

## ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ ГІДРОЕКОСИСТЕМ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ЯК ОДНА З ФОРМ РЕАЛІЗАЦІЇ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В УКРАЇНІ

Скиба О.І.<sup>1</sup>, Грубінко В.В.<sup>2</sup>, Федонюк Л.Я.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ДВНЗ «Тернопільський державний медичний університет  
імені І.Я. Горбачевського  
Міністерства охорони здоров'я України»  
майдан Волі, 1, 46001, м. Тернопіль  
skyba@tdmu.edu.ua

<sup>2</sup>Тернопільський національний педагогічний університет  
імені Володимира Гнатюка  
вул. Словацького, 2, 46001, м. Тернопіль

У статті проведено дослідження вмісту й міграції ВМ у воді лівої притоки Дністра – річки Серет, Тернопільська обл., Україна. Довжина річки в межах області – 248 км; уздовж річки розташовано приблизно третину всіх промислових підприємств області. Установлено, що якість води за вмістом ВМ не відповідає допустимим рівням ГДК<sub>рибогосп.</sub>. Зокрема, вміст цинку у 2016 р. перевищував показники ГДК у 2,75 раза, мангана – у 6,1 раза, феруму – у 3,7 раза, нікелю – у 3,1 раза, що вказує про зростаюче, порівняно з попередніми (1999–2015) роками, забруднення цієї гідроєкосистеми й втрату річкою самоочисної здатності, що в кінцевому підсумку може призвести до забруднення дністровської водної екосистеми регіонального значення. Для покращення екологічної ситуації, яка склалася, запропоновано використання прибережно-водних і водних макрофітів як біологічних фільтрів, що здатні адсорбувати ВМ. *Ключові слова*: річка Серет, гідроєкосистема, важкі метали, забруднення, гранично допустима концентрація.

**Предупреждение загрязнения гидроэкоосистем тяжелыми металлами как одна из форм реализации целей устойчивого развития в Украине.** Скиба О.И., Грубинко В.В., Федонюк Л.Я. В статье проведено исследование содержания и миграции ТМ в воде левого притока Днестра – реки Серет, Тернопольская обл., Украина. Длина реки в пределах области – 248 км; вдоль реки расположена примерно треть всех промышленных предприятий области. Установлено, что качество воды по содержанию ТМ не соответствует допустимым уровням ПДК<sub>рыбохоз.</sub>. В частности, содержание цинка в 2016 г. превышало показатели ПДК в 2,75 раза, марганца – в 6,1 раза, железа – в 3,7 раза, никеля – в 3,1 раза, что указывает о растущем, по сравнению с предыдущими (1999–2015) годами, загрязнении данной гидроэкоосистемы и потери рекой самоочищающейся способности, что в конечном итоге может привести к загрязнению днестровской водной экосистемы регионального значения. Для улучшения сложившейся экологической ситуации предложено использование прибрежно-водных и водных макрофитов как биологических фильтров, способных адсорбировать ТМ. *Ключевые слова*: река Серет, гидроэкоосистема, тяжелые металлы, загрязнение, предельно допустимая концентрация.

**Warning of pollution by heavy metals in water ecosystem as one of the forms of the implementation of the sustainable development goals in Ukraine.** Skyba O., Hrubinko V., Fedoniuk L. We have conducted a research of content and migration of HM in water left inflows of Dniester – the Seret River, the Ternopil Region, Ukraine. River length within an area – 248 km; along the river, it is located about a third of all industrial enterprises of the region. The content of Zinc, Mangan, Ferrum in the last three years have exceeded indicators with a maximum allowable concentration by 2,75 times, – by 6,1 times, – by 3,7 times, Nickel – by 3,1 times. This specifies about growing pollution of this hydro ecosystem and loss of the river to self-cleaning ability, that finally can lead to pollution of the Dniester ecosystem of regional value. For improvement of an ecological situation, which has developed, we offered to use coastal and water plants as the biological filters capable to adsorb HM, such as *Nuphar lutea* (L.) Sm., *Sagittaria sagittifolia* L., *Ceratophyllum demersum* L. and *Ranunculus circinatus* Sibth. *Key words*: Seret river, hydroecosystem, heavy metals, pollution, maximum permissible concentration.

**Постановка проблеми.** Розвиток суспільства на основі концепції про невичерпність і самовідновлюваність запасів прісної води призвів до значної деградації як світових, так і вітчизняних водних ресурсів, їх дефіциту, виснаження й погіршення якості внаслідок забруднення, що зростає. Нині саме якість водних ресурсів, а не їх кількість є обмежувачим фактором раціонального та екологічно безпечного водокористування на фоні різкого зростання

попиту на якісну прісну воду. З огляду на цілі сталого розвитку людства, які ухвалені на Саміті ООН зі сталого розвитку, однією із цілей є забезпечення наявності і сталого управління водними ресурсами й санітарією, що передбачає захист і відновлення водних екосистем, таких як ліси, гори, болота й річки, і має вагоме значення для пом'якшення дефіциту води. Забезпечення загального доступу до безпечної та недорогої питної води для всіх до 2030 року вима-

гає від нас інвестування у відповідну інфраструктуру, забезпечення санітарно-технічних споруд, а також стимулювання гігієни на всіх рівнях [1, с. 22].

Однією з гострих екологічних проблем стає забруднення басейнів малих і середніх річок, які через незначні площі водозборів є найбільш вразливими до впливу антропогенезу й техногенезу. Особливо небезпечними за впливом на екологічну систему водних об'єктів є важкі метали (далі – ВМ), які належать до класу консервативних забруднюючих речовин, що не використовуються та не розкладаються під час міграції по трофічних ланцюгах гідроекосистем, мають мутагенну й токсичну дію, значно знижують інтенсивність проходження біохімічних процесів у водних об'єктах [14; 23; 24].

У результаті недосконалої технології дуже велика кількість промислових забруднень потрапляє до поверхневих водойм, у тому числі токсичні сполуки ВМ (свинець, кадмій, марганець, кобальт, нікель, мідь, залізо, цинк тощо). Сумарна кількість забруднень, які потрапляють у водойми й водотоки з поверхневим стоком урбанізованих територій, становить близько 15–20% від показників забруднення господарсько-побутових стічних вод.

Усі вищеописані обставини висувають проблему забруднення вод ВМ на одне з перших за екологічним значенням місць, незважаючи на те що рівень умісту в гідросфері ВМ на тепер нижчий, ніж нафтопродуктів, хлорорганічних пестицидів, поліхлорованих біфенілів та інших токсикантів. Моніторинг ВМ, вивчення процесів їх накопичення й міграції, виявлення факторів, якими ці процеси визначаються, є одним із важливих питань як для оцінювання безпеки навколишнього середовища, так і для здоров'я людей [26]. Регіональне забруднення малих і середніх річок ВМ призводить до погіршення якості води у великих річках, що створює серйозну небезпеку для здоров'я населення [21].

З огляду на зазначене, мета дослідження – здійснити аналіз ступеня забруднення води річки Серет важкими металами, зіставити отримані дані зі значеннями ГДК<sub>рибгосп</sub> і запропонувати шляхи вирішення проблеми забруднення водойм Тернопільської області завдяки поглинальній здатності прибережно-водних і водних макрофітів.

**Виклад основного матеріалу.** Останніми роками проведено низку досліджень із тематики екологічної безпеки природних водойм, опубліковано низку статей, монографій і захищено кандидатські дисертації («Закономірності формування вмісту та розподілу сполук фосфору у річках Тернопільщини у зв'язку із ступенем антропогенного навантаження» (О.І. Скиба, 2017 р.), «Екологічна оцінка стану р. Збруч за накопиченням важких металів в умовах зарегулювання стоку та маловоддя» (Т.В. Сорока, 2018 р.). Однак у зв'язку з незворотними кліматичними змінами та погіршенням екологічного стану поверхневих водойм вивчення забруднення

гідроекосистем потребує подальшого вивчення й дослідження.

Використання як природних біофільтрів водної рослинності відомо ще з минулого століття, однак нами вперше здійснена спроба пояснити процес очищення за допомогою рослин-макрофітів і виділити серед них найкращих очисників водойм.

**Матеріали й методи дослідження.** Річка Серет – найдовша з лівих приток Дністра в межах Тернопільської області. Площа її басейну – 3900 км<sup>2</sup>, що становить майже 1/3 площі області. Довжина річки – 248 км, ширина русла – 10–20 м, середня глибина – 0,5–2,0 м. Основними забруднювачами річки є комунальне підприємство «Зборівський водоканал», комунальне підприємство «Теребовля» й комунальне підприємство «Чортківське виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства».

Проаналізовано 128 проб води з річки Серет, які відібрані впродовж травня-вересня 2016 р. Методику вибору місць відбору проб викладено в роботах [8; 10; 11]. Воду фільтрували через мембранний фільтр із діаметром пор 0,45 мкм, концентрували до 10 разів і визначали вміст ВМ методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії на спектрофотометрі С-115 М1, С-600 при відповідних довжинах хвиль, що відповідали максимуму поглинання кожного з досліджуваних металів згідно зі стандартними методиками [15]. Уміст ВМ виражали в мг на 1 дм<sup>3</sup> досліджуваних зразків. Отримані дані зіставляли згідно з гранично допустимими концентраціями досліджуваних металів [2]: ГДК(Zn)<sub>рибгосп</sub> = 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, ГДК(Mn)<sub>рибгосп</sub> = 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, ГДК(Fe)<sub>рибгосп</sub> = 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, ГДК(Pb)<sub>рибгосп</sub> = 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, ГДК(Co)<sub>рибгосп</sub> = 0,05 мг/дм<sup>3</sup>, ГДК(Ni)<sub>рибгосп</sub> = 0,01 мг/дм<sup>3</sup>.

Для визначення вмісту ВМ у пробах вищих водних рослин їх висушували в сушильній шафі за температури 60–65 °С до повітряно-сухого стану. Повітряно-суху пробу подрібнювали й просіювали через сито з отворами діаметром 2 мм. Залишок на ситі після подрібнення ножицями або в ступці додавали до просіяної частини й ретельно перемішували. Мінералізацію проб рослин проводили методом мокрого озолення, після чого визначали ВМ у зольних розчинах рослинних проб на атомно-абсорбційному спектрофотометрі при відповідних довжинах хвиль, що відповідали максимуму поглинання кожного з досліджуваних металів згідно зі стандартними методиками [12–13].

Статистична обробка одержаних експериментальних даних проведена з використанням пакета прикладних програм Microsoft Office Excel 2010 і Statistica 6.0.

**Результати дослідження й обговорення.** Відомо [4; 14; 25; 27], що антропогенними джерелами забруднення поверхневих вод сполуками *плумбуму* є згоряння вугілля, використання тетраетилсвинцю як антидетонатора в моторному паливі, а також винесення у водойми зі стічними водами рудозба-

гачувальних фабрик, металургійних підприємств, хімічних підприємств і шахт. Сполуки *кобальту* потрапляють у поверхневі води в результаті вилуговування мідноколчеданних руд, екзогенних мінералів і порід, із ґрунтів під час розкладання організмів і рослин тощо. Основними джерелами надходження *мангану* в поверхневі води є залізо-марганцеві руди та деякі інші мінерали, які містять манган, стічні води марганцевих збагачувальних фабрик, металургійних заводів, підприємств хімічної промисловості, шахтні води тощо. Значна кількість *феруму* надходить у водойми з підземним стоком, з виробничими й сільськогосподарськими стічними водами. Одним із найбільш серйозних джерел забруднення *нікелем* є стічні води цехів нікелювання, заводів синтетичного каучуку, нікелевих збагачувальних фабрик, підприємств хімічної промисловості, спалювання вугілля. Високим вмістом *цинку* характеризуються стічні води рудозбагачувальних фабрик, гальванічних цехів багатьох підприємств, виробництв пергаментного паперу, мінеральних фарб, штучного волокна тощо [9; 18; 29].

У результаті дослідження встановлено, що якість води в річці Серет за вмістом ВМ не відповідає допустимим рівням ГДК<sub>рибгосп.</sub>, за винятком кобальту, вміст якого не перевищує гранично допустимих концентрацій для рибогосподарських водойм. Статистичні дані щодо вмісту ВМ у водоймі представлені в таблиці 1.

Концентрація *цинку* знижувалася з травня до червня, зростала в серпні та знижувалася у вересні. Уміст Zn у травні перевищує показник ГДК<sub>рибгосп.</sub> у 1,2 раза, у серпні – у 2,7 раза, у вересні – у 1,3 раза.

У водоймі, порівняно з травнем, у червні вміст цинку значно знижувався, що може бути свідченням прискорених процесів вегетації фітогидробіонтів у зв'язку з високими температурами води. У другій половині літа при максимальній температурі води наставав новий період бурхливого розвитку фітопланктону і друге «цвітіння» води, що мало б призвести до наступного зниження концентрації цинку у воді. Однак спостерігалось обернене явище, а саме підвищення вмісту елемента у водоймах області, що, на нашу думку, пов'язано з гідрохімічними особливостями досліджуваних річок, зокрема рівнем рН. У вересні концентрація елемента впала, що пояснюється активним споживанням цинку протягом літа

водною біотою та певною мірою його закомплексованістю з гумусовими речовинами.

Щодо *мангану*, то для водойми було характерним поступове зростання вмісту металу з травня до вересня. У травні показник вмісту мангану не перевищував ГДК<sub>рибгосп.</sub>, а в наступні три місяці – перевищував у 2,6; 4,1 і 6,1 раза.

Значне перевищення ГДК<sub>рибгосп.</sub> мангану в поверхневих водах Тернопільщини передусім зумовлено знаходженням цього металу в незначній кількості в усіх гірських породах [16; 19]. Окрім того, чорноземи опідзолені, які займають значні площі басейну річки, зазнають оглеєння, внаслідок чого виникають токсичні речовини (закисні сполуки заліза, марганцю).

Незначні концентрації мангану у травні можна пояснити залуженням води (рН = 8,14 – 8,94) у зв'язку з вегетацією гідробіонтів. У вересні вміст мангану зростає, що зумовлено надходженням елемента в процесі відмирання й розкладу гідробіонтів, особливо синьо-зелених і діатомових водоростей, а також вищих водних рослин (далі – ВВР).

Уміст *феруму* у воді річки характеризувався поступовим збільшенням з травня до вересня (0,371 мг/дм<sup>3</sup>), що перевищувало ГДК<sub>рибгосп.</sub> у 3,7 раза. У дослідженні перевищення концентрації феруму у водоймах Тернопільщини до 9,21 ГДК<sub>рибгосп.</sub> спричинене покладами пісковиків у Бучацькому районі, кварцових пісків у Тернопільському районі, гравію в долині та на прибережних схилах Серету, Золотої Липи, які, порівняно з іншими покладами осадового походження, містять у своєму складі значні концентрації сполук феруму [16]. Загалом динаміка вмісту феруму в досліджених водоймах значно нагадує таку, як для мангану, адже ці два елементи близькі як за фізико-хімічними властивостями, так і відношенням до біоти. У всіх водоймах у травні спостерігались високі концентрації елемента, незважаючи на залуженість води, що можна пояснити надходженням феруму з донних відкладів і накопиченням у товщі води. У червні зафіксовано зменшення вмісту металу, що, на нашу думку, спричинене комплексоутворенням металу з участю розчинених органічних речовин. У вересні, у процесі відмирання й розкладу гідробіонтів і ВВР, вміст феруму зростає.

Концентрація *плюмбуму* зростала з травня до червня, мінімум у серпні та зростання у вересні. Підвищення елемента у воді можна пояснити його

Таблиця 1

## Показники вмісту важких металів у воді річки Серет з травня по вересень 2016 р.

Метал/ місяць	Zn, мг/дм <sup>3</sup>	Mn, мг/дм <sup>3</sup>	Fe, мг/дм <sup>3</sup>	Pb, мг/дм <sup>3</sup>	Co, мг/дм <sup>3</sup>	Ni, мг/дм <sup>3</sup>
Травень	0,012 ± 0,002	0,003 ± 0,019	0,338 ± 0,056	0,091 ± 0,027	0,013 ± 0,003	0,024 ± 0,003
Червень	0,006 ± 0,001	0,026 ± 0,006	0,223 ± 0,021	0,105 ± 0,017	0,017 ± 0,001	0,032 ± 0,005
Серпень	0,027 ± 0,005	0,041 ± 0,017	0,332 ± 0,132	0,027 ± 0,0	0,019 ± 0,000	0,017 ± 0,000
Вересень	0,013 ± 0,001	0,061 ± 0,016	0,371 ± 0,071	0,053 ± 0,019	0,02 ± 0,002	0,022 ± 0,002

## Поглиняльна здатність вищих водних рослин ВМ у травні 2016 р.

№ з/п	Рослина	Fe, мг/кг сухої маси	Zn, мг/кг сухої маси	Co, мг/кг сухої маси	Ni, мг/кг сухої маси	Mn, мг/кг сухої маси	Pb, мг/кг сухої маси
1	<i>N. lutea</i> (L.) Sm., radix	458,11	5,68	9,06	10,77	4,35	4,34
	<i>N. lutea</i> , caulis	133,77	3,80	5,78	7,93	12,48	3,44
	<i>N. lutea</i> , folium	110,00	4,87	7,31	8,29	7,31	1,54
2	<i>S. sagittifolia</i> L., radix	333,35	8,77	10,95	12,94	10,63	8,84
	<i>S. sagittifolia</i> L., caulis	117,60	2,88	10,87	14,38	3,33	7,28
	<i>S. sagittifolia</i> L., folium	173,33	4,63	10,83	15,41	5,01	7,73
3	<i>Ranunculus circinatus</i> Sibth., radix	107,02	4,38	5,24	3,90	7,84	2,46
	<i>Ranunculus circinatus</i> Sibth., caulis	50,00	4,46	5,06	4,37	3,85	2,57
	<i>Ranunculus circinatus</i> Sibth., folium	73,60	6,14	5,32	4,15	4,71	4,21
4	<i>C. demersum</i> L.	528,48	5,79	9,01	9,08	19,95	2,69

надходженням зі стічними водами промислових підприємств м. Тернополя з високим вмістом поверхнево-активних речовин. На нашу думку, значна концентрація плумбуму в серпні пов'язана з процесом метилювання неорганічних сполук свинцю в донних відкладах, що сприяє мобілізації елемента з мулу. Як відомо, рослини восени, поглинувши деяку кількість ВМ, за течією води опускаються в нижні ділянки водойми й там, відмираючи, викликають вторинне забруднення води, віддаючи їй ВМ, біогенні елементи та органічні речовини.

Для металу кобальт характерне поступове підвищення елемента з травня до вересня. З травня до червня у водоймі спостерігалось зростання вмісту кобальту, що можна пояснити таким. Улітку має місце надходження ВМ у водне середовище з донних відкладів і їх акумуляція водною рослинністю внаслідок фізичного (хвилі, течії, пониження та підвищення рівня води) чи антропогенного впливів, які призводять до збільшення концентрації вільних іонів елемента [3]. У серпні відзначалось зростання вмісту елемента, що може бути внаслідок як природних, так й антропогенних факторів [9].

Уміст нікелю зростав з травня до червня, зменшення в серпні та незначне зростання у вересні. Концентрація нікелю перевищувала ГДК<sub>рибгосп.</sub> у 2,2 рази. Підвищення вмісту нікелю в червні, порівняно з травнем, може бути зумовлено невисоким ступенем його закомплексованості. У серпні у водоймі при рН від 6,64 до 7,6 моль/л зафіксовано зниження концентрації елемента, що пов'язано зі зв'язуванням металу в комплекси з фульвокислотами. У вересні у воді річки спостерігали підвищення вмісту нікелю, що пояснюємо вивільненням останнього з відмираючої біоти [20].

Згідно з нашими дослідженнями, кількісне співвідношення ВМ металів у воді досліджуваної водо-

йми можна подати такими рядами:

травень: Mn < Zn < Co < Ni < Pb < Fe; червень: Zn < Co < Ni < Mn < Pb < Fe;

серпень: Ni < Co < Zn < Pb < Mn < Fe; вересень: Zn < Co < Ni < Pb < Mn < Fe.

Порівнюючи ряди вмісту ВМ у річці Серет, відмітимо, що забруднення насамперед спричинено біогенними ВМ (ферумом і манганом) і плумбумом. Якщо в першому випадку можна говорити про природний високий фоновий рівень цих елементів, то наявність плумбуму у воді – це вплив господарської діяльності людини.

Відомо, що специфічним та ефективним біологічним фільтром для очистки водойм від забруднень є водна рослинність, зокрема макрофіти [5; 6; 28]. Тому другим етапом дослідження було виявлення прибережно-водних і водних рослин-макрофітів, які здатні адсорбувати важкі метали в різноманітних частинах свого тіла [7]. Результати поглиняльної здатності рослин щодо ВМ у мг/кг сухої маси представлені в таблиці 2.

Проведеними дослідженнями (визначався вміст важких металів у рослині, мг/кг сухої маси) встановлено, що найбільша поглиняльна здатність для рослин припадає на кореневу систему, за винятком *Ranunculus circinatus* Sibth., у якого поглиняльна здатність найбільша в листовій системі (у поглинанні цинку, кобальту і плумбуму). Максимальна поглиняльна здатність для *C. demersum* L. характерна для таких металів, як ферум, кобальт і манган. Найбільша здатність до поглинання цинку характерна для корневих частин *S. sagittifolia* L. і *N. lutea* (L.) Sm. Нікелю найбільше поглинає *S. sagittifolia* L. Листям і стебловою частиною. Щодо плумбуму, то його найбільше поглинає *S. sagittifolia* L. кореневою системою [17].

Отже, *Nuphar lutea* (L.) Sm. (Глечики жовті) найбільше акумулює ферум і цинк, *Sagittaria*

*sagittifolia* L. (Стрілолист стрілолистий) – кобальт, нікель, *Ceratophyllum demersum* L. (Кушир занурений) – манган, *Ranunculus circinatus* Sibth. (Водяний жовтець) – плюмбум. Тому нами запропоновано додаткове культивування водних рослин як біологічних фільтрів уздовж річок і в їх прибережній частині з їх подальшою утилізацією.

**Головні висновки.** Якість води в річці Серет за вмістом важких металів не відповідає допустимим рівням ГДК<sub>рибгосп.</sub> за винятком кобальту, вміст якого не перевищує гранично допустимих концентрацій для рибогосподарських водойм. Підвищений вміст мангану й феруму у воді зумовлений знахо-

дженням цих елементів в абіотичних складниках долини річки, зокрема в місцях рудопроявів феруму й мангану, алювіальних відкладах, оглеєних ґрунтах, а також вимиванням елементів із гірських порід, ґрунту та лісової підстилки. Культивування вищих водних і прибережно-водних рослин сприятиме поступовому очищенню гідроекосистеми від ВМ і відновленню самовідтворювальної здатності річки. Для акумулювання феруму й цинку запропоновано додатково культивувати *Nuphar lutea* (L.) Sm., кобальту й нікелю – *Sagittaria sagittifolia* L., мангану – *Ceratophyllum demersum* L., плюмбуму – *Ranunculus circinatus* Sibth.

### Література

1. Вергун А.М., Тарасенко І.О. Концепція сталого розвитку в умовах глобалізації. Вісник КНУТД. 2014. № 2. С. 207–218.
2. Гранично допустимі значення показників якості води для рибогосподарських водойм. Загальний перелік ГДК і ОБРВ шкідливих речовин для води рибогосподарських водойм (№ 12-04-11 від 09.08.1990). Київ: Міррибгосп СРСР, 1990. 45 с.
3. Гуменюк Г.Б. Розподіл важких металів у гідроекосистемі прісної водойми (на прикладі Тернопільського ставу): дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.16 «Екологія» / Тернопільський нац. пед. ун-т ім. В. Гнатюка; наук. кер. В.В. Грубінко. Тернопіль, 2003. 198 с.
4. Клименко М.О., Бедункова О.О. Колообіг важких металів у водних екосистемах. Рівне: НУВГП, 2008. 216 с.
5. Клименко М.О., Гроховська Ю.Р., Бедункова О.О. Накопичення важких металів гідрофітам. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. праць. 2006. № 33 (1). С. 159–164.
6. Кокин К.А. Экология высших водных растений. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1982. 160 с.
7. Крот Ю.Г. Исползование высших водных растений в биотехнологиях очистки поверхностных и сточных вод. Гидробиологический журнал. 2006. № 42 (1). С. 49–55.
8. Лейте В. Определение органических загрязнений питьевых, природных и сточных вод / пер. с нем. Москва: Химия, 1975. 200 с.
9. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. 268 с.
10. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. Москва: Химия, 1973. 376 с.
11. Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.И. Химический анализ производственных сточных вод. Москва: Химия, 1974. 336 с.
12. Полевой В.В., Максимов Г.Б. Методы биохимического анализа растений: учебное пособие. Ленинград: Изд-во Ленинградского ун-та, 1978. 192 с.
13. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. Ленинград: Изд-во Ленинградского ун-та, 1972. 365 с.
14. Мур Дж., Рамамурти В.С. Тяжёлые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния. Москва: Мир, 1987. 285 с.
15. Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. Методы исследования качества воды водоемов. Москва: Медицина, 1990. 400 с.
16. Природні умови та ресурси Тернопільщини / за ред. М.Я. Сивого. Тернопіль: ТЗОВ «Терно-граф», 2011. 512 с.
17. Прокопчук О.І. Застосування вищих водних рослин в очищенні водойм від фосфатів. Наукові засади підготовки фахівців природничого, інженерно-педагогічного та технологічного напрямків: матеріали I Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. Бердянськ, 2017. С. 184–185.
18. Прокопчук О.І., Грубінко В.В. Важкі метали у малих річках Тернопільщини з різним рівнем антропогенного навантаження. Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Біологія, екологія». Дніпропетровськ, 2016. № 24 (1). С. 173–181.
19. Свинко Й.М. Нарис про природу Тернопільської області: геологічне минуле, сучасний стан. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2007. 192 с.
20. Скиба О.І. Закономірності формування вмісту та розподілу сполук фосфору у річках Тернопільщини у зв'язку із ступенем антропогенного навантаження: дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.16 «Екологія» / Тернопільський нац. пед. ун-т ім. В. Гнатюка; Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича; наук. кер. В.В. Грубінко. Чернівці, 2017. 180 с.
21. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ: Ніка-Центр, 2001. 262 с.
22. Стратегія сталого розвитку України на період до 2030 року. Проект. Версія 3.2 станом на 05.12.2016. 1. 29 с.
23. Трахтенберг И.М., Колесников В.С., Луковенко В.П. Тяжелые металлы во внешней среде: соврем. гигиен. и токсикол. аспекты. Минск: Наука і тэхніка, 1994. 285 с.
24. Тяжелые металлы как фактор экологической опасности: метод. указ. / сост. Ю.А. Холопов. Самара: СамГАПС, 2003. 16 с.
25. Duruibe J., Ogwuegbu M., Egwurugwu J. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. International Journal of Physical Sciences. 2007. № 2 (5). P. 112–118.
26. Kar D., Sur P., Mandal S., Saha T., Kole R. Assessment of heavy metal pollution in surface water. Int. J. Environ. Sci. Tech. 2008. № 5 (1). P. 119–124.
27. Nasrabadi T. An index approach to metallic pollution in riverwaters. Int. J. Environ. Res. 2015. № 9 (1). P. 385–394.
28. Nouri J., Khorasani N., Lorestani B., Karami M., Hassani A., Yousef N. Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant species with phytoremediation potential. Environmental Earth Sciences. 2009. № 59. P. 315–323.
29. Reza R., Singh G. Assessment of heavy metal contamination and its indexing approach for river water. Int. J. Environ. Sci. Tech. 2010. № 7 (4). P. 785–792.