

РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА РИЗОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ZN(II) И CD(II)

О.В. Лапань¹, А.Н. Михеев¹, 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 водных объектов от тяжелых металлов и определены перспективные влагоустойчивые высшие наземные растения - тимофеевка и рожь, которые позволяют достичь максимального эффекта очистки воды. Проведено сравнительное исследование эффективности очистки растениями-гипераккумуляторами на примере ионов цинка (II) и кадмия (II). Установлена прямая зависимость эффективности ризосорбции от плотности выращивания растений в гидрофитной системе.

Ключевые слова: очистка воды, фиторемедиация, биоплато, наземные растения, цинк (II), кадмий (II).

Современный высокий уровень антропогенной нагрузки на биосферу привел к интенсивному загрязнению поверхностных водоемов, в результате чего качество вод не соответствует действующим нормативным показателям. Известно [1-2], что

одними из самых распространенных загрязняющих веществ водных систем являются тяжелые металлы (ТМ), оказывающие мутагенное и канцерогенное воздействие на всех представителей водной биоты [3]. И поэтому актуальной задачей на сегодня является разработка новых и усовершенствование существующих методов очистки водных объектов от ксенобиотиков путем снижения концентраций загрязнителей до уровня санитарно-гигиенических и экологических показателей.

Традиционно для очистки водных объектов применяют механические, химические и физико-химические методы, но в последнее время широкое распространение получил биологический метод, основанный на фитотехнологиях, которые направлены на природные процессы самоочистки водных объектов с использованием высшей водной растительности (ВВР), водной микрофлоры и микроорганизмов. Примером искусственно созданных биоценозов с гидробионтами различных трофических уровней есть биоплато, основным звеном в котором являются ВВР [4-11]. Ряд ученых предлагали использование ВВР для улучшения качества воды еще в 60-х годах XX в. В США такой метод получил название «Constructed wetland», в Украине сооружения типа биоплато действует с 1998 года и является крупнейшим биоинженерным сооружением в Европе [12].

На сегодня известно более 2,5 тыс. эксплуатирующих биоинженерных сооружений в различных странах мира. Существуют поверхностные,

горизонтальные инфильтрационные, вертикальные инфильтрационные и смешанного типа биоплато с точки зрения инженерного проектирования и с учетом гидравлического распределения потоков жидкости. В Украине специалистами научно-инженерного центра «Потенциал-4» вместе с сотрудниками Института гидробиологии НАН Украины предложены различные типы инженерно-биологических сооружений на основе закрытого биоплато гидропонного типа, которые нашли широкое применение в различных отраслях производства для очистки и доочистки сточных вод [13].

Функционирование существующих типов биоплато базируется на прохождении загрязненной воды через систему биофильтров, которые расположены на поверхности почвы [14-15]. Этот факт делает такой тип биоплато ограниченным в отношении мобильности и мощности. В предыдущих исследованиях [16-18] было установлено, что не только ВВР характеризуются высокими коэффициентами накопления поллютантов, но и наземные растения в условиях водной культуры имеют не меньшую способность к аккумуляции ТМ.

Для повышения эффективности функционирования биоплато предложен вариант плавающей конструкции, биотической составляющей которой являются наземные растения. Механическую прочность такой конструкции придает корневая система растений, прорастающая в субстрате, который одновременно обеспечивает и ее плавучесть [19-20].

Преимущества данного метода очистки водных объектов [21] следующие: эффективное удаление различных типов загрязняющих веществ; экологичность, практически нулевая энергоемкость и возможность использования биоплато в эстетических целях для восстановления качества антропогенных ландшафтов.

Цель работы – оптимизация гидрофитного сооружения с целью повышения сорбционной способности наземных растений относительно ТМ (на примере ионов цинка (II) и кадмия (II)).

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

- проверка посевных качеств семян наземных видов растений, устойчивых к подтоплению и кислородному голоданию;
- установление поглощающей способности биоплато с растениями-гипераккумуляторами ТМ относительно ионов цинка (II) и кадмия (II);
- определение влияния плотности выращивания растений на их сорбционную способность.

Методика эксперимента. Для достижения поставленной цели использовали высшие наземные растения с высоким коэффициентом накопления ТМ, которые способны расти в условиях повышенной влажности, морозостойкие и пригодные для использования в качестве кормовой культуры.

Для работы были использованы семена ржи посевной (*Secale cereale*), овса посевного (*Avena sativa*), кукурузы (*Zea mays*) – представители родов однолетних травянистых растений семейства Тонконогов (*Poaceae*); ячменя посевного (*Hordeum sativum*) – одно- или многолетнее растение семейства Тонконогов (*Poaceae*); ежи сборной (*Dactylis glomerata*), мятлика лугового (*Poa pratensis*), тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.), овсяницы луговой (*Festuca pratensis*) – представители многолетних растений семейства Тонконогов (*Poaceae*); люцерны (*Medicago*), клевера ползучего (*Trifolium repens*), клевера лугового (*Trifolium pratense*) – представители многолетних травянистых растений семейства Бобовых (*Fabaceae*).

В качестве субстрата биоплато использовали гранулированный пенополистирол с диаметром гранул 6 мм, который, согласно предварительным исследованиям [22], является наиболее оптимальным при конструировании биоплато, инертным и нетоксичным для растений.

Конструирование биоплато проводили в такой последовательности: дно пластмассовых кювет размером 21×12,5×2,5 см покрывали слоем гранулированного пенопласта толщиной 1,5 см; поверх пенопласта насыпали слой перлита (50 см³); в кювету наливали 100 мл воды; пульверизатором увлажняли поверхность субстрата; на поверхности размещали семена (см³): ежи сборной (10), ржи посевной (25), овса посевного (25), мятлика лугового (8), люцерны (8), клевера

лугового (8), клевера ползучего (8), кукурузы (45), тимофеевки луговой (5), овсяницы луговой (5), ячменя посевного (25); кюветы размещали в термостате при $t = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$. После 8 суток проращивания семян биоплато размещали в эксикаторах с водопроводной водой ($V=2,5\text{ л}$), в которые дополнительно вносили Zn(II) , $C_0 = 10\text{ мг/л}$. Образцы раствора (20 мл) отбирали на 8, 16 и 20 сутки инкубации.

Для Cd(II) проверка сорбционных свойств растений была проведена на примере ржи посевной и тимофеевки луговой. После 8 суток проращивания семян биоплато пересаживали в эксикаторы с водопроводной водой с дополнительным внесением Cd(II) в концентрации $C_0=1\text{ мг/л}$. Образцы раствора (20 мл) отбирали на 4, 11, 18 и 29 сутки. Кроме того, было проведено конструирование биоплато с разной плотностью выращивания растений, для этого варьировали только объемом высеянных семян растений: рожь ($a=10\text{ см}^3$, $b=20\text{ см}^3$, $c=40\text{ см}^3$), тимофеевка ($a=3\text{ см}^3$, $b=6\text{ см}^3$, $c=12\text{ см}^3$). На 9 сутки проращивания семян биоплато размещали в эксикаторах с водопроводной водой, содержащей Zn(II) , $C_0 = 10\text{ мг/л}$ и Cd(II) , $C_0=1\text{ мг/л}$. Образцы раствора (20 мл) отбирали на 3, 5, 9, 14, 16 и 20 сутки.

Определение концентрации ионов цинка и кадмия проводили методом ААС [23] при $\lambda=213,9$ для Zn(II) и $\lambda=228,8$ для Cd(II) .

Степень очистки от ТМ (CO , %) рассчитывали следующим образом:

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

где C_0 , C_p – концентрация ионов цинка и кадмия в исходном растворе и в растворе после сорбции, мг/л.

Результаты и их обсуждение. Первым этапом исследования была проверка посевных качеств семян перспективных влагостойких высших наземных растений, в результате чего было установлено, что наибольшую биомассу, высокие показатели всхожести и скорости развития корневой системы наблюдали у следующих культур: ежа сборная, рожь, овес, тимофеевка, кукуруза и ячмень.

При определении поглощающей способности биоплато с растениями-гипераккумуляторами относительно ионов цинка (рис. 1) установлено, что уже на шестые сутки наблюдения среди растений лучшие сорбционные свойства проявила кукуруза – концентрация катионов цинка (II) снизилась на 58 %, а при использовании тимофеевки, ежи сборной, ржи степень очистки составила всего 41%, 40% и 39%, соответственно. На 20-е сутки инкубации биоплато на растворе цинка (II) природа растений существенно на степень очистки не влияла: для ржи – 91 %, для других растений степень очистки только незначительно отличалась.

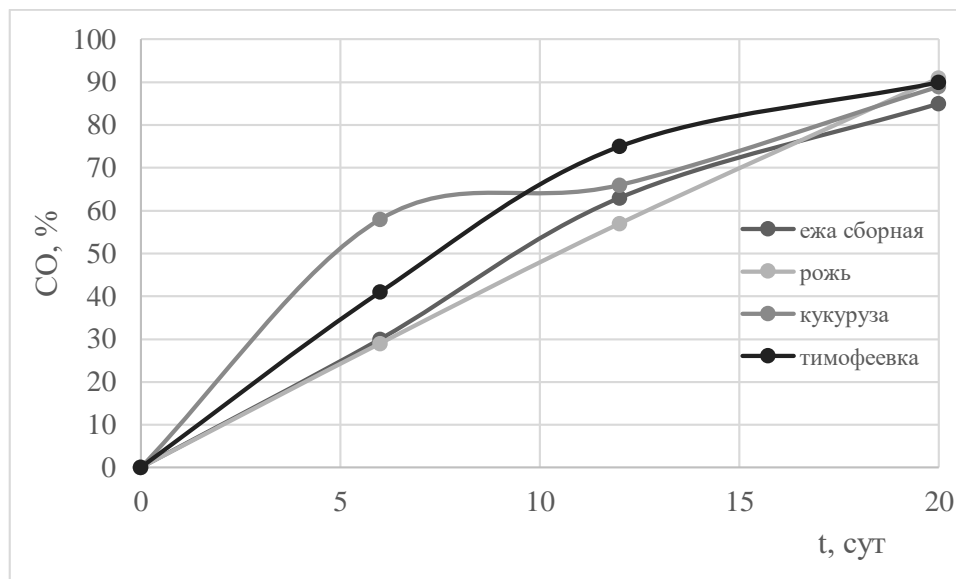


Рис.1. Динамика поглощения Zn(II) биоплато с различными растениями,
 $C_0=10$ мг/л

Нами не показана максимальная сорбционная способность растений, поскольку объем культуральной среды ограничен, что предопределяет высокую концентрацию органических кислот, источником которых являются растения, и, вероятно, снижает сорбционную способность растений.

Поскольку лучшие сорбционные свойства по отношению к Zn(II) проявили рожь и тимофеевка, в дальнейшем были использованы эти культуры для исследования влияния продолжительности инкубации биоплато на растворе с ионами кадмия (рис. 2). Как видно, для биоплато с использованием ржи наблюдалась наиболее высокая скорость сорбции, однако, в конечном итоге,

сорбционные способности обоих видов биоплато сравнивались и степень очистки инкубационной водной среды от ионов кадмия составила более 90 %.

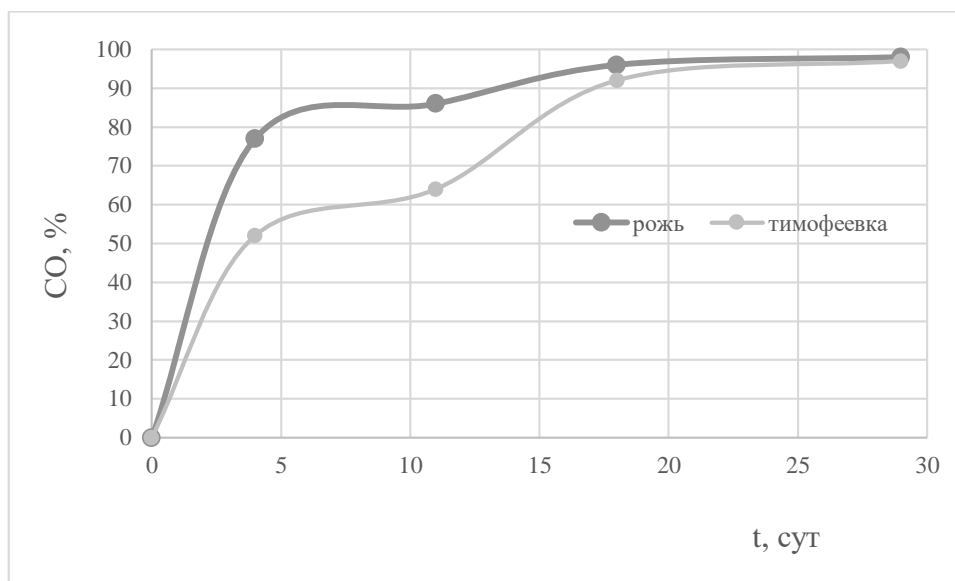


Рис. 2. Динамика поглощения Cd(II) биоплато с растениями ржи и тимофеевки,

$$C_0 (\text{Cd})=1 \text{ мг/л}$$

Известно [22], что плотность семян имеет важное значение при использовании биоплато. Поэтому нами исследована плотность выращивания растений на примере ржи и тимофеевки, как наиболее эффективных «сорбентов» ионов ТМ (рис. 3, 4).

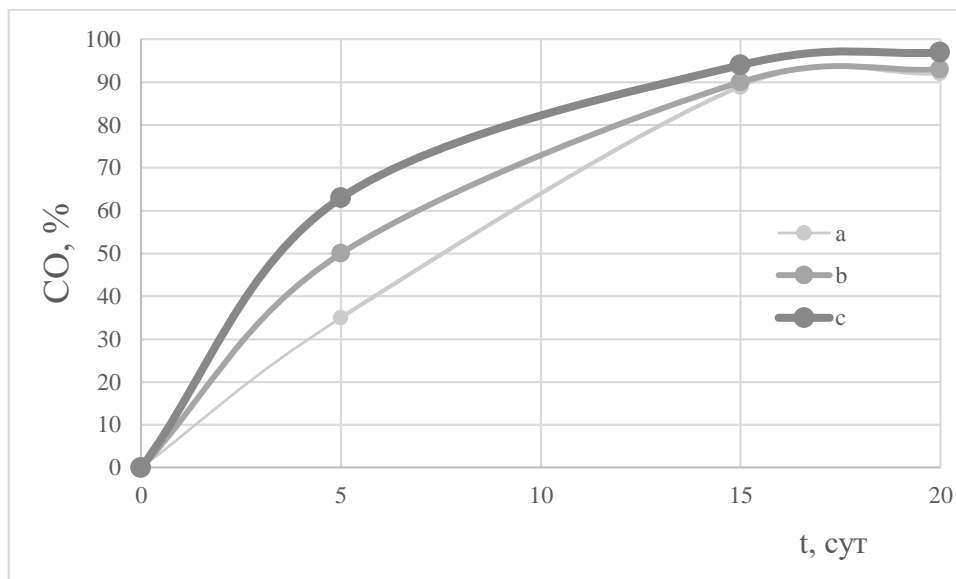


Рис. 3. Влияние продолжительности контакта биоплато с рожью и плотности растений на эффективность очистки воды от Zn(II): a=10 см³, b=20 см³, c=40 см³,
C₀ (Zn)=10 мг/л

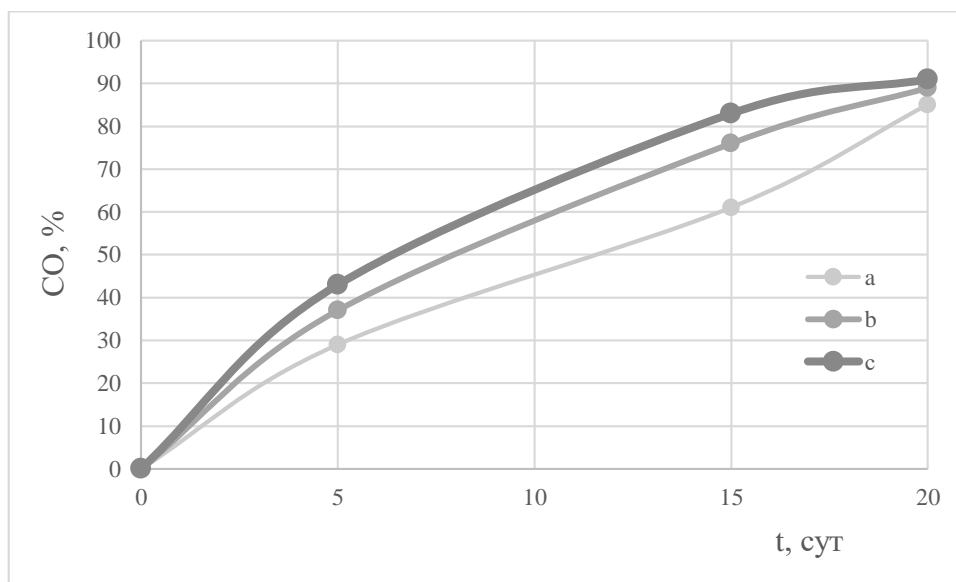


Рис.4. Влияние продолжительности контакта биоплато с тимфеевкой и плотности растений на эффективность очистки воды от Zn(II): a=3 см³, b=6 см³, c=12 см³,
C₀ (Zn)=10 мг/л

Было установлено, что наибольшая сорбционная способность наблюдалась в вариантах биоплато с максимальной плотностью выращивания растений.

Аналогично было проведено исследование для определения роли плотности выращивания растений ржи и тимофеевки конструкции биоплато в процессе сорбции ионов кадмия (II) (рис. 5, 6).

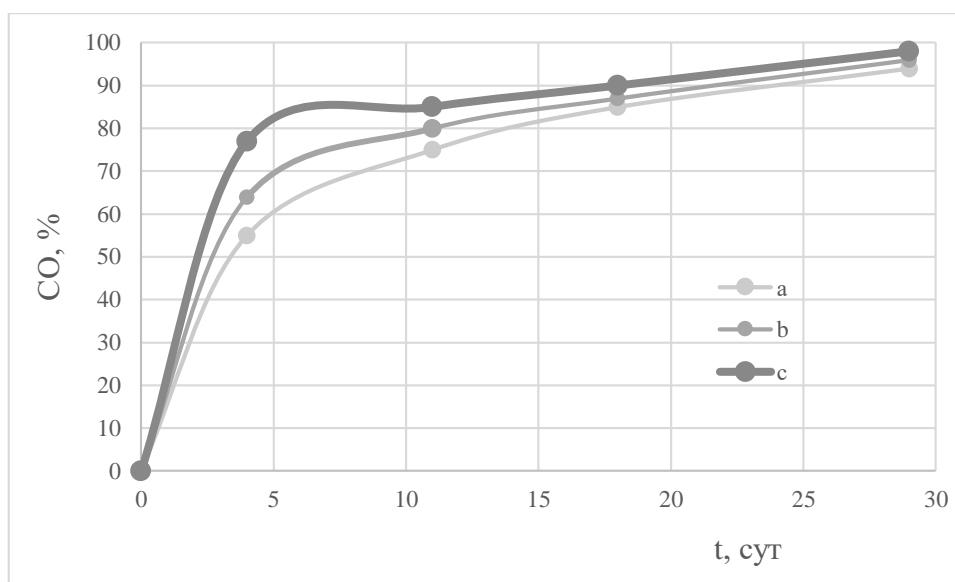


Рис. 5. Влияние продолжительности контакта биоплато с рожью и плотности растений на эффективность очистки воды от Cd(II): a=10 см³, b=20 см³, c=40 см³,

$$C_0 (\text{Cd})=1 \text{ мг/л}$$

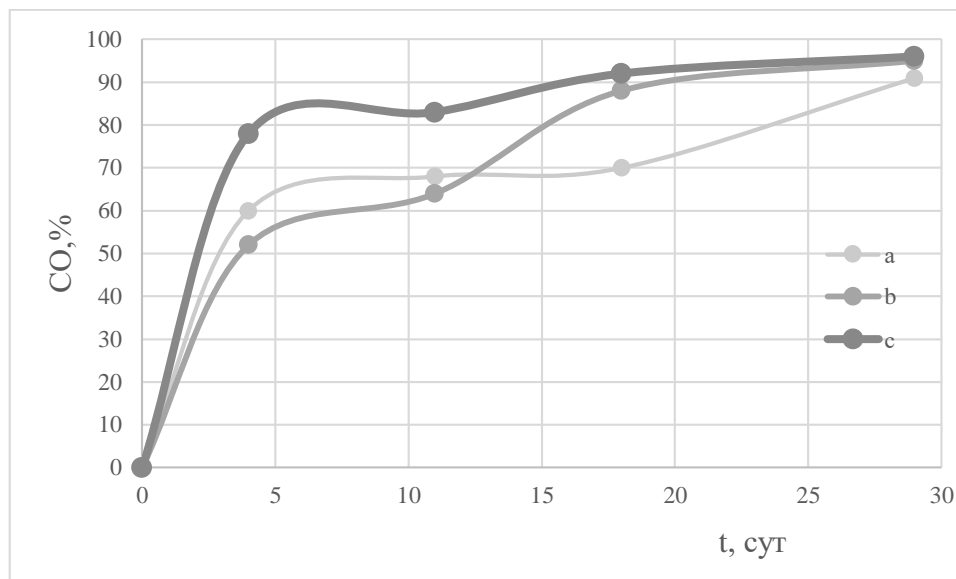


Рис. 6. Влияние продолжительности контакта биоплато с тимофеевкой и плотности растений на эффективность очистки воды от Cd(II): a=3 см³, b=6 см³, c=12 см³,

$$C_0 (\text{Cd})=1 \text{ мг/л}$$

Как видно из рис. 5,6, наибольшая сорбционная способность, которая составила более 96 %, наблюдалась в вариантах биоплато с максимальной плотностью выращивания растений тимофеевки.

Выводы. Разработанная новая конструкция биоплато с использованием наземных растений (timoфеевки и ржи) в условиях лабораторного эксперимента позволила достичь высокого уровня очистки воды от ионов цинка (II) и кадмия (II). Полученные результаты позволяют разработать алгоритм технологии фиторемедиации, в соответствии с которой на заключительном этапе ее применения предполагается либо извлекать целиком биоплато из водоемов и в

дальнейшем его озолать, либо осуществлять периодические скашивания зеленой массы и также подвергать ее озолению.

Предлагаемую конструкцию гидрофитного сооружения можно использовать с целью очистки водоемов-охладителей и других водных объектов от радионуклидов и ТМ, в качестве элемента промплощадки атомных электростанций для эффективного устранения последствий аварийных выбросов, а также для фитодизайна и укрепления берегов.

РОЗРОБКА НОВОГО МЕТОДУ РИЗОФІЛЬТРАЦІЙНОЇ ОЧИСТКИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ВІД ZN(II) И CD(II)

О.В. Лапань¹, О.М. Міхєєв¹, 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 очистки водних об'єктів від важких металів і визначено перспективні вологостійкі вищі наземні рослини – тимофіївка та жито, які дозволяють досягти максимального ефекту очистки води. Проведено порівняльне дослідження ефективності очистки рослинами-гіперакумуляторами на прикладі іонів цинку (II) і кадмію (II). Встановлена пряма залежність ефективності ризосорбції від щільності вирощування рослин в гідрофітній системі.

Ключові слова: очищення води, фіторемедіація, біоплато, наземні рослини, цинк (II), кадмій (II).

DEVELOPMENT OF A NEW METHOD OF RHIZOFILTRATION CLEARING OF WATER OBJECTS FROM ZN(II) AND CD(II)

L

¹Institute of Cell Biology and Genetic Engineering NAS of Ukraine

²National Aviation University, Ukraine

O

A portable constructing of bioplate has been developed for purification the water's elements from heavy metals, and clarifying the promising moisture-resistant land plants - thymophyry and rye, which allow to achieve the maximum effect of water purification. A comparative study of the efficiency of purification by plant-hyperaccumulators using the example of zinc (II) and cadmium (II) ions was carried out. A direct dependence of the efficiency of rhizosorption on the density of plant growth in the hydrophytic system was established.

i

Key words: water purification, phytoremediation, bioplate, terrestrial plants, zinc (II), cadmium (II).

y

e

y

e

v

1

Список использованной литературы

- [1]. *Маджд С.М.* Екологічна оцінка антропогенно-змінених систем р. Ірпінь / С.М. Маджд, Я.І. Кулинич, А.А. Явнюк // Вісн. НАУ. – 2017. – №2. – С. 93–98.
- [2]. *Колесник И.А.* Состояние химического загрязнения рек Украины и его динамика во второй половине XX столетия // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. – К.: Ніка-Центр, 2000. – Т. 1. – С. 72–77.
- [3]. *Лукашев В. К.* Загрязнение тяжелыми металлами окружающей среды г. Минска / В. К. Лукашев, Л. В. Окунь. – Минск.: Ин-т геологич. наук, 1996. – 80 с.
- [4]. *Маджд С.М.* Роль вищих водних рослин у деструкції забруднювачів в біоінженерних гідрофітних спорудах / С.М. Маджд, А.О. Панченко, А.М. Бондар // Наукоємні технології. – 2017. – №1. – С. 89–93.
- [5]. *Ладигенский В.А.* Фітотехнології – ефективний і економічний метод очищення стічних вод, відновлення і підтримки якості природних вод [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eo.net.ua>.
- [6]. *Клоченко П.Д., Харченко Г.В., Зубенко И.Б.* Некоторые особенности накопления тяжелых металлов макрофитами и эпифитными водорослями в водоемах урбанизированных территорий // Гидробиол. журн. – 2007. – 43, №4. – С. 49–61.

[7]. *Морозов Н.В., Петрова Р.Б., Пертов Г.Н.* Роль высшей водной растительности в самоочищении рек от нефтяного загрязнения // Гидробиол. журн. – 1969. – 5, №4. – С. 73–79.

[8]. *Оксиюк О.П., Мережко А.Н., Волкова Т.Ф.* Использование высших водных растений для улучшения качества воды и укрепления берегов каналов Вод. ресурсы. – 1978. – №4. – С. 97–114.

[9]. *Крот Ю.Г., Лековцева Т.И.* Оценка эффективности работы биофильтра с водными макрофитами при выращивании рыб // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер. Біологія. – 2001. – №4 (15). – С. 102–104.

[10]. *Веснин Н.М., Веснина О.М., Пономарев Е.Н.* Роль макрофитов в самоочищении шахтовых вод // Вопросы охраны водных ресурсов в угольной промышленности: Сб. науч. тр. ВНИИО. Суголь, 1983. – С. 100–105.

[11]. *Диренко А.А., Коцар Е.М.* Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока // Сантехніка, опалення, кондиціонування. – 2006. – № 4 (28). – С. 12–15.

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

[13]. *Магмедов В.Г.* Основные типы водоохраных сооружений, использующих очистные свойства макрофитов // Вод. ресурсы. – 1988. №2. – С. 150–156.

[14]. *Гвоздяк П.И.* Биоконвейер в очистке воды – теория и практика // Сб. докл. Междунар. конгресса «ЭТВЭКА-2001» – Крым, Украина, 2001. – С. 227–228.

[15]. *Кравець В.В., Остапенко Н.В.* Використання біологічних ставків з вищими водяними рослинами в практиці очищення стічних вод // Інформаційний бюлетень Держбуду. – Київ, 2002. – С. 120–132.

[16]. *Міхєєв О.М., Маджд С.М., Лапань О.В.* Новий спосіб конструювання плаваючих біоплато для цілей фітодезактивації стічних вод підприємств цивільної авіації // Східно-європейський науковий журнал. Варшава, 2016. - №9. – С.135-142.

[17]. *Михеев А.Н., Лапань О.В., Маджд С.М., Пчеловская С.А.* Новый способ конструирования биоплато для очистки водоемов от радионуклидов // Современные тенденции развития науки и технологий: сборник научных трудов по материалам VIII Международной научно-практической конференцией. – Белгород, 2015. - №8. – С.107-113.

[18]. *Міхєєв О.М.* Новий метод конструювання біоплато для цілей ризофільтрації / О.М. Міхєєв, О.В. Лапань, С.М. Маджд // Вода: проблеми та шляхи вирішення : Всеукр. наук.-практ. конф., 6-8 липня 2016 р. : тези доп. – Житомир, ЖДУ ім. І. Франка, 2016. – С. 154–158.

[19]. Пат. на корисну модель UA №107555. Біоплато для очищення стічних вод та водойм від радіонуклідів / Міхеєв О.М., Маджд С.М., Лапань О.В., Овсяннікова Л.Г. Зареєстр. 29.12.2015, Бюл. №11 від 10.06.2016.

[20]. Пат. на корисну модель UA №117067. Комплексна біоінженерна система для очищення водойм / Маджд С.М., Кулинич Я.І., Міхеєв О.М., Лапань О.В. Зареєстр. 20.01.2017, Бюл. №11 від 12.06.2017.

[21]. *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.

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

[23]. Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. — Л.: Химия, 1983. — С. 14—17. — 144 с.

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

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

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

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

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

Madzhd Svitlana Mychaylivna. National Aviation University.

