

ВОДНІ БІОРЕСУРСИ

УДК 504.064.4:502.51

DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.1>

ЕКОЛОГІЧНІ БІОТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Бузіна І.М. – к.с.-г.н., доцент,
Головань Л.В. – к.с.-г.н., доцент,
Чуприна Ю.Ю. – аспірантка,

*Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва,
nezabudka120187@gmail.com*

Інтенсивне забруднення гідросфери сьогодні набуло загрозливого, навіть критичного характеру. Здатність до самоочищення водних екосистем знижується пропорційно до підвищення темпів забруднення. Як результат запаси прісної води постійно зменшуються. У багатьох країнах, а останнім часом і у південних районах нашої держави, спостерігається її нестача.

Зниження якості водозабезпечення населення, зумовленого антропогенним забрудненням патогенними мікроорганізмами та різними ксенобіотиками господарсько-побутового й техногенного походження призводить до спалаху різних захворювань, зниженню якості життя людей.

Під час проведення досліджень екологічного стану водних ресурсів Національного природного парку «Гомільшанські ліси» у Харківській області, було встановлено, що однією з найефективніших та найбезпечніших технологій очищення водою є фіторемедіація. Принцип її дії ґрунтується на здатності деяких видів рослин поглинати певні шкідливі речовини із ґрунту, поверхневих і ґрунтових вод. Для цього культивують різні види рослин, які здатні накопичувати і руйнувати забруднюючі речовини. У системах фіторемедіації для очищення природних вод використовують вищі водні рослини, наприклад, очерет, айр, комиш та багато інших.

У результаті досліджень вдалося підтвердити у рослин очерету звичайного вираженого явища гіперакумуляції важких металів. Значна маса рослин і велика щільність росту доводить доцільність використання цих рослин у дренажних канавах навколо природних водних об'єктів як ефективних фіторемедіантів. Це зменшить поширення важких металів у ґрунтові води оточуючих територій НПП «Гомільшанські ліси», річку Сіверський Донець, що запобігатиме у подальшому техногенному навантаженню на навколишнє середовище.

Перевагами досліджуваної технології є те, що вона не потребує суттєвих економічних затрат, очищення відбувається безперервно за рахунок існуючого природного біоценозу. Високі та стабільні показники очищення води та навколишнього середовища протягом року дають можливість застосування таких біотехнологічних методів на територіях з різними кліматичними та ландшафтними умовами.

Ключові слова: водні екосистеми, гідробіонти, фіторемедіація, макрофіти, очерет звичайний, біоінженерні очисні споруди.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток техногенезу у нинішніх умовах призвів до значного забруднення гідросфери небезпечними поллютантами. Сьогодні це одна із найважливіших і найгостріших проблем людства.

У сфері водних ресурсів навіть незначне потрапляння шкідливих речовин призводить до забруднення значних територій. Вже сьогодні значна частина водних ресурсів на планеті забруднена. Щороку людство продукує близько 400 млрд. т відходів, значна частина з яких потрапляє до річок, морів та океанів.

У річках та інших водоймах відбувається природний процес самоочищення води. Однак він протікає досить повільно. Поки промислово побутові скиди становили незначну частку, водні екосистеми самі справлялися з ними. У наше індустріальне століття у зв'язку з різким збільшенням відходів гідросфера не справляється з такими значними обсягами забруднення. Тому виникла гостра необхідність знешкоджувати, очищувати водні ресурси з метою зниження антропогенного навантаження на природні екосистеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найефективніших та найбезпечніших технологій очищення водойм є фітореMediaція. Принцип її дії ґрунтується на здатності деяких видів рослин поглинати певні шкідливі речовини із ґрунту, поверхневих і ґрунтових вод. Для цього культивують різні види рослин, які здатні накопичувати і руйнувати забруднюючі речовини. У системах фітореMediaції для очищення природних вод використовують вищі водні рослини, наприклад, очерет, айр, комиш та багато інших. Перевагою використання рослин в природних методах очищення є їх здатність накопичувати забруднюючі речовини, в тому числі важкі метали. У водній екосистемі вищі водні рослини (ВВР) виконують важливі природоохоронні функції:

- створення фітофільтраційного бар'єру заростями макрофітів (особливо очерету) на шляху завислих речовин різного походження, які потрапляють до водойм разом з сільськогосподарськими, промисловими та побутовими стічними водами;

- поглинання і накопичення з водного середовища речовин різноманітного походження (органічні, мінеральні);

- знезараження водного середовища;

- активна участь у процесах самоочищення, які відбуваються у водному середовищі.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є обґрунтування фітореMediaційних властивостей очерету звичайного та доцільності застосування даного біометоду в природних умовах.

Результати досліджень. Формування хімічного складу води розпочинається в атмосфері, продовжується у літосфері і завершується у річкових мережах. Основні річкові басейни України розташовані в різних фізико-географічних зонах, саме тому істотно відрізняються за своїми орографічними, геологічними та гідрогеологічними умовами, ґрунтовим комплексом, кліматичними умовами та характером підстилаючої поверхні. Такі умови характеризують визначальні природні фактори формування водного стоку, хімічного складу та якості води в екосистемах. Лише за умови запобігання надходженню в різні об'єкти біосфери значної кількості полутантів, що забруднюють водні екосистеми, можна розраховувати на відновлення їх природного (фонового) стану [1].

Для детального аналізу досліджувалися природні водні джерела території національного природного парку «Гомільшанські ліси» у Харківській області.

У межах НПП протікає найбільша річка лівобережної України, права притока Дону – Сіверський Донець та її права притока – р. Гомільша. На території парку знаходяться озера-стариці в басейні Сіверського Дінця. Майже всі вони розміщені на заплавної та однолесовій терасах. Вони утворилися на місці старого русла ріки (рис. 1).

Основну роль у живленні Сіверського Дінця відіграють зимові опади, які досягають у північній та північно-східній частинах значних висот і обумовлюють підвищений весняний стік. На долю снігового живлення припадає до 69 % річного стоку. Підземне живлення Сіверського Дінця стійке і значне (33 % річного стоку). Дощове живлення – близько 10 %. Більша половина річного стоку припадає на період весняного водопілля. Витрати води у різні місяці показані на рисунку. Середній багаторічний стік складає 46,8 м³/с (біля м. Зміїв) [2].

Підприємства області за рік скидають таку кількість забруднюючих речовин, для розбавлення якої потрібно більше 9,1 км³ чистої води, що в декілька разів перевищує середньорічний об'єм стоку р. Сіверський Донець і суттєво перевищує об'єм сформованого на території області місцевого стоку. Води головного джерела водопостачання області – р. Сіверський Донець – надходять до Харківської області із північної сусідньої території надзвичайно високо забрудненими ($K_3 = 3$), а на всій території області їх показник забрудненості коливається від високого до надзвичайно високого, що робить проблематичним із гігієнічної точки зору використання поверхневих вод річки Сіверський Донець як головного джерела питного водопостачання м. Харкова [3].

З метою мінімізації кількості відходів та максимального їх повторного використання, а також запобігання негативних наслідків для здоров'я населення, повинні використовуватися більш екологічно безпечні методи переробки мулу.

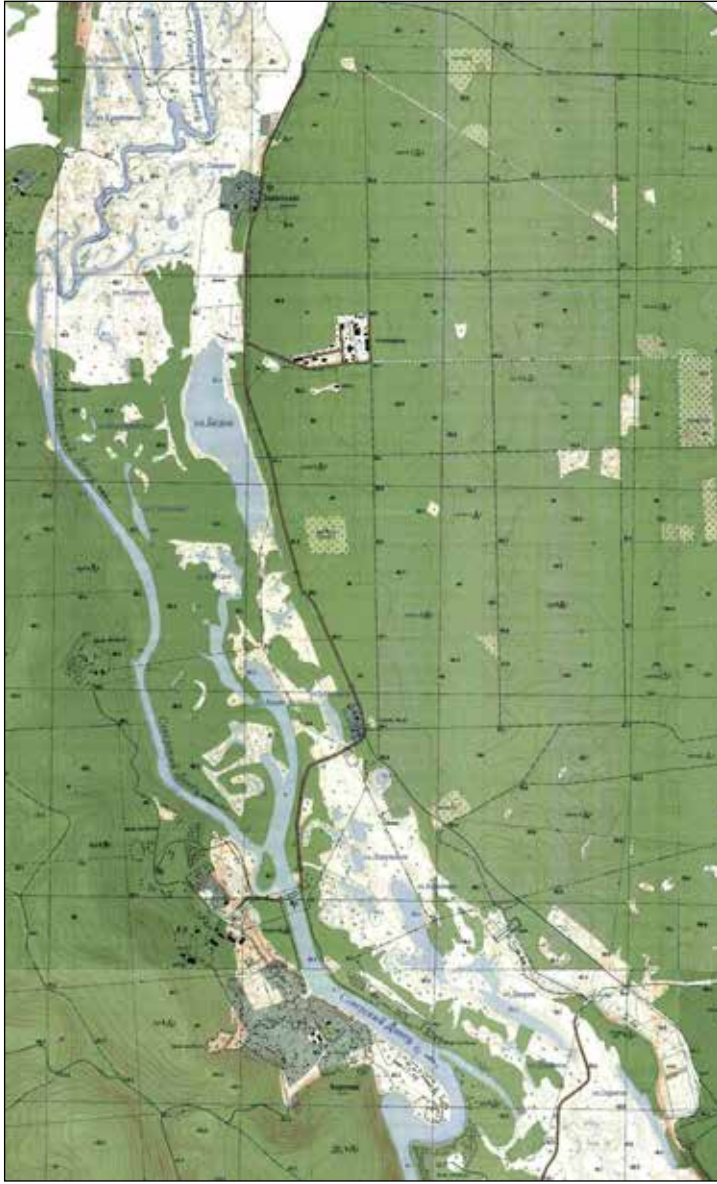


Рис. 1. Схема основних водойм НПП «Гомільшанські ліси» [2]

В європейських країнах в повній мірі вже використовуються природні системи для очистки стічних вод (Німеччина, Швеція, Польща тощо). Найпоширенішими природними системами очистки є штучні ветланди, піщано-грунтові рослинні фільтри, фільтри із використанням макрофітів, системи поливу очищеними стічними водами.

На даний час відомо понад 2500 систем біологічного очищення стоків, які експлуатуються в різних країнах світу – в Європі та Америці [4].

Найбільш ефективним, безпечним та економічно доцільним є біологічний метод фітореMediaції гідросфери.

Охорона водойм НПП як середовища існування риб та інших гідробіонтів, а також як одного із головних чинників рекреаційної привабливості його території, передбачає комплекс екологічних, гідротехнічних та меліоративних заходів, спрямованих на забезпечення водоймищ достатньою кількістю і відповідної якості води, усунення явищ, що погіршують умови існування гідробіонтів. Для підвищення якості води, покращання умов існування гідробіонтів лімнофільного комплексу, створення більш сприятливих умов для нагулу (збільшення акваторій) та природного відтворення риб (відновлення проходів для плідників та цюголітків), створення передумов для ведення рибогосподарської діяльності необхідно, спільно з фахівцями та науковцям, розробити комплекс науково-обґрунтованих заходів з врахуванням статусу цієї території [2].

З метою обмеження надходження забруднюючих речовин зі стоками у ґрунтові води оточуючих територій передбачено біотехнологічну рекультивацію шляхом висаджування рослин-фітореMediaнтів навколо водних об'єктів, що потребує, у свою чергу, підбору рослин для створення захисної смуги.

Рослини не лише акумулюють шкідливі речовини, розчинені у воді, а й являються субстратом для розвитку різноманітної мікрофлори, яка знешкоджує значну кількість забруднень, що надходять у природні водні об'єкти і таким чином сприяє покращенню якісного складу води [5; 6]. Якісний склад води регулюється не тільки завдяки фільтраційним властивостям вищих водних рослин (ВВР), але і їхньою здатністю поглинати розчинені у воді небезпечні речовини. Причому глибина занурення ВВР і концентрація споживних елементів істотно впливає на інтенсивність поглинання органічних і мінеральних речовин.

У результаті сорбції біогенних речовин та насичення води водоймищ розчинним киснем, який виділяють рослини у процесі своєї життєдіяльності, макрофіти дозволяють запобігати масовому розповсюдженню синьо-зелених водоростей і запобігають «цвітінню» водойм. Коренева система ВВР виділяє речовини бактерицидної дії – фітонциди, у результаті чого відбувається знезараження водоймищ, за рахунок суттєвого зниження кількості патогенних бактерій, які надходять зі стічними водами [7]. Для більшості макрофітів характерна висока швидкість поглинання марганцю, хрому, цинку і більш низька для заліза, міді, нікелю, свинцю. ВВР здатні здійснювати детоксикацію різних шкідливих речовин, які потрапляють у водойми, в тому числі й пестицидів.

Токсичні речовини, які поглинаються рослинами інактивуються, проходячи різноманітні хімічні перетворення, а потім разом з наземною фітомасою видаляються з водою.

Макрофіти сприяють також очищенню поверхневих вод від хімічних добрив, які змиваються із сільськогосподарських територій, і здатні акумулювати радіоактивні елементи, такі, як радій, торій, уран, церій, стронцій.

З великої кількості макрофітів у НПП частіше за все для очищення стічних вод використовують очерет звичайний (*Phragmites australis (Cav.) Trinex Stend.*), рогози вузьколистий (*Typha angustifolia L.*) та широколистий (*Typha latifolia L.*), комиш озерний (*Scirpus lacustris L.*) та деякі інші види.

За результатами проведених досліджень 1 га заростей очерету звичайного за вегетаційний період можуть вилучати з водних об'єктів до 450 кг N, 180 кг P, 220 кг K, 330 кг Сl. Окрім того, повітряно-водні мактофіти, до яких відносяться очерет, рогоз, комиш та інші, також покращують газовий режим болотних та затоплених водою ґрунтів.

У збагаченому киснем водному середовищі навколо тонких коренів у великій кількості розвиваються ризосферні мікроорганізми, саме вони беруть участь у процесах аеробної деструкції органічних речовин, які накопичуються у мулових відкладеннях та сприяють переведенню речовин у доступні для засвоєння рослинами форми. Тобто, завдяки ВВР активізуються природні процеси самоочищення гідросфери та відбувається циркуляція повітря у донних відкладеннях [7].

Так, після періоду вегетації рослини очерету скошили і перевірили на вміст у їх вегетаційних органах важких металів (табл. 1).

Таблиця 1. Вміст важких металів у органах очерету звичайного

Варіант	Вміст валових форм важких металів, мг/кг золи							
	Zn	Cd	Ni	Co	Pb	Cu	Cr	Fe
Корінь	40,3 ±1,3	107,8 ±2,1	44,3 ±1,7	73,6 ±2,3	42,7 ±0,5	121,4 ±1,1	11,2 ±0,6	654,7 ±2,2
Листя	33,8 ±0,8	59,7 ±0,3	62,2 ±1,5	45,7 ±0,7	41,3 ±0,4	47,1 ±0,3	12,4 ±0,7	932,2 ±1,4
Суцвіття	12,4 ±0,3	25,4 ±0,1	12,2 ±0,3	34,2 ±0,4	7,5 ±0,7	2,4 ±0,5	3,7 ±0,2	228,6 ±1,3
Сумарно на рослину	86,5 ±0,4	192,9 ±1,2	118,7 ±0,6	153,5 ±0,9	91,5 ±0,6	170,9 ±0,4	27,3 ±0,3	1815,5 ±2,7
Коефіцієнт біологічного накопичення на рослину	15,7	58,4	2,1	2,5	12,9	52,3	15,3	60,7
Коефіцієнт біологічного накопичення на корінь	7,3	32,6	1,6	1,2	5,5	34,8	7,2	22,5

У коренях, порівняно з іншими органами рослини, виявлено найбільший вміст таких металів як Cu, Cd та Co, в листках Ni та Pb, а в суцвіттях вміст ВМ був найменшим. З практичної точки зору ця різниця у накопиченні не є суттєвою, оскільки принципово важливим є те, що рослини очерету здатні накопичувати ВМ у досить значних кількостях, вилучаючи їх зі субстратів і тим самим перешкоджаючи їх надходженню у ґрунтові води. Вміст у надземній масі рослин також є досить суттєвим, тому рекомендується викошування з подальшим спалюванням у спеціальних печах для екстракції металів та вилученні цих елементів з едафотопу. Під час визначення коефіцієнта біологічного накопичення на всю рослину і на окремі органи рослин виявилось, що основну функцію поглинання у очерету звичайного виконував корінь, в якому за більшістю елементів КБН становив до 50 % і більше від показника на всю рослину. Тобто рослини створюють захисний бар'єр, запобігаючи накопиченню шкідливих речовин у зеленій масі та насінні. Найбільші величини КБН припадають на Cd, Cu, Fe [8].

Таким чином, підтвердження у рослин очерету вираженості явища гіперакумуляції важких металів, значна маса рослин і велика щільність росту доводить доцільність використання цих рослин у дренажних канавах навколо породних водних об'єктів як ефективних фіторемедіантів. Це зменшить поширення важких металів у ґрунтові води оточуючих територій НПП «Гомільшанські ліси», річку Сіверський Донець, що запобігатиме у подальшому техногенному навантаженню на навколишнє середовище.

Вищі водні рослини, які використовують у біологічних системах очищення повинні не лише приймати участь у поглинанні забруднюючих речовин, але й відповідати умовам роботи очисних споруд і забезпечувати автономний режим роботи систем очищення на протязі всього року. Вони покликані забезпечувати надходження водних потоків у нижні прошарки фільтруючої товщі, витримувати коливання якісного складу стічної води, не залежати від їх об'ємів. Саме цим вимогам і відповідають такі рослини – очерет, рогіз та комиш.

Особливу роль у системах очищення відіграє очерет звичайний. Він має високі адаптивні властивості і здатний проростати навіть у дуже забруднених промисловими стічними водами водоймах [7]. У водному середовищі очерет видаляє з води такі сполуки, як феноли, нафтоли, анілін та інші органічні речовини. Питоме поглинання мінеральних речовин досягає (г на 1 г сухої маси): кальцію – 3,95, калію – 10,3, натрію – 6,3, кремнію – 12,6, цинку – 50, марганцю – 1,2, бору – 14,6. У даний час такі системи та споруди, в основі яких лежить природний процес самоочищення, широко розповсюджені в більшості країн світу [7]. Так, системи очищення водних об'єктів на плантаціях очерету, комишу активно використовуються в країнах Америки. Успішно впроваджують для очищення господарсько-побуто-

вих стічних вод в Нідерландах, Японії, Китаї, для очищення забрудненого поверхневого стоку в Норвегії, Австралії, та в інших країнах. Стійкість рослин очерету до дії значних концентрацій різних забруднень дозволила успішно використовувати його з метою очищення стічних вод комплексів розведення свиней у Великобританії. В Україні очисні споруди типу Constructed Wetlands відносяться до категорії біоінженерні очисні споруди (БІС) та біоплато [7]. Принцип роботи таких споруд передбачає використання природного процесу самоочищення, який протікає у товщі, яка одночасно фільтрує та є субстратом для формування біогеоценозів вищих водних рослин.

На даний час поширені декілька типів БІС для різних умов очищення та різні види біоплато. З успіхом використовують ці методи для доочищення стічних вод після традиційних очисних споруд.

Як і в будь-якого іншого методу, у фіторемедіації є деякі недоліки. До їх числа входить значні затрати часу. Фіторемедіація є довготривалим процесом, і займає, як мінімум пару сезонів.

Перевагами ж цієї технології є те, що будівництво не потребує суттєвих економічних затрат, майданчики працюють довгі роки з мінімальними витратами на їх експлуатацію (очищення відбувається безперервно за рахунок існуючого природного біоценозу). Біоінженерні споруди поєднують у собі основні елементи споруд ґрунтового очищення із гідро біоценозами біоплато або ставків з посадкою ВВР. Відмінною рисою цих споруд є сформований штучно біоценоз. Основними перевагами даного методу є високі та стабільні показники очищення води та навколишнього середовища протягом року, можливість застосування на територіях з різними кліматичними умовами.

Висновки. Проведені дослідження дають підстави стверджувати, що фіторемедіація має ряд суттєвих переваг перед традиційними технологіями водоочищення. Але для повноцінної реалізації виявлених можливостей необхідно проводити додаткові дослідження, які передбачають вибір конкретної технології фіторемедіації перед початком проектування очисних споруд. Також доцільно аналізувати та застосовувати інформацію різного фахового спрямування: екологічну, біологічну, містобудівну, соціальну та економічну. Тому необхідним є розробка механізму методичного підходу, який дозволить комплексно враховувати інформацію під час вибору кращої технології фіторемедіації для впровадження в конкретних умовах.

ECOLOGICAL BIOTECHNOLOGIES OF WATER ECOSYSTEM CLEANING

*Buzina I.M. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Golovan L.V. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Chuprina Yu.Yu. – Postgraduate Student,
Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchayev,
nezabudka120187@gmail.com*

Intense pollution of the hydrosphere today has become threatening, even critical. The ability of aquatic ecosystems to self-cleanse decreases in proportion to the increase in pollution rates. As a result, freshwater supplies are constantly declining. In many countries, and recently in the southern regions of our state, there is a lack of it.

Decreased quality of water supply of the population caused by anthropogenic pollution by pathogenic microorganisms and various xenobiotics of household and man-made origin leads to an outbreak of various diseases, reduced quality of life.

During the research of the ecological state of water resources of the Gomilshansky Forests National Nature Park in Kharkiv region, it was established that one of the most effective and safest technologies for water treatment is phytoremediation. The principle of its action is based on the ability of some plant widows to absorb certain harmful substances from the soil, surface and groundwater. To do this, cultivate different types of plants that are able to accumulate and destroy pollutants. Higher aquatic plants, such as reeds, calendula, reeds and many others, are used in phytoremediation systems to purify natural waters.

As a result of research it was possible to confirm in reed plants the usual expressed phenomenon of hyperaccumulation of heavy metals. The large mass of plants and high growth density prove the feasibility of using these plants in drainage ditches around rocky water bodies as effective phytoremediators. This will reduce the spread of heavy metals in the groundwater of the surrounding areas of NPP «Gomilshansky Forests», the river Seversky Donets, which will prevent further man-made pressure on the environment.

The advantages of the studied technology are that it does not require significant economic costs, purification is continuous due to the existing natural biocenosis. High and stable indicators of water and environmental purification during the year allow the application of such biotechnological methods in areas with different climatic and landscape conditions.

Keywords: aquatic ecosystems, aquatic organisms, phytoremediation, macrophytes, common reed, bioengineered treatment facilities.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бuzина І.М., Хайнус Д.Д. Дослідження питань забруднення водних екосистем важкими металами в умовах змін клімату. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 105. С. 240–246.
2. Проект організації території національного природного парку «Гомільшанські ліси», охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів і об'єктів. Харків. 2019. 392 с.

3. Екологічний атлас Харківської області. Вид. друге, перероблене. Харків. 2005. 80 с.
4. Схеми альтернативних методів очистки стічних вод міста Сокаля. Західний центр Українського відділення «Міжнародного центру наукової культури – Всесвітня лабораторія». 2017. 19 с.
5. Hao Hu, Xiang Li, Shaohua Wu, Chunping Yang. Sustainable livestock wastewater treatment via phytoremediation: Current status and future perspectives. *Bioresource Technology*. 2020, November. Vol. 315:123809. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123809>
6. Бузіна І.М. Застосування фітореMediaційних технологій для ґрунтів з монометалічним забрудненням. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.7. С. 115–121.
7. Рибалова О.В., Бригада О.В., Ільїнський О.В. Методи фітореMediaції для очищення стічних вод. *Danish Scientific Journal*. 2020. № 41. Vol. 2, С. 10–12.
8. Баранов В.І., Книш І.М., Блайда І.А. Очерет звичайний – фітореMediaнт важких металів у дренажних канавах породних відвалів вугільних шахт. *Біологічні студії*. 2012. Т. 6, № 1. С. 93–100.

REFERENCES

1. Buzina I.M., Khainus D.D. (2019). *Doslidzhennia pytan zabrudnennia vodnykh ekosystem vazhkymy metalamy v umovakh zmin klimatu* [Research on pollution of aquatic ecosystems with heavy metals in the context of climate change]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. Vol. 105, 240–246. [in Ukrainian].
2. *Proekt orhanizatsii terytorii natsionalnoho pryrodnoho parku «Homilshanskilisy», okhorony, vidtvorennia ta rekreatsiinoho vykorystannia yoho pryrodnykh kompleksiv i obiektiv*. (2019). [Project of organization of the territory of the national natural park «Gomilshansky forests», protection, reproduction and recreational use of its natural complexes and objects]. [in Ukrainian].
3. *Ekolohichnyy atlas Kharkivs'koyi oblasti*. (2005). [Ecological atlas of Kharkiv region]. [in Ukrainian].
4. *Skhemy al'ternatyvnykh metodiv ochystky stichnykh vod mista Sokalya*. (2017). *Zakhidnyy tsentr Ukrayins'koho viddilennya «Mizhnarodnoho tsentru naukovoyi kul'tury – Vsesvitnya laboratoriya*. [Schemes of alternative methods of wastewater treatment in Sokal. Western Center of the Ukrainian Branch of the International Center for Scientific Culture – World Laboratory]. [in Ukrainian].
5. Hao Hu, Xiang Li, Shaohua Wu, Chunping Yang. (2020). Sustainable livestock wastewater treatment via phytoremediation: Current status

- and future perspectives. *Bioresource Technology*. 2020, November. Vol. 315:123809. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123809>
6. Buzina I.M. (2014) *Zastosuvanny afitoremediatsiynykh tekhnolohiy dlya gruntiv z monometalichnym zabrudnennyam* [Application of phytoremediation technologies for soils with monometallic pollution]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny*. 24.7, 115–121. [in Ukrainian].
 7. Rybalova O.V., Bryhada O.V., Il'yins'kyi O.V. (2020). *Metody fitoremediatsiyi dlya ochyshchennya stichnykh vod* [Phytoremediation methods for wastewater treatment]. *Danish Scientific Journal*. no. 41, Vol. 2, 10–12. [in Ukrainian].
 8. Baranov V.I., Knysh I.M., Blayda I.A. (2012). *Ocheret zvychaynyy – fitoremediant vazhkykh metaliv u drenazhnykh kanavakh porodnykh vidvaliv vuhil'nykh shakht* [Reed is a phytoremediant of heavy metals in the drainage ditches of waste heaps of coal mines]. *Studia Biologica*. Vol. 6, no. 1, 93–100. [in Ukrainian].