

УМОВИ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ ПРИ БІОЛОГІЧНОМУ МЕТОДІ ОЧИЩЕННЯ

В.О. УШКАРЕНКО,

д.с.-г.н. професор, академік НААНУ

Херсонський державний аграрно-економічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7319-1731>

В.О. ЧАБАН,

д.с.-г.н., професор кафедри безпеки життєдіяльності

та професійно-прикладної фізичної підготовки

Херсонська державна морська академія

E-mail: shabanviktork49@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4353-4374>

К.В. КИРИЧЕНКО,

кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності

та професійно-прикладної фізичної підготовки

Херсонська державна морська академія

E-mail: kvklecturer@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0974-6904>

А.О. СОКОЛ,

старший викладач кафедри безпеки життєдіяльності

та професійно-прикладної фізичної підготовки

Херсонська державна морська академія

E-mail: alene.sokol@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8179-453X>

Анотація. Питання очищення забруднених промислових вод, останніми роками стало одним з найактуальніших – глобальне потепління, аридизація суходільних екосистем і пов'язане з ним обміління природних водойм висувають на перший план проблему очищення промислових стоків для зворотного використання води у виробничому процесі. Розроблені впродовж багатьох років різноманітні методи і способи очищення таких вод дають широкий спектр технік і технологій щодо механічного, хімічного, фізико-хімічного та біологічного очищення, проте найбільш перспективним, на погляд авторів, є розробка комплексних підходів до проблеми, зокрема виявленню нових компонентів очисних технологій з використанням водних макрофітів в якості основного компонента. Слід зазначити, що питання використання водних макрофітів не є

новою, але вивчення особливостей нових рослин в процесі біоремедіації стічних вод є вкрай важливим.

Ключові слова: стічні води, біологічний метод очищення, *Eichhornia crassipes*, (ейхорнія товстоножкова, водяний гіацинт, водна чума).

Актуальність.

Проблема очищення стічних вод є проблемою комплексною, яка включає окрім суто наукових питань ще й фінансові проблеми, зокрема, вартість обладнання та високі витрати на його експлуатацію. Цілком закономірним є пошук технологій, які при незначних фінансових затратах дозволять очистити водні ресурси. Такими технологіями є біологічні технології з використанням вищої водної рослинності – так звані біоплато (Mitchenko T., 1998). За таких технологій недостатньо очищені води, які мають підвищений вміст нітратів, важких металів, нафтових сполук та інших шкідливих речовин, досить легко можуть бути очищені до прийнятних показників забруднення. Тому подальше вдосконалення і розробка нових методів і технологій біологічного очищення не викликає запитань. Зокрема доволі перспективними є методи очищення скидних вод за допомогою ейхорнії товстоножкової *Eichhornia crassipes* (Mart.) (Radovenchik V.M., 2003).

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Більшість екологів сьогодні схильні до думки, що Дніпро майже вичерпав свої можливості до самоочищення, у зв'язку з чим його стан можна назвати критичним. І це про річку, з якої п'ють воду майже третина населення України. Не краща ситуація з

малими річками, у т.ч. і з притоками Дніпра. Особливе занепокоєння викликає стан річок, які протікають в промислових регіонах і води яких використовуються у виробничих процесах (Tavartkiladze I., 1999; Chaban V.O. et al., 2018).

Такою річкою є річка Інгулець, води якої забруднені високомінералізованими промисловими водами підприємств міста Кривий Ріг. Кожного року для створення безпечних умов відпрацювання рудних покладів відкачується до 20 млн. м³ шахтних і 16-18 млн. м³ кар'єрних вод. Ці води використовуються для поповнення зворотних систем водопостачання гірничо-збагачувальних підприємств, а їх надлишки збираються у накопичувачі балки Свистунова та в хвостосховищі Північного гірничо-збагачувального комбінату. Взагалі в накопичувачах та хвостосховищах акумулюється 40-50 млн. м³ високомінералізованих вод, мінералізація яких становить 5-40 г/дм³ (Chaban V.O., 2014).

Проектні режими роботи і правила експлуатації накопичувачів та хвостосховищ порушуються внаслідок їх переповнення надлишками шахтних та кар'єрних вод. Це негативно впливає на технічний стан гідротехнічних споруд, значно підвищує ризик негативних наслідків та небезпечних змін довкілля. Такі обставини викликають необхідність здійснення періодичних дозованих скидів високомінералізованих вод у річки Саксагань та Інгулець (Chaban

V.O., 2014). Згідно з регламентом, що затверджується Кабінетом Міністрів України, щорічно скидається 10-20 млн. м³ високомінералізованих вод. Внаслідок інтенсивної фільтрації солоних та забруднених вод з накопичувачів та хвостосховищ значно забруднюються підземні води. Таким чином, водні ресурси річки Інгулець зазнають значних негативних змін екологічного стану (Radovenchuk V., 2000; Chaika V.E., 2002).

З метою недопущення виникнення низки надзвичайних ситуацій і техногенних катастроф пов'язаних з відкачкою, використанням та тимчасовою акумуляцією значної кількості підземних вод, виникає необхідність у щорічному впровадженні заходів зі скиду надлишків зворотних вод в р. Інгулець. Нажаль, іншого, більш безпечного способу поводження з надлишками зворотних (шахтних вод), поки що не існує.

Суттєву долю в забрудненні скидних вод складають важкі метали які відносять до числа найбільш небезпечних для природного середовища і людини хімічних забруднювальних речовин. Відомо, що мідь, свинець, кадмій, цинк є небезпечними токсичними металами. Надлишок міді в організмі людини та інших теплокровних тварин призводить до змін у тканинах нирок, печінки і мозку (Konontsev S.V., 2006; Chaban V.O., 2012). Іони свинцю та його сполуки гальмують синтез порфірину, викликають порушення функцій центральної і периферичної нервової системи. Розчинні сполуки кадмію денатурують білки, що містяться в стінках травного каналу. Надходячи до крові, іони кадмію з'єднуються з сульфгідрильними групами ферментів, порушуючи їх функції. Токсичність цинку

не така велика, і він не акумулюється, а виводиться організмом, але прийом всередину сполук цинку може викликати гостре отруєння. Основним джерелом надходження до організму іонів міді, свинцю, кадмію та цинку є вода, водночас вміст важких металів у стічних водах в останні роки зростає (Chaban V.O., 2014).

Існують різні способи очищення вод, зокрема, і від важких металів: механічні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні, але тільки комплексне використання всіх методів дозволить зробити цей процес не тільки ефективним, але й більш економічним і екологічним. Для біоремедіації очищення і доочищення стічних вод нині широко використовуються водні макрофіти. Зазначені рослини ефективно очищають водойми, занесені в список мертвих або знаходяться на межі вимирання, малі річки, стоки, відстійники промислового, господарсько-побутового та іншого походження; помітно знижують у стоках вміст більшості елементів і вже за тиждень повністю усувають неприємний запах (Leonov V.E. et al., 2008; Sozansky S., 1997). Ейхорнія, як і більшість вищих водних рослин, здатна в значних кількостях накопичувати в собі важкі метали (ТМ) (свинець, ртуть, мідь, кадмій, нікель, кобальт, олово, марганець, залізо, цинк, хром), а також радіонукліди і таким чином вилучати дані метали з води, роблячи її придатною для використання (Leonov V.E. et al., 2008; Leonov V. E. et al., 2009).

Мета дослідження – вивчити здатність рослин водяного гіацинта до затримання ряду важких металів (мідь, свинець, кадмій і цинк) в лабораторних умовах.

Матеріали і методи дослідження

Впродовж 2014-2020 рр. були проведені дослідження з вивчення можливості очищення стоків води з високим вмістом солей важких металів та фосфатів, що перевищували ГДК, які надходять від промислових об'єктів в річки Інгулець та Дніпро, за допомогою вищої водної рослинності, зокрема рогозу широколистого (*Typha latifolia* L., 1753), очерету звичайного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., 1841) та гіацинту водяного, або ейхорнії товстоножкової (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms).

Ейхорнія товстоножкова – типовий представник вищих рослин, добре пристосовується до умов та здатна інтенсивно вилучати органічні та неорганічні сполуки з водних розчинів. Водночас, концентруючись у великих кількостях, вона може ефективно мінералізувати детрит та контролювати чисельність мікроорганізмів. Перспективність культивування даного виду в очисних спорудах пояснюється також тим, що в процесі подібних методів очищення стічних вод утворюється надлишкова біомаса, яка нерідко є високопротеїновим продуктом та може слугувати додатковим джерелом кормового білка (Chelyadyn L.I., 2005; Chaban V.O., 2012). Застосування стічних вод як поживного середовища для отримання білкової біомаси може бути економічно виправданим, тому що, з одного боку, допомагає вирішенню проблеми боротьби із забрудненням довкілля, а з іншого, – сприяє розширенню виробництва кормових ресурсів. Отже, представники роду Ейхорнія можуть ефективно використовуватись у процесах біологічного очищення стічних

вод, забруднених органічними та неорганічними сполуками, що здатні легко окиснюватись.

Для вивчення якості очищення води від важких металів рослинами водяного гіацинта була створена модельна штучна екосистема. В якості поживного субстрату для рослин використовувалася тала снігова вода, в яку додатково вводили солі важких металів до розрахункового рівня при збереженні нейтрального значення кислотності. Висадка рослин проводилася з розрахунку: одна доросла рослина на літр води, що очищається, покриття водної поверхні становило 75%. Освітлення модельних систем проводилося лампами розжарювання (3 5QQ Лк) при 12-годинному світловому дні. Температура води в експериментах +20...+24°C, навколишнього повітря +24...+26°C. (Leonov V.E. et al., 2008; Leonov V. E. et al., 2009). В якості контролю було використано варіант без рослин зі сніговою водою з додаванням солей важких металів за тих самих умов, що і досліджувані варіанти. У міру споживання води гіацинтом і випаровування з поверхні в дослідних і контрольних посудинах проводився долив дистильованої води до початкового рівня.

Найбільш ефективними, простими і дешевими у виконанні методами є ботанічні (біологічні) методи, основу яких становить використання водних рослин, зокрема, ейхорнії (водного гіацинта). Натренована до окремого токсиканту рослина приймає стійкий характер по відношенню до даного токсиканту й у наступних поколіннях рослини (не менше 5-ї вегетації). Тренування рослини за конкретним стоком дозволяє пристосовувати стійкість наступних поколінь рослини до даного стоку. Показано, що ейхорнія

1. Основні параметри *E. crassipes* в умовах експерименту

Параметри рослин	min	max
Висота надводної частини, см	27±7	34±5
Діаметр надводної частини, см	37±8	45±5
Довжина підводної частини, см	35±5	43±3
Площа листової пластинки, см ²	27±3	43±7
Швидкість розмноження, шт/міс	9±3	13±3
Маса рослини, г	190±30	230±30
Продуктивність біомаси, т/га	900±300	1250±400

очищає водойми від шкідливих бактерій, органічних забруднень, нітратів, фосфатів, сульфідів, фенолів, нафтопродуктів, аміаку та інших токсикантів. Ефективність очищення залежить від кількості рослин на одиницю площі водної поверхні і температурного режиму. Попереднє тренування ейхорнії в процесі її вегетації можна проводити на стоці, підлягає очищенню розбавивши його чистою водою у співвідношенні 1: 4,1: 2,1: 1. Починають тренування з використанням найбільш розведеного стоку (1: 4).

Результати дослідження та їх обговорення.

У даній роботі наведені результати вивчення різноманітних схем очищення водних ресурсів забруднених різними токсичними речовинами; водночас, враховувалася кількість різних видів стічних вод, їхні витрати; можливості та економічна доцільність вилучення домішок зі стічних вод; вимоги до якості очищеної води від нафтових сполук, солей важких металів, які потрапили від несанкціонованих викидів промислових підприємств.

Рослини ейхорнії товстоножкової успішно адаптувалися до умов Південного регіону, свідченням чому є швидке збільшення їх фітомаси - за

місяць утворювалося до 8–15 дочірніх рослин. Найбільш активна вегетація рослин відбувалася у проточному режимі, де у водойму постійно надходила вода з підвищеною концентрацією інгредієнтів, серед яких було багато речовин органічного походження, які *E. crassipes* засвоює найкраще.

У лабораторних установках періодичного очищення цих речовин дещо менше, однак більше солей калію, кальцію, магнію та інших елементів. В експериментах рослини зростали в умовах проточного періодичного режиму. В цих умовах рослини набували від темно-зеленого до яскраво-зеленого кольору, діаметр рослин сягав 35 см, приріст рослин на одиницю розсади – 8–10 (табл. 1).

Середньомісячний приріст фітомаси рослин *E. crassipes* становить 39,2 г. Загальний приріст однієї рослини за 6 місяців складає 186–206 г. Максимальне значення місячного приросту становило 58 г у 6-місячних рослин та мінімальне – 27 г у 1-місячних рослин.

Склад зеленої маси *E. crassipes*, що використовувалася для очищення стоків з річки Інгулець характеризується досить високим вмістом вологи (94–88,9 %). Вміст протеїнів – 27,89–10,60 % і в перерахунку складає до 10–30 кг/т зеленої маси,

азоту – до 20–35 кг/т, фосфору – до 17 кг/т. Зелена маса характеризується високим вмістом каротину – до 40 кг/т. Хімічний склад *E. crassipes*, що використовувалася у процесах очищення СВ (за умови, що у стоках не було важких металів, радіонуклідів) відповідає ДСТУ 4685:2006 «Корма трав'яні штучно висушені. Технічні умови».

Вивчення залежності очищення модельних розчинів від кількості біомаси *Ейхорнії товстоножкової* засвідчило, що в період вегетації, нарощуючи зелену масу, *E. crassipes* видаляє з розчину численні інгредієнти, поліпшуючи, тим самим, якість стічної води. Для виявлення можливості застосування очищення СВ процес проводили у періодичному режимі впродовж 120 год за різної концентрації рослин *E. crassipes* (від 6 до 12 г/л за сухою речовиною) у воді. Як показали результати досліджень, за концентрації рослин 12 г/л, порівняно з початковою 6 г/л та 8 г/л було досягнуто більшого ступеня очищення стоків від ЗР – на 25,7 та 7,4 %, амонійного азоту на – 47,5 та 13,7 %, фосфатів – на 46,1 та 15,4 %, сульфатів – на 16,2 та 9 %, хлоридів – на 5,6 та 1,8 %, заліза – на 2,8 та 0,5 % відповідно. Вміст органічних забруднювачів в очищеній воді за концентрації рослин 12 г/л зменшився ще на 17,7 % за ХСК і на 18,3 % за БСК.

Результати проведених досліджень засвідчують підвищення ефективності очищення стоків і води водоєм *ейхорнією*, зокрема, можливість збільшення допустимого рівня вмісту токсикантів у воді, що очищується, наприклад, по іонах амонію більше, ніж удвічі, і розширення діапазону температури стоків, що очищаються, нижче 15°C (до 5°C) і вище 35°C (до 45°C). Процес

очищення води спрощується завдяки посадці нових рослин замість зів'ялих. За прототип беруть приготований стік води, що містить нафтопродукти в кількості 15 мг/дм³ (допустимо до 25 мг/дм³), іони амонію 100 мг/дм³ (допустимо до 60 мг/дм³), фосфати – 5 мг/дм³ (допустимо до 18 мг/дм³) (Leonov V.E. et al., 2008). Після 7 діб очищення рослини були яскравого, темно-зеленого кольору, продовжували вегетувати. Залишкова концентрація домішок у воді становила для нафтопродуктів – 2,0 мг/дм³, іонів амонію – 13 мг/дм³, фосфати були відсутні. За запропонованим способом в умовах при збільшенні початкового вмісту іонів амонію у воді, що очищується, до 150 мг/дм³ через 7 діб рослини добре вегетували (за 30 діб приріст склав 8...10 штук на одну рослину), залишковий вміст у воді нафтопродуктів склав 2,2 мг/дм³, іонів амонію – 21 мг/дм³. На другій стадії тренування вводять іони Cu^{++} в кількості 5 мг/дм³. Після 7 діб очищення води нафтопродуктів, іонів амонію і фосфатів виявлено не було. Рослини добре вегетували, мали рівномірний яскравий зелений колір тренування *E. crassipes* проводять на розбавленому стоці, що підлягає очищенню.

У промислово розвинутих країнах методи біологічного очищення вод вже допомогли вирішити глобальні проблеми по збереженню природних запасів без застосування різних хімічних речовин для доочищення та знезараження вод водночас (Chaban V.O., 2014). Тому нами було поставлено завдання по збереженню *E. crassipes* під час зниження температурного режиму води при досягненні температури води + 10...5°C у період за несприятливих температур для її росту, рослини вилучають з

водойми для очищення стоків і зберігають у додатковій водоймі в умовах температур $+10...5^{\circ}\text{C}$ з підведенням освітлення, яке може бути від люмінесцентних ламп і (або) до світлодіодних ламп у межах від $150\text{--}250\text{ Вт/м}^2$, а при настанні зовнішньої температури води $+10...5^{\circ}\text{C}$ рослини висаджують у водойму для очищення стоків без тренування на токсичні речовини в ній.

Найбільш ефективні в боротьбі із забрудненнями водойм рослини, що швидко розвиваються кореневою і вегетативною масою, зокрема, підгрупа рослин, що плавають на поверхні. Їх хорнія є представником цієї групи. За багатьма порівняльними даними вегетаційна продуктивність *E. crassipes* вища, ніж у інших рослин, практично всі водні рослини істотно поступаються в цьому *E. crassipes*. Інтенсивність розмноження і зростання рослин збільшують потребу в живленні для них, і, отже, підвищується споживання рослинами різних домішок з водних середовищ. Для процесу вегетації *E. crassipes*, отже, для очищення вод для рослин потрібні умови, сприятливі як для адаптації рослин, так і для їх життєдіяльності протягом усього періоду культивування. Значний вплив на повноту і ступінь доочищення має також і величина контакту рослин з водою. З цієї причини культивування *E. crassipes* для біодеструкції забруднювальних речовин оптимально проводити при максимальному контакті рослин в обсягах гідроботанічних зон із забезпеченням оптимальних кількостей рослин.

Основні вимоги, які необхідно забезпечити:

- температура води не менше 19°C , з можливим, але не бажаним короткостроковим зниженням до $+16^{\circ}\text{C}$,

найкраща температура від 22°C ;

- температура повітря в межах від $+18^{\circ}\text{C}$; низькі температури викликають тимчасове завмирання мікроорганізмів, цим і пояснюється їх деяка (до 1 доби) стійкість до короткострокового зниження температури, для більшості бактерій, які беруть участь у процесі перероблення, оптимальною є температура $22\text{--}27^{\circ}\text{C}$, взимку можливо трохи нижча;

- верхня межа температур $+40^{\circ}\text{C}$; температура вище $+40^{\circ}\text{C}$ може викликати незворотні зміни в колоїдному стані плазми (зміна структури ферментів і порушення біоактивності, тобто початок температурного інтервалу, можливості згортання крохмалю та білків);

- вміст поживних речовин для рослин в об'ємі вод;

- достатній ступінь освітленості (водний гіацинт дуже світлолюбний), при нестачі природнього освітлення застосовують спеціальні лампи, де достатній рівень освітленості по спектру і інтенсивності може бути забезпечений застосуванням, наприклад, ламп переважно синьої і червоної ділянок спектра і потужністю не менше 150 Вт/м^2 , світильників відповідних модифікацій для теплиць, наприклад, ЖСП36-600-002У5.

Зазначений технічний результат досягається способом гідроботанічного очищення забруднених водних середовищ у кліматичних умовах середніх широт, що включає застосування *E. crassipes* в якості рослини, що плаває в живильному розчині і завантаженням гідроботанічної зони, використання в якості поживного розчину гідроботанічних зон стічних або господарсько-побутових, або промислових вод, вегетацію *E. crassipes* в гідроботанічній зоні при

2. Результати аналізу показників забруднювальних речовин у воді залежно від застосування різних варіантів досліджень під кінець вегетації рослин (середнє за 2012–2018 рр.)

Контрольні показники води	Варіанти досліджень	
	Контроль (водойма без рослин)	Ейхорнія
ХСК, мгО ₂ /л	17,3	7,0
БСК, мгО ₂ /л	11,2	5,4
Жорсткість, мг-екв./л	2,4	2,0
Хлориди, мг/л	22,6	12,5
Сульфати, мг/л	57,0	39,1
Фосфати, мг/л	1,0	0,3
Нітрати, мг/л	3,9	0,25
Амонійний азот, мг/л	5,0	0,96
Завислі частинки мг/л	180,0	39,0
Сухий залишок, мг/л	380,5	10,4

температурі навколишнього повітря і води не менше 19°C з природним або штучним освітленням.

Натурне дослідження у водоймах передбачало порівняння вмісту токсикантів у контрольній ділянці (без рослин) з дослідною (з рослинами *E. crassipes*). Проводили аналіз води та в різні періоди розвитку рослин відбирали зразки на біохімічний аналіз.

Дослідження виявило пряму залежність концентрації у воді забруднювальних речовин та показників якості води з наявністю у водоймі рослин водяного гіacinта – хлориди у варіанті – з рослинами очерет та ейхорнія знижувалися відповідно до варіанту досліджень (табл. 2).

Висновки і перспективи.

1. Уперше в умовах півдня України були проведені наукові дослідження з очищення водної поверхні, яка мала у власному складі надлишкову кількість хлоридів, сульфатів, фосфатів, нітратів, нафтопродуктів, фено-

лів за допомогою очерету, рогузу, *E. crassipes*.

2. Як показали результати досліджень, найкращим очисником води від сторонніх домішок виявилась ейхорнія товстоножкова (водяний гіacinт) *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms).

3. Встановлена пряма залежність концентрації полютантів та показників якості води від наявності рослин. Найбільший ефект спостерігався за спільного використання *E. crassipes* та очерета.

4. Показано, що *E. crassipes* добре розвивається у забруднених водах. Загальний приріст однієї рослини за 6 місяців складає 186–206 г, що дає можливість розглядати цей вид як можливе додаткове джерело кормового протеїну для сільськогосподарських тварин.

References

1. Konontsev S.V. (2006). Technology of biological wastewater treatment of dairies: Theoretical issues (Dissertation. Ph.D,

- National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine).
2. Leonov V.E., Sherstyuk V.G. & Ben A.P. (2008). Wastewater treatment technology to protect the hydrosphere. Monograph edited by Doctor of Technical Sciences, Professor V.E. Leonova, 151.
 3. Leonov V.E., Chaban V.O. (2009). Influence of synthesized substances and salts of heavy metals on human life. Modern information technologies in transport. Materials of the International Scientific and Practical Conference. Volume 5 –, 2009.
 4. Mitchenko T. (1998). An effective method of water purification. Food and processing industry, 10, 24–25.
 5. Radovenchik V.M. Use of iron-containing sorbents for removal of chromates from wastewater. *Eco-technologies and resource conservation*. 2003. No. 2. P. 61–64.
 6. Radovenchik V. (2000). Wastewater treatment of waste paper recycling enterprises by magnetic sorption method. *Eco-technologies and resource conservation*, 4, 28–31.
 7. Sozansky S. (1997). Two-stage wastewater treatment. Food and processing industry, 6, 22–23.
 8. Tavartkiladze I. (1999). Economical wastewater treatment. Food and processing industry, 9, 26–27.
 9. Chaban V.O. (2014). Purification of the water environment with the help of Eichhornia centipedes. *Scientific journal*, 88, 314–319.
 10. Chaban V.O. (2012). Factors of pollution of the World Ocean and ways to reduce ecological disaster. *Scientific works: a scientific and methodical journal. "Ecology" series*, 127, 194, 206, 23–25.
 11. Chaban V.O. (2012). Ballast water treatment rules. Contemporary problems of hydrobiology, Perspectives, ways and methods of solutions, 368–371.
 12. Chaban V.O. (2014). Assessment of pollution of water bodies by sea transport and a biological method of cleaning the aquatic environment using Eichhornia spp. *Scientific journal Visnyk of Agrarian Science of the Black Sea Region*. Issue 2 (78), 112–114.
 13. Chaban V.O. (2014). New prospects for the biological treatment of sewage industrial waste with the help of Eichhornia centipede. *Scientific works: a scientific and methodical journal. "Ecology" series*, 220, 232, 89–91.
 14. Chaban V.O., Krugliy D.G. & Kamaev O.Yu. (2015). Energy-saving wastewater treatment technology. *Scientific works: a scientific and methodical journal. "Ecology" series*, 244, 256, 86–90.
 15. Chaban V.O., Bezkrivnyy V.A. & Kamaev O.Yu. (2018). The influence of the human factor on the environment. Modern energy installations on transport, technologies and equipment for their maintenance. Collection of materials of the 9th International Scientific and Practical Conference. Kherison State Maritime Academy, 196–199.
 16. Chaika V. E. (2002). *Ecology: Study guide*. Vinnytsia: Book-Vega.
 17. Chelyadyn L.I. (2005). Wastewater treatment of pulp and paper production and sludge processing. Chemical industry of Ukraine, 6, 51–32

Ushkarenko V., Chaban V., Kyrychenko K., Sokol A. (2024).

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF WATER QUALITY WITH THE BIOLOGICAL CLEANING METHOD

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 15(2): 41–50.

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/49741>

[https://dx.doi.org/10.31548/biologiya15\(2\).2024.004](https://dx.doi.org/10.31548/biologiya15(2).2024.004)

Abstract. *In recent years, the issue of cleaning polluted industrial waters has become one of the most urgent - global warming, aridization of terrestrial ecosystems and the associated shallowing of natural reservoirs bring to the fore the problem of cleaning industrial effluents for the reverse use of water in the production process. Various methods and methods of cleaning such waters developed over many years provide a wide range of techniques and technologies for mechanical, chemical, physico-chemical and biological cleaning, but the most promising, in the opinion of the authors, is the development of complex approaches to the problem, in particular, the identification of new components of cleaning technologies with the use of aquatic macrophytes as the main component. It should be noted that the issue of using aquatic macrophytes is not new, but studying the characteristics of new plants in the process of bioremediation of wastewater is extremely important.*

Key words: *wastewater, biological treatment method, Eichhornia crassipes, (Eichhornia crassipes, water hyacinth, water plague).*
