

УДК 574.63

**РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА РИЗОФИЛЬТРАЦИОННОЙ
ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ
ХРОМА (VI)**

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

k.lapan@ukr.net

Разработана мобильная конструкция биоплато для очистки сточных вод от ионов хрома, биотической составляющей которой являются наземные растения. Проведен поиск видов высших наземных растений, в условиях водной культуры обладающими высокой способностью аккумулировать хром, и субстрата, пригодного для роста высших наземных растений в условиях аквакультуры. Изучена поглотительная способность сконструированных биоплато по отношению к хрому (VI).

Ключевые слова: биоплато, наземные растения, хром (VI), фитодезактивация.

Одной из наиболее актуальных экологических проблем является разработка средств очистки загрязненных природных вод от тяжелых металлов, оказывающих

токсическое воздействие на биоту, примером которых является хром (VI). Как известно, сточные воды перед сбросом в водоемы подвергаются традиционным методам очистки, которые, однако, не позволяют получить воду, соответствующей большинству критериев качества воды [1,2]. В связи с этим, важной задачей является разработка эффективных мер по очистке водных объектов от соединений хрома (VI).

Широкое внедрение приобретает разработка методов очистки водных объектов с использованием фитотехнологий различных типов, позволяющих улучшить экологическое состояние водных экосистем и существенно уменьшить поступление в водоемы остаточных концентраций химических веществ при значительно меньших затратах на системы очистки. К таким методам, в частности, относится биоплато, в котором используют высшие водные растения [3, 4].

Анализ литературы, посвященной проблемам очистки водных объектов, указывает на то, что не только высшие водные растения характеризуются высокими коэффициентами накопления ионов хрома, но и наземные растения в условиях водной культуры имеют такую же способность к аккумуляции токсичных веществ [5-7]. Как правило, существующие типы биоплато, через систему биофильтров которых проходит загрязненная вода, расположены на поверхности почвы. Это обстоятельство делает такой тип биоплато ограниченным в отношении мобильности и эффективности. Для повышения эффективности

функционирования биоплато нами предложен вариант плавающей конструкции, биотической составляющей которой являются наземные растения. Основными преимуществами этого метода является практически нулевая энергоемкость, высокая степень очистки, экологическая безопасность и способность быстро аккумулировать различные типы загрязняющих веществ.

Для повышения эффективности функционирования биоплато предложен вариант плавающей конструкции, биотической составляющей которой являются наземные растения, механическая прочность которых со временем возрастает за счет корневой системы растений. В качестве субстрата предполагается использовать такой субстрат для выращивания растений, который бы легко утилизировался (например, путем сжигания) и обеспечивал плавучесть биоплато.

Цель работы – разработка плавающей конструкции биоплато («биоплота») для очистки водных объектов от хрома (VI), биотической составляющей которой являются наземные растения.

В ходе разработки плавающего биоплато с использованием наземных растений, имеющих максимальную способность к накоплению ионов хрома (VI), были поставлены следующие задачи:

- поиск видов наземных растений, способных расти в условиях повышенной влажности, с высокой сорбционной способностью относительно растворимых соединений хрома (VI);

- испытание различных типов субстратов, обеспечивающих тесную механическую связь с корневой системой и высокую плавучесть конструкции;
- определение поглощающей способности биоплато с различным видовым составом растений относительно хрома (VI).

Методика эксперимента.

На первом этапе исследования осуществляли поиск наземных растений с высоким коэффициентом накопления хрома (VI), которые способны расти в условиях повышенной влажности. Для работы были использованы семена: ржи, кукурузы, ячменя, овса, овсяницы, щирицы, тимофеевки и льна.

Вторым этапом при конструировании плавучего биоплато был поиск субстрата для развития и роста растений. Использованные субстраты должны быть нетоксичными относительно растений; способными обеспечить достаточный воздухообмен для прорастающих семян с целью исключения развития патогенной микрофлоры; относительно дешёвыми. В качестве субстрата были использованы керамзит, гранулированный пенопласт, вермикулит, корковая пробка.

Следующим этапом в конструировании плавучего биоплато было комбинирование различных вариантов семян и субстрата для обеспечения высокой плавучести и плотной связи с корневой системой растений.

Конструирование биоплато происходило по следующей схеме: 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, см³: ржи (20), овса (20), льна (15), кукурузы (40), тимофеевки (5), овсяницы (5), ячменя (20), щиряцы (5) и размещали их в термостате при $t = 24^{\circ}\text{C}$.

В качестве растений-накопителей хрома (VI) были использованы кукуруза, тимофеевка и овсяница. Методику конструирования биоплато не меняли, а проращивание происходило в термостате при температуре 24°C в условиях 8 ч темноты и 16 ч освещения во влажной камере. После 8 суток проращивания семян биоплато размещали в эксикаторах с раствором Cr(VI) ($C = 0,01$ мг/л). Образцы раствора (50 мл) отбирали на 8, 16 и 24 сутки. Также, в качестве контрольного варианта было использовано биоплато, состоящее только из субстрата (то есть без растений), которое размещали в эксикаторах с соответствующим раствором Cr(VI).

Для определения содержания Cr(VI) образцы каждого варианта фильтровали (0,45 мкм). Определение хрома в водных образцах осуществляли на эмиссионном спектрометре ICP-MS Agilent 7700x в Институте физиологии растений и генетики НАН Украины по протоколу EPA 6020A [EPA. 1998. "Method 6020A (SW-846): Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry," Revision 1]. Все растворы готовили на воде 1-го класса (18 Мом), подготовленной на системе

очистки воды Scholar-UV Nex Up 1000 (Human Corporation, Корея). В качестве калибровочных стандартов использовали растворы Standard solution IV-ICPMS-71A фирмы Inorganic Ventures, USA. Каждый образец анализировали независимо 3 раза.

Степень очистки хрома (VI) (CO , %) рассчитывали следующим образом:

$$CO = \frac{(C_0 - C_p)}{C_0} \cdot 100 \quad ,$$

где C_0 , C_p – исходные и равновесные концентрации хрома, мг/л.

Результаты и их обсуждение. Данные экспериментальных исследований свидетельствуют, что сочетание вермикулита и корковой пробки с овсяницей, тимофеевкой, щирцей и льном не позволило получить достаточное прочное связывание субстрата с корневой системой, в отличие от сочетания их с овсом, кукурузой, ячменем и рожью, когда корневая система все же была слабо связана с субстратом. Все варианты опытов с использованием вермикулита не обеспечили необходимой плавучести биоплато. Достаточная степень связывания субстрата с корневой системой и высокая плавучесть биоплато были достигнуты при сочетании пенопласта со щирцей, льном, тимофеевкой и овсяницей, а наилучший эффект наблюдался при сочетании пенопласта с кукурузой, овсом, ячменем и рожью. На рис. 1 видно, как корневая система кукурузы связана с пенопластом.

Таким образом, из испытываемых субстратов лучшим оказался пенопласт, а из растений – ячмень, овес, кукуруза и рожь. С целью получения еще более плотного

биоплато необходимо оптимизировать размер частиц субстрата и подбирать растения с соответствующим размером семян и типом корневой системы.



Рис. 1. Связывание корневой системой кукурузы субстрата

Для обеспечения более полного контакта прорастающих семян с субстратом был использован перлит, который в сочетании с пенопластом создавал дополнительный капиллярный эффект, что обеспечивало условия для более быстрого прорастания семян. Компоненты биоплато были размещены в такой последовательности: пенопласт – перлит – семена. При этом было установлено, что семена прорастали гораздо быстрее, а корневая система хорошо связывала субстрат (рис. 2).



Рис. 2. Испытание плавучести биоплато в лабораторных условиях

Для минимизации краевого эффекта (рыхлости по краям биоплато) была применена мелкопористая сетка, которая позволила увеличить общую плотность биоплато (рис. 3).



Рис. 3. Конструирование биоплато с использованием сетки

Следующим этапом исследования было определение поглощающей способности биоплато с различным видовым составом растений относительно хрома (VI). Результаты исследования представлены на рис. 4.

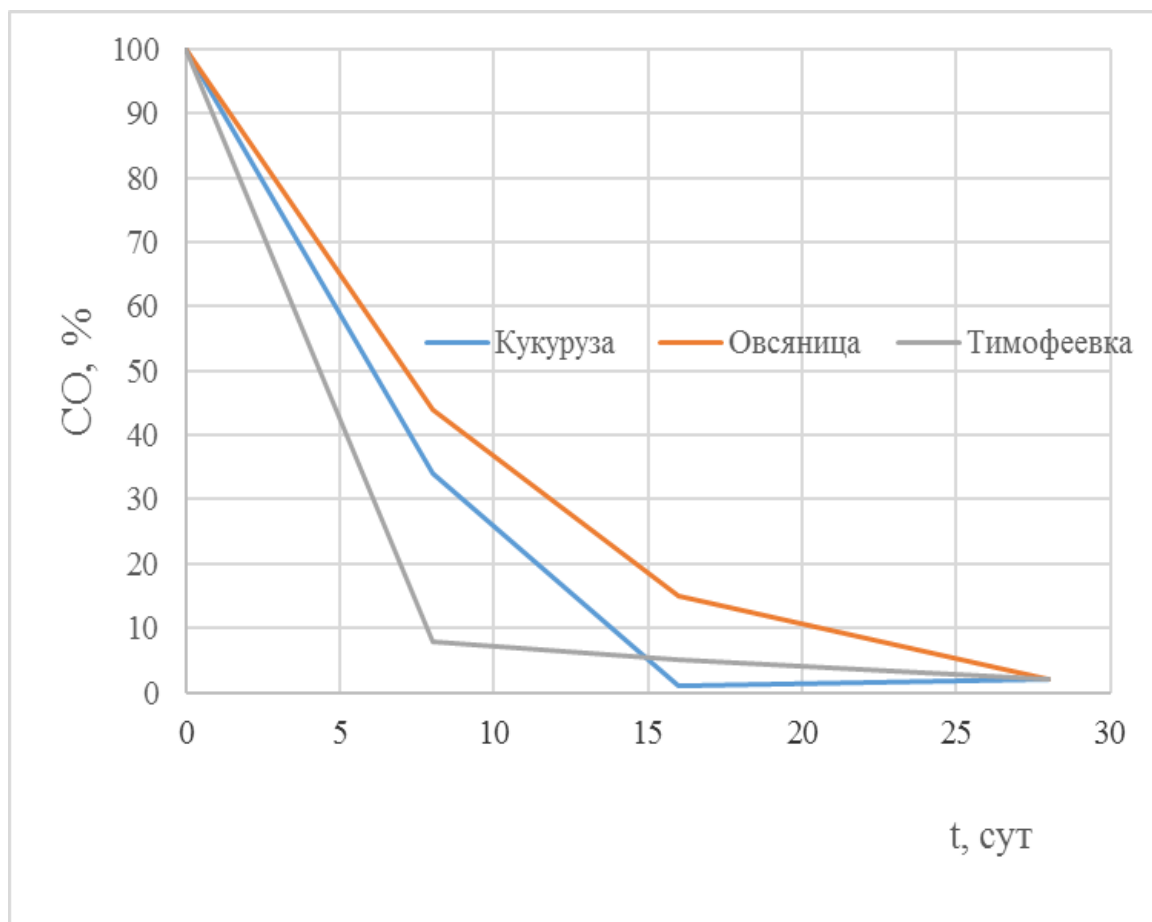


Рис. 4. Влияние продолжительности процесса культивирования биоплато на поглощение Cr(VI)

Было установлено, что уже на восьмые сутки наблюдения среди растений лучшие сорбционные свойства проявила тимофеевка – концентрация хрома (VI) снизилась до 8 %. В конечном итоге, независимо от вида растений,

использованных в биоплоте, эффективность очистки воды от хрома (VI) составила 98 %, что происходило только за счет поглощающей способности растений, так как концентрация ионов хрома (VI) в воде контрольного варианта практически не изменялась.

Сконструированное плавающее биоплато продемонстрировало высокий уровень очистки воды от хрома (VI), что дает основания в дальнейшем предложить алгоритм технологии фитодезактивации, согласно которой на заключительном этапе ее применения предполагается либо извлекать целиком биоплоты из водоемов и в дальнейшем озолить их или осуществлять периодические скашивания зеленой массы и также подвергать ее озолению.

Выводы. Таким образом, разработана новая конструкция плавающего биоплато, биотической составляющей которой являются наземные растения, для очистки загрязненных вод от ионов хрома. Осуществлен поиск перспективных видов наземных растений, способных расти в условиях повышенной влажности. На основе проведенных испытаний показано, что в качестве таких растений более высокая сорбционная способность наблюдалась для кукурузы, овсяницы и тимофеевки, а наибольшая плавучесть наблюдалась при использовании гранулированного пенопласта. Все исследованные виды растений биоплато показали высокую эффективность очистки воды от ионов хрома (VI), которая составляла 98 %.

РОЗРОБКА НОВОГО МЕТОДУ РИЗОФІЛЬТРАЦІЙНОЇ ОЧИСТКИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ВІД ХРОМУ (VI)

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 для очищення стічних вод від іонів хрому, біотичною складовою якої є наземні рослини. Здійснений пошук видів вищих наземних рослин, які в умовах водної культури мають високу здатність акумулювати хром, та субстрату придатного для розвитку й росту вищих наземних рослин в умовах аквакультури. Вивчено поглинальну здатність сконструйованих біоплато по відношенню іонів хрому (VI).

Ключові слова: біоплато, наземні рослини, хром (VI), фітодезактивація.

**DEVELOPMENT OF A NEW METHOD OF GARMENT FILTERING
PURIFICATION WATER OBJECTS FROM CHROME (VI)**

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 chromium. Its biotic component includes terrestrial plants. Search of suitable higher terrestrial plants species and substrate was done. Such species should have high ability to accumulate chromium in terms of water cultures. The substrate should be suitable for development and growth of higher terrestrial plants in aquaculture conditions. Absorption capacity of the designed bioplato against ions of chromium (VI) was studied.

Key words: bioplato, terrestrial plants, Cr(VI), phyto-deactivation.

Список использованной литературы

[1]. *Стольберг В.Ф.* Биоплато – эффективная малозатратная экотехнология очистки сточных вод / Стольберг В.Ф., Ладыженский В.Н., Спирин А.И. // *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності.* – 2003. №3. – С.3234.

[2]. *Гончарук В. В.* Современное состояние и перспективы эколого-экономической безопасности шельфа в районе острова Змеиный / В. В. Гончарук, Г. А. Белявский, Ю. Н. Саталкин, Л. А. Мельник, И. Д. Кудрик, К. Д. Николаев // *Химия и технология воды.* - 2010. - 32, № 2. - С. 203-218.

[3]. *Кравець В.В., Мережко О.І.* Спосіб біологічного очищення поверхневих вод. Патент. 3550345/SU. // *Промислова вартість.* –1983. № 3.

[4]. *Крот Ю.Г.* Использование высших водных растений в биотехнологиях очистки поверхностных и сточных вод // *Гидробиологический журнал.* – 2005. – Т. 42, №1. – С.47-61.

[5]. *Михеев А.Н.* Экспериментальные основы нового метода ризофльтрационной очистки водных экосистем от цезия-137 / А.Н. Михеев, О.В. Лапань, С.М. Маджд, // *Химия и технология воды.* – 2017. – 3, №4. – С. 439–446.

[6]. *Міхеєв О.М.* Адаптація гідрофітної системи для очистки стічних вод підприємств цивільної авіації / О.М. Міхеєв, С.М. Маджд, О.І. Семенова, Т.І. Дмитруха // *Хімія і технологія води.* – 2015. – №3 – С.574–581.

[7]. *Маджд С.М.* Досвід експлуатації гідрофітних споруд в Україні та світі /
С.М. Маджд // Наукоємні технології. – 2016. – №2. – С. 228–231.



Рис. 1. Связывание корневой системой кукурузы субстрата



Рис. 2. Испытание плавучести биоплато в лабораторных условиях



Рис. 3. Конструирование биоплато с использованием сетки

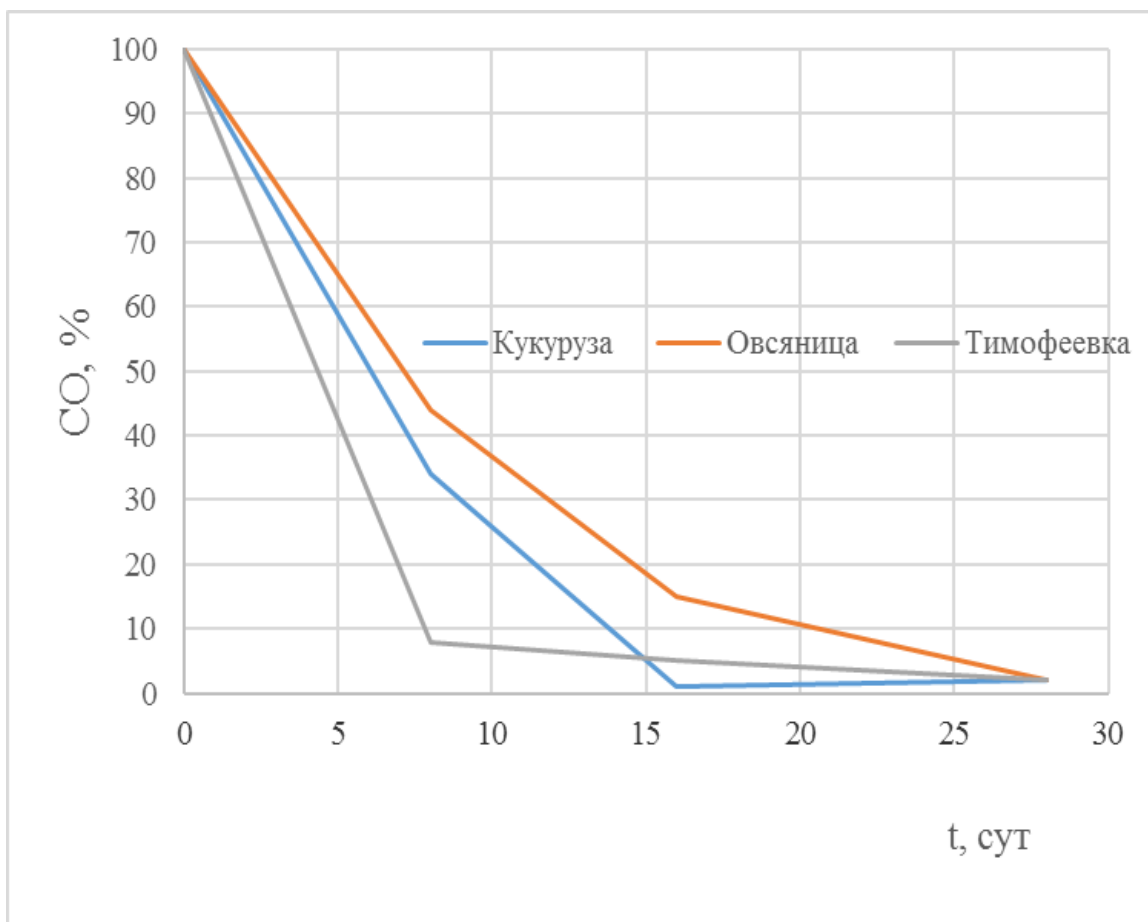


Рис. 4. Влияние продолжительности процесса культивирования биоплато на поглощение Cr(VI)

Михеев Александр Николаевич

Доктор биологических 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@ukr.net

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.