

УДК 574.63

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ НОВОГО МЕТОДА
РИЗОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ОТ
ЦЕЗИЯ-137**

А.Н. Михеев¹, О.В. Лапань¹, С.М. Маджд²

¹Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины,
г. Киев, Украина

²Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

Разработано мобильную конструкцию биоплато, биотической составляющей которой являются наземные растения, для очистки водных сред от радиоцезия. Проведен скрининг перспективных видов высших наземных растений, экспериментально определена их способность аккумулировать ионы цезия-137 в условиях водной культуры, которая сопоставлена с аккумулирующей способностью водных макрофитов. Проведена серия экспериментов с несколькими типами субстратов для проращивания семян и роста высших наземных растений в условиях аквакультуры. Сконструированы мини-биоплато и определена их поглотительная способность по отношению к радиоцезию.

Ключевые слова: биоплато, наземные растения, радионуклиды, фитодезактивация, гидроэкосистема.

Введение. Одной из актуальных экологических проблем является очистка природных и техногенных водных экосистем от радиоактивных веществ, которые оказывают значительное канцерогенное действие на человека. Как правило, сточные воды перед сбросом в природные водоемы подвергаются традиционным методам очистки, которые, однако, не позволяют получить воду,

соответствующую большинству критериев воды питьевого качества. И поэтому, вместо традиционных методов, например, дорогостоящего биологического окисления органических веществ активным илом при интенсивном насыщении жидкости воздухом, широкое внедрение приобретает разработка методов очистки контаминированных вод с использованием фитотехнологий различных типов, которые позволяют улучшить экологическое состояние водных экосистем и существенно уменьшить поступление в водоемы остаточных концентраций радиоактивных веществ [1].

Фитотехнологии очистки загрязненных вод, основанные на использовании процессов естественного самоочищения водных объектов с использованием высших водных растений и водной биоты, на сегодня является наиболее рациональными. К таким методам относится метод биоплато для очистки хозяйственно-бытовых, производственных сточных вод и загрязненного поверхностного стока, которые широко используются в Германии, Франции, США, Польши, Дании и других странах мира [2, 3].

Анализ литературных источников [4, 5], посвященных проблемам очистки контаминированных вод, указывает на то, что не только высшие водные растения характеризуются высокими коэффициентами накопления радионуклидов, но и наземные растения в условиях водной культуры имеют такую же способность к аккумуляции, в частности, радиоактивных веществ.

Функционирование существующих типов биоплато, основной составляющей которых являются высшие водные растения, базируется на прохождении загрязненной воды через систему биофильтров, которые расположены на поверхности почвы. Это обстоятельство делает такой тип биоплато ограниченным в отношении мобильности и мощности [6, 7]

Особенностью предлагаемого варианта биоплато является, во-первых, использование высших наземных растений в качестве биотического компонента, и, во-вторых, применение сыпучего инертного компонента, обеспечивающего плавучесть биоплато, механическую прочность которому придает корневая система самих растущих на нем растений.

Существенными преимуществами предложенного метода является высокая эффективность очистки, экологичность, низкая энергоемкость и способность аккумулировать радионуклиды. Такие конструкции с поверхностью любой необходимой площади можно создавать в стационарных условиях и легко транспортировать в необходимые участки, требующие очистки.

Цель работы – разработка плавающей конструкции биоплато для очистки водных экосистем от радионуклидов (на примере ионов цезия-137), биотической составляющей которой являются наземные растения.

В ходе разработки конструкции плавающего биоплато с использованием наземных растений, имеющих максимальную способность к накоплению радионуклидов, были поставлены и решены следующие задачи:

– скрининг видов наземных растений, которые способны расти в условиях повышенной влажности и имеют высокую сорбционную способность относительно радионуклидов;

– испытание различных типов субстратов, которые способны обеспечивать плотную связь с корневой системой и высокую плавучесть конструкции;

– исследование сорбционной способности мини-биоплота с использованием тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) по отношению к ионам цезия-137;

– исследование сорбционной способности мини-биоплота с использованием гороха (*Pisum*) по отношению к цезию-137.

Методика эксперимента.

Для реализации поставленных задач проводили поиск наземных растений с высоким коэффициентом накопления цезия-137, которые способны расти в условиях повышенной влажности. Также проводили испытания различных типов субстратов для создания высокой плавучести и плотной связи с корневой системой растений для обеспечения механической плотности конструкции.

Для работы были использованы семена горчицы (*Sinapis*) – род растений семейства Капустные (*Brassicaceae*); ржи (*Secale*), овса (*Avena*), проса (*Panicum*), кукурузы (*Zea mays*) – представители родов однолетних травянистых растений семейства мятликовые (*Poaceae*); ячменя (*Hordeum*) – одно- или многолетнее растение семейства злаки (*Poaceae*); тимофеевки (*Phleum pratense* L.), овсяницы (*Festuca*) – многолетнее травянистые растения семейства злаки (*Poaceae*);

подсолнечника (*Helianthus L.*) – род растений семейства астровые (*Asteraceae*); льна-долгунца (*Linum usitatissimum*) – однолетнее растение семейства льновые (*Linaceae*); амаранта (*Amaranthus*) – род травянистых однолетних растений семейства амарантовые (*Amaranthaceae*); гороха (*Pisum*) – род цветковых растений из семейства бобовые (*Fabaceae*). Большинство из указанных растений являются гипераккумуляторами радионуклидов.

Кроме поиска растений проводили скрининг субстратов, которые должны были отвечать ряду требований: быть инертными, нетоксичными относительно растений, способными обеспечить достаточный воздухообмен для прорастающих семян, с целью исключения развития патогенной микрофлоры, относительно низкая стоимость. В качестве субстрата для проращивания растительного материала были предложены следующие комбинации инертных и питательных компонентов субстрата: пенопласт, пенопласт + торф, пенопласт + почва.

Методика конструирования биоплато сводилась к: использовали кюветы размером 21•2,5•2,5 см; дно кюветы покрывали слоем гранулированного пенопласта толщиной 1,5 см; сверху пенопласта насыпали слой перлита (70 см³); в кювету наливали 100 мл отстоянной водопроводной воды; пульверизатором увлажняли поверхность субстрата; размещали на поверхности семена: горчицы (20 см³), ржи (20 см³), овса (20 см³), подсолнечника (20 см³), льна (15 см³), проса (15 см³), кукурузы (40 см³), тимофеевки (5 см³), овсяницы (5 см³), ячменя (20 см³),

амаранта (3 см³), гороха (20 см³); насыпали на половину площади кювет перлит (20 см³) и размещали их в термостате при $t = 24^{\circ}\text{C}$.

Культивирование растений на растворе цезия-137 проводили в 0,5-литровых стеклянных емкостях, которые предварительно обрабатывали в течение 3 суток 0,1 М раствором хлорида цезия с целью предотвращения сорбции ионов радиоизотопа цезия внутренней поверхностью емкостей. В качестве водной среды использовали отстоянную водопроводную. Один раз в сутки раствор цезия-137 переливали в сосуд Маринелли для определения удельной активности радионуклида с помощью гамма-спектрометра СЕГ-001 «АПК-С»-63. Исходная удельная активность радиоцезия составляла 3,0 кБк/л, которая по данным предварительных опытов не вызывала заметного влияния на рост и развитие растений. Измерение удельной активности Cs-137 проводили до погрешности измерения 3,8 %.

Результаты и их обсуждение. Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что на 19-й день наблюдения во всех вариантах сочетания пенопласта с такими культурами, как рожь, овес, ячмень, тимофеевка, овсяница, горох, амарант, кукуруза и подсолнечник наблюдали высокую степень связывания субстрата с корневой системой и достаточную плавучесть всей конструкции биоплато (рис. 1), в отличие от комбинации льна с пенопластом. Установлено, что рожь и овес показали лучшие результаты связывания субстрата с корневой системой.



Рис. 1. Связывание корневой системой растений субстрата

Во всех вариантах сочетания торф + пенопласт и почва + пенопласт с растениями отмечено грибковое заражение проростков. В частности, в вариантах опыта, где питательным субстратом выступала почва, растения были сильнее заражены грибковой инфекцией, что, вероятно, было обусловлено меньшей кислотностью, чем в вариантах с торфяным питательным субстратом. В вариантах сочетания пенопласта с горчицей и просом отмечали незначительное грибковое заражение.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что из испытываемых субстратов лучшим оказался сам по себе пенопласт, а из растений – ячмень, овес, горох, кукуруза и тимopheевка. Вероятно, не целесообразно использовать для крупносемянных культур комбинации с питательным субстратом, поскольку запаса питательных веществ семядолей и эндосперма достаточно, чтобы получить хорошо развитые проростки, обеспечивающие связывание частиц инертного

субстрата своей корневой. Также установлено, что добавление перлита поверх семян в процессе их прорастания не улучшает эффект прорастания семян.

Следующей задачей было изучение сорбционных свойств растений тимopheевки относительно цезия-137. Для этого сконструировали мини-биоплато, которые размещали в емкости с раствором радиоцезия (рис. 2).

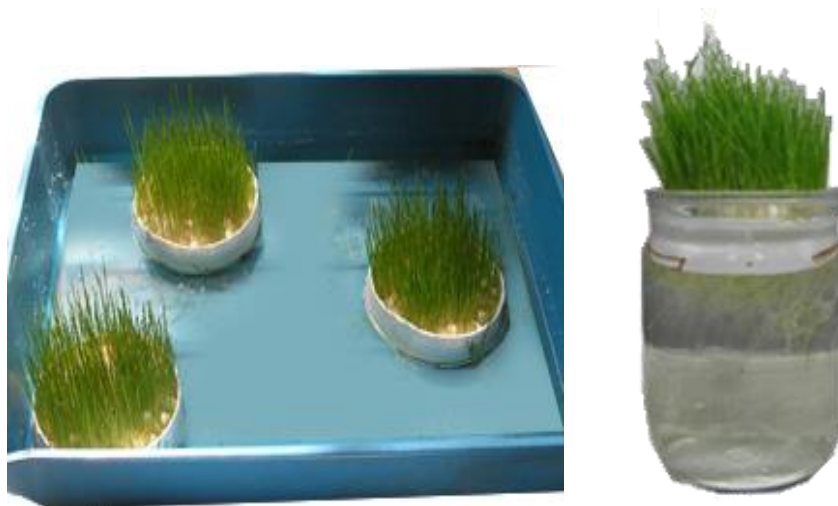


Рис. 2. Общий вид условий проращивания семян тимopheевки на минибиоплато и условий определения его сорбционной способности по отношению к цезию-137

Сконструированное мини-биоплато показало высокую степень связывания субстрата корневой системой тимopheевки и хорошую плавучесть. Наблюдение поглощающей способности растений тимopheевки относительно радиоцезия проводили в течение 14 дней. Результаты данного эксперимента представлены на рис. 3.

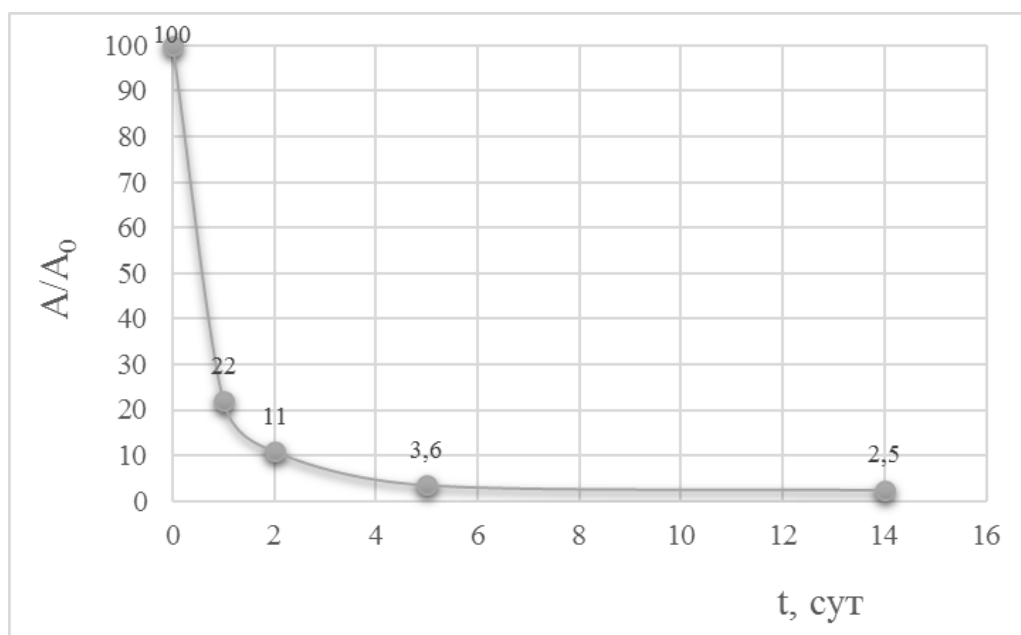


Рис. 3. Динамика поглощения цезия-137 мини-биоплатами с растениями тимopheевки в качестве биотического компонента

Установлено, что уже через 24 ч уровень исходной активности уменьшился более чем на 80 %, а через 48 ч – на 90%. На пятые сутки инкубации биоплата на растворе цезия-137 эффект очистки воды составил почти 97%, что происходило только за счет поглощающей способности растений тимopheевки. Последнее утверждение основано на том, что предварительное определение накопления Cs-137 другими компонентами биоплата (пенопласт и перлит) показало их незначительный вклад в общий объем поглощенного из водного раствора радиоцезия.

Проведена оценка сорбционной способности мини-биоплато по отношению к ионам цезия-137, где в качестве биотического компонента использованы растения гороха (рис. 4).

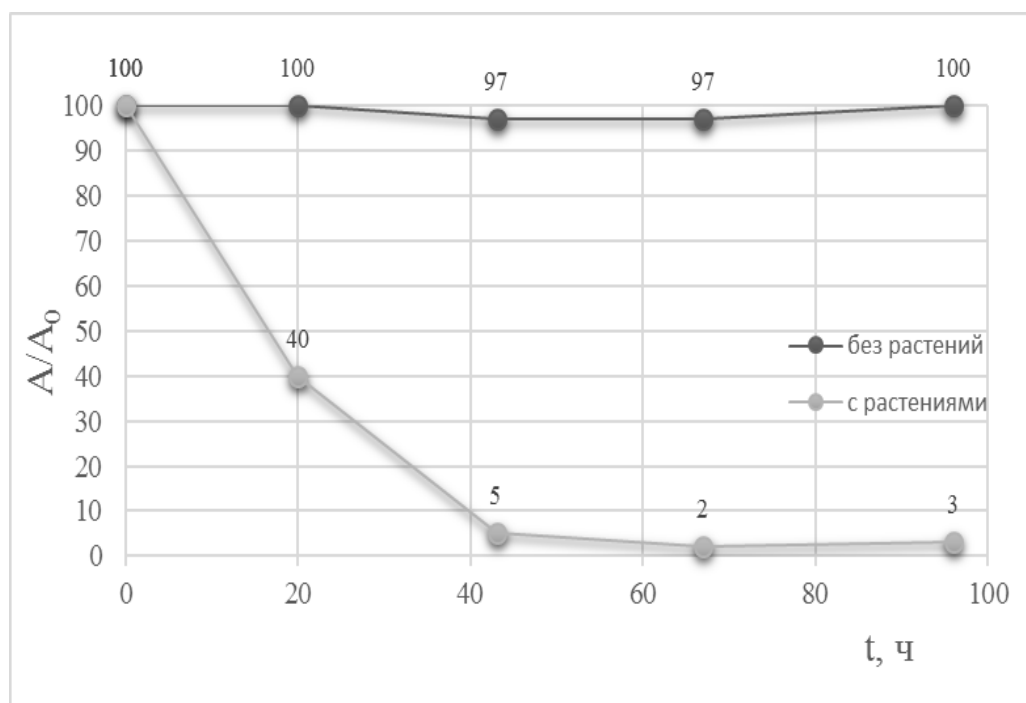


Рис. 4. Динамика поглощения цезия-137 растениями гороха

Представленные результаты показывают, что уже через 20 ч уровень исходной активности цезия-137 уменьшился более чем в два раза, а через 67 ч эффект очистки воды от радионуклида составил 98%. В отсутствие растений гороха активность водного раствора практически не изменялась.

Выводы. Таким образом, для очистки загрязненных вод от радионуклидов (на примере радиоцезия) разработан новый способ конструирования плавающей конструкции биоплато, биотической составляющей которой являются наземные

растения. Осуществлен поиск перспективных видов наземных растений, способных нормально расти в условиях водной культуры. Показано, что в качестве таких растений лучше всего себя проявили: кукуруза, ячмень, тимофеевка, овсяница, горох и овес. Проведены испытания нескольких типов субстратов, в результате чего выяснилось, что наиболее оптимальным при использовании крупносемянных видов растений является гранулированный пенопласт. Впервые проведены исследования поглощающей способности сконструированных мини-биооплато по отношению к ионам радиоцезия, которые показали, что степень очистки воды с помощью тимофеевки и гороха достигается на уровне 97-98 %.

Предложенная конструкция и элементный состав плавающего биооплато продемонстрировала высокий уровень очистки воды от радионуклидов. С точки зрения применения биооплато в реальных условиях можно сказать, что предполагается либо изымать целиком биооплато из водоема с последующим его озолением (сжиганием) или производить периодические скашивания зеленой массы растений, которую также в дальнейшем подвергать озолению с целью концентрирования радионуклидов цезия.

В дальнейшем предполагается изучить влияние ионов К, Са, Na, Mg в концентрациях, типичных для природных вод, которые, безусловно, будут влиять на поглощение Cs-137, для оценки эффективности применения предложенной технологии на практике.

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ОСНОВИ НОВОГО МЕТОДУ
РИЗОФІЛЬТРАЦІЙНОЇ ОЧИСТКИ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ВІД ЦЕЗІЯ-137**

О.М. Міхєєв¹, О.В. Лапань¹, С.М. Маджд²

¹Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України,
м. Київ, Україна

²Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Розроблено мобільну конструкцію біоплато, біотичною складовою якої є наземні рослини, для очищення стічних вод від радіонуклідів. Проведено пошук перспективних вищих наземних рослин, їх здатність акумулювати радіонукліди в умовах водної культури порівняна з акумулюючою здатністю водних макрофітів. Проведена серія експериментів з декількома типами субстратів для пророщування насіння і росту вищих наземних рослин в умовах аквакультури. Сконструйовані міні-біоплато і визначена їх поглинальна здатність по відношенню до радіоцезію.

Ключові слова: біоплато, наземні рослини, радіонукліди, фітодезактивація, гідроекосистема.

**AN EXPERIMENTAL BASIS OF A NEW METHOD OF GARMENT
FILTERING PURIFICATION WATER ECOSYSTEMS FROM CS-137**

O.M. Mixyeyev¹, O.V. Lapan¹, S.M. Madzhd²

¹Institute of Cell Biology and Genetic Engineering NAS of Ukraine

²National Aviation University, Ukraine

Mobile construction of bioplato was developed to treat sewage water from radionuclides. Its biotic component includes terrestrial plants. Search of higher terrestrial plants was conducted. Their ability to accumulate radionuclides in water culture conditions was compared with accumulative ability of water macrophytes. Experiment series with different substrate types were conducted. These substrates were used to grow seeds and higher terrestrial plants in conditions of water culture. Mini-bioplato was designed. Its absorptive ability of radiocesium was defined.

Key words: bioplato, terrestrial plants, radionuclides, phyto-deactivation, hydroecosystems.

Список использованной литературы

- [1] *Крот Ю.Г.* Использование высших водных растений в биотехнологиях очистки поверхностных и сточных вод // Гидробиологический журнал. – 2005. – Т. 42, №1. – С.47-61
- [2] *Маджд С.М.* Досвід експлуатації гідрофітних споруд в Україні та світі / С.М. Маджд // Наукоємні технології. – 2016. – №2. – С. 228–231.
- [3] *Міхєєв О.М.* Адаптація гідрофітної системи для очистки стічних вод підприємств цивільної авіації / О.М. Міхєєв, С.М. Маджд, О.І. Семенова, Т.І. Дмитруха // Хімія і технологія води. – 2015. – №3 – С.574–581
- [4] *Третьякова С.Ю., Федорова О.А., Петров Б.Ф., Семенов Б.Н.* Гидрботанический способ доочистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий // Вестник МГТУ. – 2011. – Т. 14, №4. – С. 837-841.
- [5] *Оксиюк О. П., Олейник Г.Н.* Биоплато и его применение на каналах // Гидротехника и мелиорация. – 1990. – №8. – С.66–70.
- [6] *Wolverton B., Duffer W.* Microorganisms and higher plants for wastewater treatment// J. Environ. Qual. – 1998. – 12. – P. 236–242.
- [7] *Тихоненко О.М., Міхєєв О.М.* Дослідження поглинальної здатності в умовах впливу стресорів за допомогою методу залишкової радіоактивності // Вісник національного авіаційного університету, 2012, № 3 (52), с. 126-130.



Рис. 1. Связывание корневой системой растений субстрата



Рис. 2. Общий вид опыта по определению сорбционной способности мини-биоплато

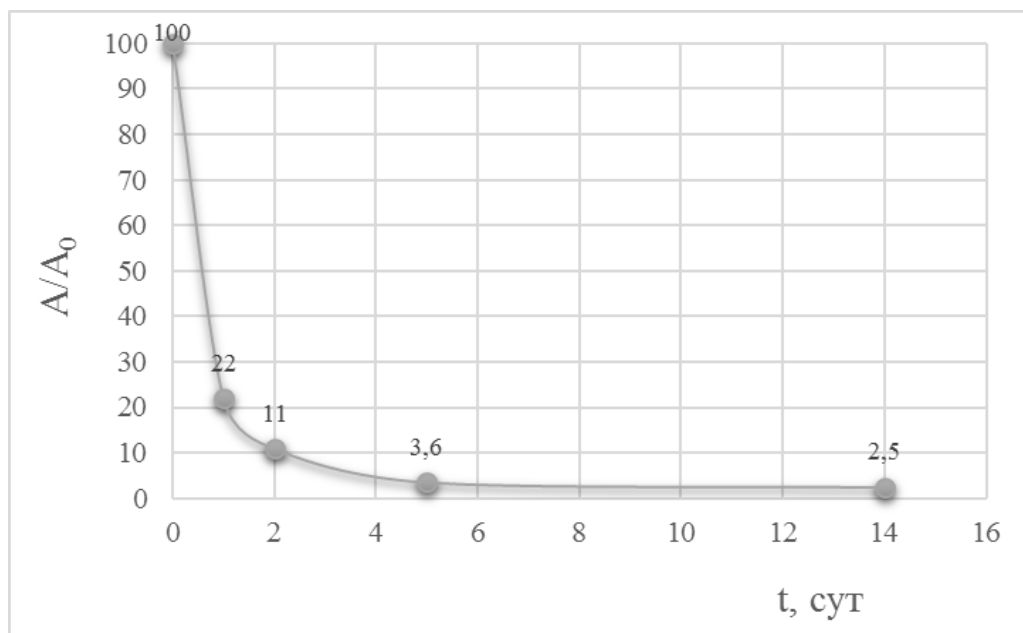


Рис. 3. Динамика поглощения цезия-137 мини-биоплотами с тимофеевкой в качестве биотического компонента

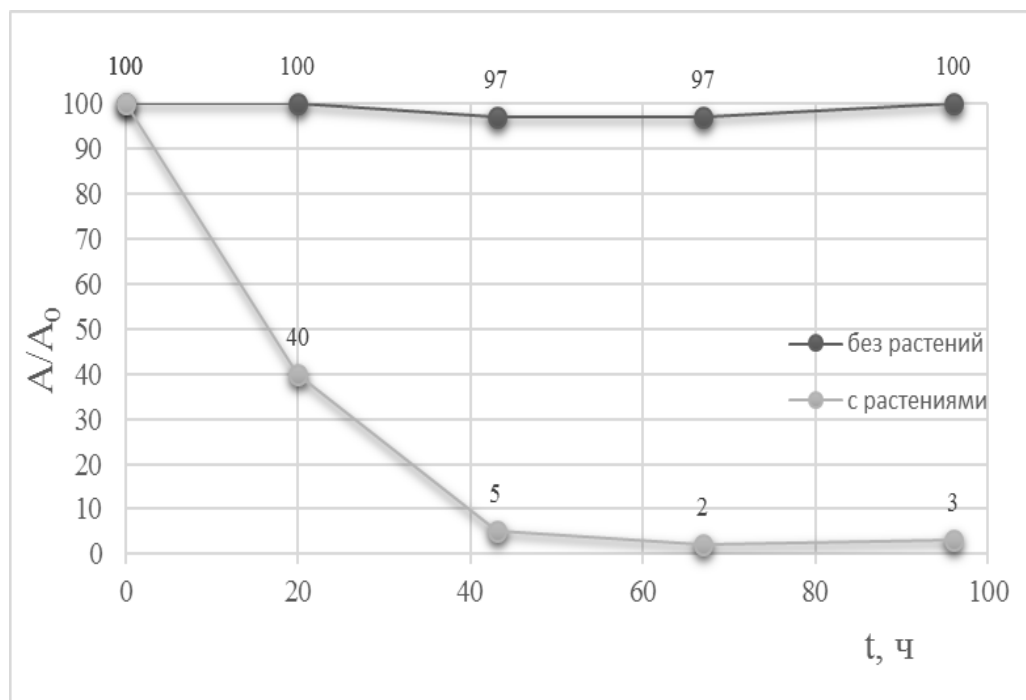


Рис. 4. Динамика поглощения цезия-137 растений гороха

Михеев Александр Николаевич

Доктор биологический наук, старший научный сотрудник

Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины.

Служебный адрес – ул. Акад. Заболотного, 148, г. Киев, 03143, Украина

Домашний адрес – ул. акад. Вильямса 3а, кв. 149, г. Киев, Украина

Т. р. (044) 257-82-44

E-mail: mikhalex7@yahoo.com

Лапань Оксана Владимировна

Аспирант

Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины.

(Автор, с которым редакция может вести переписку)

Служебный адрес – ул. Акад. Заболотного, 148, г. Киев, 03143, Украина

Домашний адрес – ул. Металлистов, 6, кв. 5-20, г. Киев, Украина

Т. м. (063)95-96-976

E-mail: k.lapan@mail.ru

Маджд Светлана Михайловна

Кандидат технических наук, доцент

Национальный авиационный университет

Служебный адрес – пр. Комарова, 1, г. Киев, 03680, Украина

Домашний адрес – ул. Гетьмана Вадима 1В, кв.162А. г. Киев, 03057, Украина

Т. р. (044) 406-78-90

Т. м. (063) 82-77-333

Т. дом. (044) 456-50-85

E-mail: madzhd@i.ua

Mikhyeyev Olexandr Mykolayovych. Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Science of Ukraine.

Lapan Oksana Volodymyrivna. Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Science of Ukraine.

Madzhd Svitlana Mychaylivna. National Aviation University.