



УДК 504.73.054



Е.В. Коваль, С.Ю. Огородникова
Ye.V. Koval, S.Yu. Ogorodnikova

ЭФФЕКТЫ МЕТИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ И ЦИАНОБАКТЕРИИ *NOSTOC LINCKIA*, ПРИСУТСТВУЮЩИХ В СРЕДЕ ВЫРАЩИВАНИЯ, НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ

THE EFFECTS OF METHYLPHOSPHONIC ACID AND CYANOBACTERIA *NOSTOC LINCKIA* PRESENT IN THE GROWING MEDIUM ON THE VITAL FUNCTIONS OF BARLEY PLANTS

Ключевые слова: метилфосфоновая кислота, ячмень, цианобактерии, *Nostoc linckia*, хлорофиллы, каротиноиды, антоцианы, перекисное окисление липидов.

Изучено влияние присутствия цианобактерии (ЦБ) *Nostoc linckia* и метилфосфоновой кислоты (МФК) (0,5 и 1 мМ) в среде выращивания на показатели жизнедеятельности растений ячменя в условиях водной культуры. Исследовали состояние пигментного комплекса растений ячменя: хлорофиллов, антоцианов и каротиноидов, а также активность перекисного окисления липидов (ПОЛ) спектрофотометрическим методом. Установлено, что МФК вызывала активацию окислительного стресса в растениях, что проявилось в снижении уровня зеленых пигментов, а также пигментов-антиоксидантов (каротиноидов, антоцианов). Возрастала активность ПОЛ в листьях опытных растений. Добавка ЦБ *Nostoc linckia* активировала процессы окислительного стресса в растениях ячменя, что проявилось в значительном накоплении продуктов ПОЛ в корнях и листьях растений, а также в снижении уровня пигментов-антиоксидантов – каротиноидов. Содержание зеленых пигментов также значительно снижалось. Вероятно, ЦБ *Nostoc linckia* сами оказывали токсическое действие на опытные растения. Присутствие ЦБ в среде выращивания также не оказывало выраженного защитного эффекта на растения в условиях загрязнения МФК. При добавке ЦБ отмечали некоторое снижение токсического действия МФК (0,5 мМ), которое отразилось в активации накопления пигментов, но на фоне этого было выявлено резкое увеличение активности ПОЛ. Установленная особенность свидетельствует о том, что присутствие *Nostoc linckia* не снижает токсического действия МФК на растения. Данный вид ЦБ обработки (внесение в среду выращивания) не

эффективен и не может применяться для снижения негативного воздействия метилфосфонатов на растения ячменя.

Keywords: methylphosphonic acid, barley, cyanobacteria, *Nostoc linckia*, chlorophylls, carotenoids, anthocyanins, lipid peroxidation.

The effect of the presence of cyanobacteria (CB) *Nostoc linckia* and methylphosphonic acid (MPhA) (0.5 and 1 mM) in the growing medium on the vital indices of barley plants in water culture is investigated. The state of the pigment complex of barley plants was studied and the activity of lipid peroxidation (LPO) by spectrophotometric method. It has been found that the MPhA causes activation of oxidative stress in plants that manifested in the reduction of green pigments and pigments-antioxidants (carotenoids, anthocyanins). The activity of LPO in the leaves of test plants increased. The addition of *Nostoc linckia* activated process of oxidative stress in plants of barley which was manifested by a significant accumulation of LPO products in the roots and leaves of plants as well as by reduced carotenoids. Probably the CB themselves have toxic effects on the test plants. The presence of the CB in the growing medium has no marked protective effect on the plant in case of the contamination by MPhA. The addition of the CB somewhat decreased the toxic effect of the MPhA (0.5 mM) which was reflected in the activation of the accumulation of pigments, but in this context an increase in the activity of LPO was revealed. The revealed feature indicates that the presence of *Nostoc linckia* does not reduce the toxic effect of the MPhA on the plants. This type of treatment (the introduction into the growing medium) is not effective and cannot be used to reduce the negative impact of methylphosphonate on barley plants.

Коваль Екатерина Викторовна, Вятский государственный университет. E-mail: undina2-10@yandex.ru.

Koval Yekaterina Viktorovna, Vyatka State University. E-mail: undina2-10@yandex.ru.

Огородникова Светлана Юрьевна, доцент, с.н.с., Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар. E-mail: undina2-10@yandex.ru.

Ogorodnikova Svetlana Yuryevna, Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch, Rus. Acad. of Sci., Syktyvkar. E-mail: undina2-10@yandex.ru.

В настоящее время актуальной является проблема загрязнения окружающей среды токсичными органическими соединениями. Многие поллютанты содержат в своем составе биогенные элементы, но структура веществ делает эти соединения токсичными для живых организмов. К числу таких соединений относятся фосфорсодержащие органические вещества – метилфосфонаты.

Метилфосфонаты – это вещества, содержащие в молекуле углерод-фосфорную связь (С-Р), за счет чего данные соединения отличаются повышенной персистентностью [1]. Метилфосфоновая кислота (МФК) является конечным продуктом гидролиза и универсальным маркером фосфоросодержащих отравляющих веществ [1]. МФК относится к веществам 3-го класса опасности [2]. Известно, что МФК в низких концентрациях оказывает влияние на физиолого-биохимические процессы, вызывает угнетение роста и развития растений [3]. Потенциальными источниками МФК могут стать регионы, где они используются и/или образуются в ходе хозяйственной деятельности: при применении фосфорсодержащих пестицидов, а также при работе объектов по уничтожению фосфорсодержащих отравляющих веществ.

Известна способность микроорганизмов использовать метилфосфонаты в качестве источника фосфора. К таким организмам относятся прокариотические микроорганизмы и некоторые низшие эукариоты [4]. Бактерия *E. coli* способна расщеплять связь С-Р и может использовать метилфосфоновую или этилфосфоновую кислоты в качестве единственного источника фосфора [5].

Фермент С-Рлиаза, катализирующий гидролиз связи С-Р, обнаружен у ряда видов цианобактерий (ЦБ), что указывает на потенциальную возможность ЦБ вызывать деструкцию метилфосфонатов [6].

Благодаря физиологическим особенностям цианобактерии (ЦБ) способны адаптироваться к экстремальным условиям. Некоторые виды ЦБ могут оптимизировать существование растений, обеспечивая их доступными формами азота и переводя токсиканты в недоступные для корней формы [7]. Интересны ЦБ в качестве потенциальных деструкторов загрязнителей или как компонент в системе растение – ЦБ – загрязненный субстрат, повышающий устойчивость растений к токсиканту.

Nostoc linckia – гетероцистная цианобактерия, склонна к азотфиксации. Ранее было показано, что МФК (1 мМ) не оказывала су-

щественного действия на жизнеспособность клеток ЦБ [3]. Предварительная обработка семян ячменя цианобактерией *N. linckia* индуцировала процессы антиоксидантной защиты в клетках ячменя в условиях загрязнения МФК [8].

Целью работы было оценить влияние цианобактерии *Nostoc linckia*, присутствующей в среде выращивания, на жизнедеятельность растений ячменя при действии метилфосфоновой кислоты.

Объекты и методы

Объектами исследования были растения ячменя сорта Новичок. Культура ЦБ *N. linckia* (Roth) Born. et Flah шт. 271 для опытов была предоставлена кафедрой биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятской ГСХА из коллекции фототрофных микроорганизмов. Возраст культуры 2 мес.

Семена ячменя проращивали в чашках Петри на дистиллированной воде. Семидневные проростки пересаживали на водную культуру: питательный раствор Кнопа (контроль); раствор Кнопа с добавлением ЦБ (к+цб); растворы МФК, приготовленные на растворе Кнопа (0,5 и 1 мМ), и аналогичные растворы МФК на растворе Кнопа, с добавлением ЦБ: раствор МФК (0,5 мМ) + ЦБ, раствор МФК (1 мМ) + ЦБ. Титр ЦБ в растворах составил 87375 кл/мл.

Изучали функциональный статус растений ячменя по биохимическим показателям (интенсивность процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ), содержание пластидных и антоциановых пигментов в листьях).

Интенсивность ПОЛ анализировали по цветной реакции тиобарбитуровой кислоты с малоновым диальдегидом (МДА) – основным продуктом ПОЛ [9].

Антоцианы экстрагировали из листьев 1%-ным раствором соляной кислоты. Количественное определение антоцианов проводили в соответствии с методикой при 510 и 657 нм [10].

Содержание хлорофиллов а, б и каротиноидов определяли фотометрически в ацетоновой вытяжке при длинах волн 662, 644 нм (хлорофиллы) и 440,5 нм (каротиноиды) в 3-кратной повторности [11].

Результаты исследования

Действие на растения неблагоприятных факторов любой природы приводит к ряду неспецифических ответных реакций, к ним относят образование активных форм кислорода (АФК) в растительных клетках и разви-

тие окислительного стресса [9]. Перекисное окисление липидов (ПОЛ) – цепной процесс свободнорадикального окисления, в ходе которого изменяется структура многих молекул, в том числе белков, ДНК, уменьшается стабильность мембран, происходит инактивация ферментов, образуются дефекты в липидном слое мембран, увеличивается ионная проницаемость липидного биослоя и, как следствие, происходит утечка электролитов клетка оказывается в условиях энергетического голода [12].

Изучено накопление в растительных клетках продукта ПОЛ – малоновый диальдегид (МДА). МФК в низкой концентрации (0,5 мМ) вызывала снижение уровня МДА в корнях ячменя в среднем на 30% по сравнению с контролем. Уменьшение накопления МДА в растительных клетках при действии низких концентраций МФК мы отмечали и ранее, причем снижение интенсивности ПОЛ сопровождалось значительной активацией антиоксидантного фермента пероксидазы [13]. МФК в более высокой концентрации (1 мМ), напротив, инициировала активацию процессов ПОЛ в корнях ячменя, по сравнению с контролем (рис. 1).

Присутствие ЦБ в среде выращивания также приводило к повышенному накоплению МДА в клетках корней растений. По-видимому, ЦБ, присутствующие в среде выращивания и непосредственно контактирующие с корнями растений, являются стрессовым фактором, под влиянием которого запускаются окислительные процессы в клетках корней.

При совместном действии ЦБ и МФК (0,5 мМ) содержание МДА в растительных

клетках также было достоверно выше, чем в опыте с действием 0,5 мМ МФК, и было близко к накоплению МДА в варианте с ЦБ. В варианте с совместным действием ЦБ и 1 мМ МФК на растения уровень МДА в растительных клетках был близок к контролю.

Изменения интенсивности процессов ПОЛ в листьях были более выражены, по сравнению с корнями, что, по-видимому, обусловлено спецификой протекания окислительных процессов в фототрофных клетках. С увеличением концентрации МФК в среде выращивания повышалось содержание в листьях МДА (рис. 1). Присутствие в водной культуре ЦБ также приводило к активации процессов ПОЛ в клетках ячменя. В варианте с совместным действием на растения 0,5 мМ МФК и ЦБ отмечали усиление интенсивности процессов ПОЛ, по сравнению с отдельным действием ЦБ и МФК. Напротив, интенсивность процессов ПОЛ в листьях растений в варианте с действием 1 мМ МФК и ЦБ была меньше на 10%, чем при действии 1 мМ МФК. Ранее было отмечено, что цианобактериальная инокуляция семян приводила к снижению интенсивности процессов ПОЛ в листьях растений ячменя, выращенных в присутствии МФК, но эти изменения были выражены в большей степени [8]. Различия в ответных реакциях, возможно, обусловлены способами цианобактериальной обработки: инокуляция семян и присутствие ЦБ в среде выращивания (водная культура).

Выявлена сильная корреляция между интенсивностью процессов ПОЛ в листьях и накоплением каротиноидов – пластидных пигментов, относящихся к группе низкомолекулярных антиоксидантов.

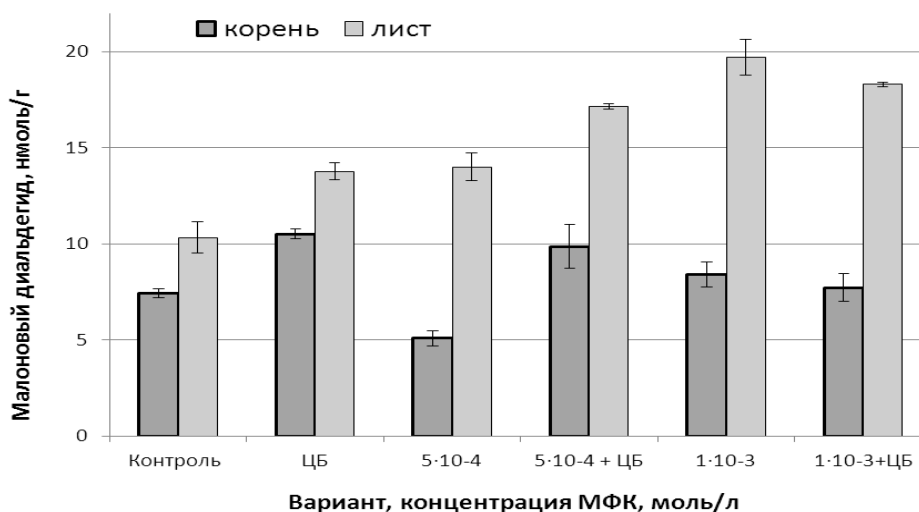


Рис. 1. Влияние метилфосфоновой кислоты и ЦБ *N. linckia* на содержание малонового диальдегида в корнях и листьях ячменя

В листьях опытных растений уровень каротиноидов был достоверно ниже контрольного. Максимально уровень пигментов снижался при воздействии МФК (0,5 мМ) (табл.). Присутствие ЦБ в среде выращивания вызвало сокращение количества желтых пигментов в листьях в 1,4 раза по сравнению с контролем. Добавка ЦБ и МФК стимулировали накопление пигмента, по сравнению с действием чистой МФК. В большей степени данный эффект проявился в варианте с совместным действием на растения 0,5 мМ МФК и ЦБ.

Было изучено накопление в листьях вакуолярных пигментов – антоцианов, которые являются низкомолекулярными антиоксидантами, входящими в состав стрессо-защитной системы растений. Содержание антоцианов, выполняющих фоторецепторную, защитную и антиоксидантную функции, может являться наиболее эффективным показателем физиологического состояния растений, находящихся в стрессовых условиях [14].

В вариантах с присутствием в среде ЦБ и действием 0,5 мМ МФК содержание антоцианов в листьях было близко к контролю (рис. 2). МФК (1 мМ) стимулировала накопление пигмента, его содержание в листьях было в 2,4 раза выше, чем в контроле. Добавка ЦБ к растворам МФК разной концентрации вызвала различные эффекты. Совместное действие ЦБ и 0,5 мМ МФК стимулировало накопление антоциановых пигментов в листьях. Содержание пигментов было в 2,4 раза выше, чем в варианте с действием 0,5 мМ МФК. Совместное присутствие в среде выращивания ЦБ и 1 мМ МФК, напротив, приводило к снижению уровня антоцианов в листьях, по сравнению с действием 1 мМ МФК.

Известно, что одним из показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к новым экологическим условиям является содержание зеленых пигментов – главных фоторецепторов фотосинтезирующей клетки [15].

Таблица

Влияние метилфосфоновой кислоты и цианобактерии *N. linckia* на содержание пластидных пигментов в листьях ячменя

Вариант	Содержание пигментов, мг/г сухой массы		
	хлорофиллы		каротиноиды
	а	б	
Контроль	4,79±0,30	2,54±0,45	1,27±0,001
ЦБ	3,76±0,11*	1,53±0,17*	0,63±0,23*
МФК (0,5 мМ)	3,56±0,13*	1,79±0,03*	0,62±0,12*
МФК (0,5 мМ) +ЦБ	4,94±0,06	2,50±0,20	0,92±0,16*
МФК (1 мМ)	4,11±0,14*	1,49±0,10*	0,94±0,01*
МФК (1 мМ) +ЦБ	4,63±0,21	1,48±0,18*	0,99±0,10*

Примечание *Различия между контролем и опытом достоверны при P≥0,05.

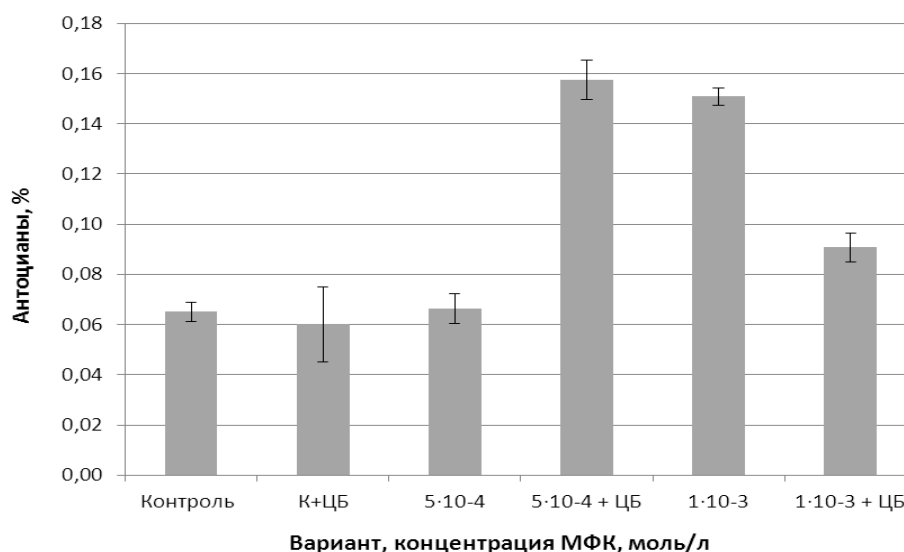


Рис. 2. Влияние метилфосфоновой кислоты и ЦБ *N. linckia* на содержание антоциановых пигментов в листьях ячменя

Установлено, что МФК вызывала снижение уровня хлорофиллов в листьях ячменя. Присутствие в среде выращивания ЦБ также приводило к уменьшению содержания зеленых пигментов. Наличие ЦБ в загрязненном МФК субстрате индуцировало накопление хлорофиллов в листьях, по сравнению с действием МФК. В большей степени действие ЦБ на пигментный комплекс проявилось в варианте с загрязнением среды выращивания 0,5 мМ МФК. Содержание хлорофиллов в листьях опытных растений в варианте с совместным действием ЦБ и 0,05 мМ МФК было близко к контролю. Поддержание количества хлорофиллов на уровне контроля, возможно, обусловлено активацией антиоксидантной защиты в клетках. Так, в варианте с совместным действием ЦБ и 0,05 мМ МФК отмечено повышенное накопление веществ с антиоксидантными свойствами – каротиноидов и антоцианов.

В опыте с совместным действием на растения ЦБ и 1 мМ МФК содержание хлорофилла *b* в листьях ячменя было снижено, по сравнению с контролем и вариантом с действием 1 мМ МФК. Уровень хлорофилла *a*, напротив, был выше по сравнению с действием 1 мМ МФК и близко к контролю, что свидетельствует о большей устойчивости хлорофилла *a*, входящего в состав фотосистем, к совместному действию ЦБ и 1 мМ МФК.

Заключение

Таким образом, было изучено влияние присутствия ЦБ и МФК в среде выращивания на растения ячменя в условиях водной культуры. Установлено, что ЦБ и МФК вызывали изменение интенсивности окислительных процессов в растительных клетках. Изменения интенсивности процессов ПОЛ были выявлены и в листьях, и в корнях растений, которые непосредственно контактировали с ЦБ и МФК. Активация процессов ПОЛ в корнях опытных растений свидетельствует о повышении уровня АФК в клетках.

В листьях активация процессов ПОЛ проявилась более значительно, по сравнению с корнями. Наряду с накоплением продуктов ПОЛ в клетках отмечали изменения в накоплении низкомолекулярных антиоксидантов – каротиноидов и антоцианов. Выявлена тесная корреляция между накоплением МДА и уровнем каротиноидов в листьях опытных растений. Значительное повышение уровня антоцианов отмечено в вариантах с действием 1 мМ МФК и совместным действием ЦБ и МФК. Вероятно, в данных вариантах происходила максимальная активация окислительных процессов в растительных клетках, что подтверждается данными о накоплении продуктов ПОЛ.

Содержание хлорофиллов в листьях находилось в зависимости с интенсивностью процессов ПОЛ и уровнем каротиноидов и антоцианов. В листьях опытных растений, за исключением варианта с совместным действием 0,5 мМ МФК и ЦБ, отмечали снижение накопления хлорофиллов. В варианте с присутствием в среде выращивания 0,5 мМ МФК и ЦБ содержание зеленых пигментов было близко к контролю.

Присутствие ЦБ в среде выращивания не оказывало выраженного защитного эффекта на растения в условиях загрязнения МФК, как это было установлено в опытах с цианобактериальной обработкой семян [8]. Выявленная особенность свидетельствует о менее эффективном действии на растения ЦБ *N. linckia*, находящихся в водной культуре.

Библиографический список

1. Савельева Е.И., Зенкевич И.Г., Кузнецова Т.А., Радилов А.С., Пшеничная Г.В. Исследование продуктов превращений фосфорорганических отравляющих веществ методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии // Российский химический журнал. – 2002. – Т. XLVI. – № 6. – С. 82-91.
2. ГН 2.1.7.2609 – 10. «Ориентировочная допустимая концентрация (ОДК) метилфосфоновой кислоты в почве населенных мест районов размещения объектов по хранению и уничтожению химического оружия».
3. Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В., Домрачева Л.И., Огородникова С.Ю. Метилфосфоновая кислота как регулятор биологических процессов в экологических системах: действие на микроорганизмы, ферментативную активность и высшие растения // Теоретическая и прикладная экология. – 2007. – № 2. – С. 78-87.
4. Quinn J.P. Carbon-phosphorus bond cleavage by Gram-positive and Gram-negative soil bacteria / J.P. Quinn, J.M.M. Peden, R.E. Dick // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 1989. – Vol. 31. (3). – P. 283-287.
5. Schowanek D. Phosphonate utilization by bacterial cultures and enrichments from environmental samples / D. Schowanek, W. Verstraete // Appl. Environ. Microbiol. – 1990. – Vol. 56 (4). – P. 895-903.
6. Ternan N.G. Organophosphonate utilization by the thermophile geobacillus caldoxylosilyticus / N.G. Ternan, G. McMullan // FEMS Microbiol. Lett. – 2000. – Vol. 184. – P. 237-400.
7. Панкратова Е.М., Зяблых Р.Ю., Калинин А.А., Ковина А.Л., Трефилова Л.В. Конструирование микробных культур на основе синезеленой водоросли *Nostoc Paludosum* Kutz // Альгология. – 2004. – Т. 14. – № 4. – С. 445-458.

8. Коваль Е.В., Огородникова С.Ю. Влияние цианобактерии *Nostoc linckia* на показатели жизнедеятельности растений ячменя, выращенных в модельных опытах в присутствии метилфосфоновой кислоты // *Агрохимия*. – 2014. – № 12. – С. 65-70.

9. Лукаткин А.С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2002. – 208 с.

10. Муравьева Д.А., Бубенчикова В.Н., Беликов В.В. Спектрофотометрическое определение суммы антоцианов в цветках василька синего // *Фармация*. – 1987. – № 5. – С. 28-29.

11. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. – М.: Наука, 1971. – С. 154-171.

12. Биохимия: учеб. для вузов / под ред. Е.С. Северина. – М., 2003. – 779 с.

13. Коваль Е.В., Свинолупова Л.С., Огородникова С.Ю. Оценка токсических эффектов метилфосфоновой кислоты по ответным биохимическим реакциям фототрофных организмов // Теоретическая и прикладная экология. – 2013. – № 1. – С. 89-93.

14. Масленников П.В., Бородей А.В. Антоцианы как тест на нефтяное загрязнение // Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга: матер. II Междунар. симпозиума по биоиндикаторам. – Сыктывкар, 2001. – С. 124-125.

15. Тужилкина В.В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение // *Экология*. – 2009. – № 4. – С. 243-248.

4. Quinn, J.P. Carbon-phosphorus bond cleavage by Gram-positive and Gram-negative soil bacteria / J.P. Quinn, J.M.M. Peden, R.E. Dick // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 1989. – Vol. 31. (3). – P. 283-287.

5. Schowanek, D. Phosphonate utilization by bacterial cultures and enrichments from environmental samples / D. Schowanek, W. Verstraete // *Appl. Environ. Microbiol.* – 1990. – Vol. 56 (4). – P. 895-903.

6. Ternan, N.G. Organophosphonate utilization by the thermophile geobacillus caldoxylosilyticus / N.G. Ternan, G. McMullan // *FEMS Microbiol. Lett.* – 2000. – Vol. 184. – P. 237-400.

7. Pankratova E.M., Zyablykh R.Yu., Kalinin A.A., Kovina A.L., Trefilova L.V. Konstruirovaniye mikrobykh kul'tur na osnove sinezelenoi vodorosli *Nostoc Paludosum* Kutz // *Al'gologiya*. – 2004. – Т. 14. – № 4. – С. 445-458.

8. Koval' E.V., Ogorodnikova S.Yu. Vliyanie tsianobakterii *Nostoc linckia* na pokazateli zhiznedeyatel'nosti rastenii yachmenya, vyrashchennykh v model'nykh opytakh v prisutstvii metilfosfonovoi kisloty // *Agrokhimiya*. – 2014. – № 12. – С. 65-70.

9. Lukatkin A.S. Kholodovoe povrezhdenie teplolyubivyykh rastenii i okislitel'nyi stress. – Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2002. – 208 s.

10. Murav'eva D.A., Bubenichikova V.N., Belikov V.V. Spektrofotometricheskoe opredelenie summy antotsianov v tsvetkakh vasil'ka sinego // *Farmatsiya*. – 1987. – № 5. – С. 28-29.

11. Shlyk A.A. Opredelenie khlorofillov i karotinoidov v ekstraktakh zelenykh list'ev // *Biokhimicheskie metody v fiziologii rastenii*. – М.: Nauka, 1971. – С. 154-171.

12. *Biokhimiya* // pod red. E.S. Severina. – Ucheb. dlya vuzov. – М., 2003. – 779 s.

13. Koval' E.V., Svinolupova L.S., Ogorodnikova S.Yu. Otsenka toksicheskikh effektov metilfosfonovoi kisloty po otvetnym biokhimicheskim reaktsiyam fototrofnyykh organizmov // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. – 2013. – № 1. – С. 89-93.

14. Maslennikov P.V., Borodei A.V. Antotsiany kak test na neftyanoe zagryaznenie // *Mater. II Mezhdunar. simpoziuma po bioindikatoram «Sovremennyye problemy bioindikatsii i biomonitoringa»*. – Syktyvkar, 2001. – С. 124-125.

15. Tuzhilkina V.V. Reaktsiya pigmentnoi sistemy khvoynykh na dlitel'noe aerotekhnogennoe zagryaznenie // *Ekologiya*. – 2009. – № 4. – С. 243-248.

References

1. Savel'eva E.I., Zenkevich I.G., Kuznetsova T.A., Radilov A.S., Pshenichnaya G.V. Issledovanie produktov prevrashchenii fosfororganicheskikh otravlyayushchikh veshchestv metodom gazovoi khromatografii – masspektrometrii // *Rossiiskii khimicheskii zhurnal*. – 2002. – Т. XLVI. – № 6. – С. 82-91.

2. GN 2.1.7.2609-10. «Orientirovochnaya dopustimaya kontsentratsiya (ODK) metilfosfonovoi kisloty v pochve naselennykh mest raionov razmeshcheniya ob'ektov po khraneniyu i unichtozheniyu khimicheskogo oruzhiya».

3. Ashikhmina T.Ya., Kondakova L.V., Domracheva L.I., Ogorodnikova S.Yu. Metilfosfonovaya kislota kak regulyator biologicheskikh protsessov v ekologicheskikh sistemakh: deistvie na mikroorganizmy, fermentativnyuyu aktivnost' i vysshie rasteniya // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. – 2007. – № 2. – С. 78-87.

