотрудник лаборатории
структурной химии
Российская Федерация, 450075, г. Уфа,
пр. Октября, 141
e-mail: ttvnmr@gmail.com

• Зайнутдинова Эльвира Муратовна, канд. биол.
наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: elvira-zaynutdinova@rambler.ru

• Балакирева Светлана Васильевна, канд. техн.
наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: kosmonebo@mail.ru

• Кудрявцева Инна Юрьевна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Заведующая лабораторией кафедры
«Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: chidega@mail.ru

• Сафаров Альберт Хамитович, канд. техн. наук,
доцент
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Прикладная экология»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: alsaf1978@mail.ru

The Authors

• Mallyabaeva Marina I., Candidate of Chemical
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: mmallyabaeva@yandex.ru

• Tyumkina Tatyana V., Candidate of Chemical
Sciences
Institute of Petrochemistry and Catalysis
of the Ufa Federal Research Center of the Russian
Academy of Sciences
Senior Researcher of Structural Chemistry
Laboratory
141, Ocyabrya ave., Ufa, 450075,
Russian Federation
e-mail: ttvnmr@gmail.com

• Zainutdinova Elvira M., Candidate of Biological
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: elvira-zaynutdinova@rambler.ru

• Balakireva Svetlana V., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: kosmonebo@mail.ru

• Kudryavtseva Inna Yu.
Ufa State Petroleum Technological University
Head of Laboratory of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: chidega@mail.ru

• Safarov Albert Kh., Candidate of Engineering
Sciences, Associate Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: alsaf1978@mail.ru