

Тема 2 Оцінка впливу техногенного забруднення водного середовища зворотними водами та сучасні методи його відновлення

Мета заняття: розуміння впливу воєнних подій на стан водних об'єктів в Україні та ліквідацію їх наслідків; усвідомлення особливостей очищення води від йонів важких металів та заходів відновлення навколишнього середовища; з'ясувати особливості застосування нових екологічно ефективних технологій очищення стічної води.

План

1. Антропогенна евтрофікація водних об'єктів в умовах війни та ліквідація її наслідків.
2. Техногенний вплив важких металів на навколишнє середовище та заходи його відновлення.
3. Основні напрямки збереження та відновлення водного середовища шляхом створення нових екологічно ефективних технологій очищення стічної води.
4. Оцінка екологічного стану водних об'єктів після руйнування Каховської ГЕС.

1. Антропогенне евтрофування та забруднення води – це основні процеси, що викликають деградацію річок, водосховищ, озерних систем і погіршення якості води. Хоча головною причиною обох процесів є відходи господарської діяльності, що надходять у водойми з водозбору, кожний з процесів має свою специфіку. Забруднення водойм токсичними речовинами техногенного походження часто ускладнює або робить неможливим використання води для питних цілей. Крім того, забруднювальні речовини накопичуються в донних відкладеннях, а також у фітопланктоні та зоопланктоні, вищій водній рослинності та рибах. При цьому нерідко утворюються нові, більш токсичні сполуки та виникають вогнища вторинного забруднення води. Загроза антропогенного евтрофування водойм стала усвідомлюватися тільки в другій половині минулого століття. Для водойм, особливо озерних екосистем, надмірне надходження біогенних речовин не менш небезпечно, ніж токсичне забруднення води. Коли вміст у воді фосфору, азоту, калію перевищує критичний рівень, прискорюються життєві процеси водних організмів. Як наслідок, починається масовий розвиток планктонних водоростей (“цвітіння” води), вода набуває неприємного запаху і присмаку, її прозорість знижується, збільшується кольоровість, підвищується вміст розчинених і завислих органічних речовин. Перенасичення води органічними сполуками стимулює розвиток сапрофітних бактерій (у тому числі особливо небезпечних хвороботворних), водних грибів, різко загострюючи епідеміологічні обставини на водних об'єктах. При надлишку органічної речовини у воді утворюються стійкі органомінеральні комплекси з важкими металами, в деяких випадках більш токсичні, ніж самі метали. На окислення величезної кількості новоутвореної органічної речовини витрачається значна частина розчиненого у воді кисню – виникає кисневий дефіцит, що вкрай негативно впливає на цінні породи риб і їх кормову базу – зообентос. Крім того, дефіцит кисню приводить до того, що з донних відкладень у воду більш активно виділяється ряд речовин, у тому числі фосфор, а це, своєю чергою, інтенсифікує процес евтрофування. Таким чином, починаючи з якогось моменту, евтрофування, отримуючи

внутрішнє водне прискорення, незворотним, викликаючи деградацію озерних систем і водосховищ. Щорічно у р. Дніпро зі зворотними водами потрапляє 51 тис. тонн мінерального азоту та 10 тис. тонн фосфатів [1]. Великий вміст азоту, фосфатів та завислих речовин у зворотних водах призводить до евтрофування водойм та збільшення мулових донних відкладень. Перелічені фактори забруднення спричиняють суттєві порушення природної рівноваги у біоценозах Дніпра [1].

Забруднення малих річок. У гідрографічній мережі будь-якого водозбірного басейну переважають струмки та малі річки. На території України за уточненими даними налічується 63029 малих річок і водотоків загальною довжиною 185,8 тис. км. Головна особливість формування стоку малих річок – їх дуже тісний зв'язок з ландшафтом басейну, що й обумовлює їх вразливість при надмірному використанні не лише водних ресурсів, а й водозбору. Малі річки виконують функції регулятора водного режиму ландшафтів, підтримуючи рівновагу і перерозподіл вологи. Вони визначають також гідрологічну і гідрохімічну специфіку середніх і великих річок. Для України використання малих річок завжди мало велике значення. В останні десятиліття відзначався інтенсивний ріст водокористування на малих річках, що призвело до погіршення якості води та гідрологічного режиму. Значно збільшилося безповоротне водоспоживання. У деяких регіонах через безконтрольний забір води багато малих річок пересихають, замулюються і взагалі зникають. Антропогенний вплив на малі річки обумовлений господарською діяльністю, яка здійснюється і в межах водозбірних басейнів, і на самих водотоках. Дренажні води, що скидаються з меліоративних систем, в основному неочищені, викликають “цвітіння” малих річок в літній період і погіршують якість води. До недавнього часу основним джерелом забруднення малих річок були відпрацьовані промислові та комунальні стічні води. Створення відстійників, очисних споруд знизило ступінь забруднення цієї категорії стічних вод. Однак зросла частка забруднених вод, які формуються в межах водозбірних басейнів малих річок. Це перш за все поверхневий стік з сільськогосподарських угідь, що містить мінеральні добрива, отрутохімікати та біогенні речовини. Для облаштування, відродження та охорони малих річок, ліквідації джерел забруднення води всі проведені заходи повинні мати екологічну спрямованість. Крім ліквідації зосереджених і розсіяних джерел забруднення, необхідно відновити всі основні природні чинники річкової системи, в тому числі водну фауну і флору. На жаль, сталому функціонуванню річкових екосистем при відновлювальних роботах на малих річках України не приділяється належної уваги.

Питне водопостачання. Забруднення води в джерелах обумовлене високим антропогенним навантаженням на водозбори, відсутністю або слабкою інженерною облаштованістю водоохоронних зон, скиданням стічних вод. В умовах сучасних міст очищаються величезні об'єми води. Однак через постійний дефіцит реагентів відбувається повсюдне порушення технології очищення. Через великі об'єми оброблюваної води застосування фізико-хімічних методів очищення від важких металів стає неможливим.

Використання хлору як знезаражувальний засіб призводить до того, що взаємодіючи з водою, насичено органічними речовинами, він утворює високотоксичні хлорорганічні сполуки. До організаційно-економічних і концептуальних прорахунків можна віднести збереження централізованого водопостачання міст, неефективність монопольної муніципальної служби водозабезпечення, єдину промислово-комунальну систему водопостачання, необґрунтовано високі питомі норми водоспоживання, низьку плату за воду, яка не відповідає витратам на її підготування і подачу споживачам, скидання забруднених стічних вод. Водопостачання міст перетворилося в погано кероване гігантське господарство. Довести такий об'єм води до питної якості практично неможливо. В умовах жорстко централізованої системи водопостачання складно експлуатувати десятки кілометрів водопровідних мереж, побудованих з металевих труб. Їх поступовий знос і корозійне обростання, низька якість санітарно-технічної арматури призводять до частих аварій, перебоїв в подачі води. У результаті лише 30-40% води, що проходить очищення на станціях водопідготовки призначено для господарсько-питних потреб населення, але і ця вода вдруге забруднюється у мережах водопроводів на шляху до споживача.

2. До 70 відсотків важких металів потрапляють до організму людини з водою. Низька якість питної води зумовлюється неякісним очищенням стічної води від важких металів, що призводить до погіршення стану здоров'я людини (табл. 1) [7]. Відомо, що велика кількість важких металів потрапляє до організму людини з різноманітними продуктами. Визначено [1,7], що риба є поставником кадмію (65 %), свинцю (44 %); ртуті — овочі (100 %); миш'яку — зернові (34 %). Виходячи з цього, найбільший внесок у ризик розвитку токсичних системних ефектів вносять продукти термінальних харчових ланцюгів. Для важких металів, які потрапляють до біосфери у разі людської діяльності, не існує природних механізмів розкладення, біодеградації та утилізації. Ці речовини накопичуються, циркулюють в середовищі, включаються до процесів і знову повертаються до людства. Дослідження накопичених металів здійснюють атомно-абсорбційною спектроскопією, використовуючи стандартні методики [7]. Деякі автори визначали вміст важких металів за допомогою полярографії, флуоресценції, атомно-емісійною спектроскопією [7].

Таблиця 1 Вплив важких металів на здоров'я людини

Забруднювач	Основне джерело	Вплив на здоров'я людини
Залізо	Промисловість	Цироз печінки, захворювання судин
Кадмій	Виробництво кольорових металів, батареєк, мінеральних	Протеїнурія, хвороба нирок та Ітай – Ітай, остеомаліяція, рак

	добрив	підшлункової залози, підвищення кров'яного тиску, остеопороз, мутагенна дія, інтестинальні розлади
Марганець	Виплавка металу, добрива	Прогресуюча виразка ЦНС, летаргія, пневмонія, синдром Паркін-сона, рак шлунку, пухлини кісток
ідь	Промисловість, спалювання вугілля, фарби, добрива	Пневмонія, професійні захворювання, гепатити
Кобальт	Металургійне виробництво, лаки, фарби	Рак легень, шкіри, порушення кровотворення, мутагенна дія,
Цинк	Кольорова металургія	Інтоксикація, пухлини, поразка шкіри, новоутворювання
Свинець	Виробництво металів, двигунів, придорожній пил, ґрунт навколо підприємств	Поразка ЦНС, печінки, нирок, статевих органів, ослаблення розумової діяльності у дітей, канцерогенна дія

Встановлено скупчення важких металів в донних відкладеннях водосховищ Дніпра — кадмію, свинцю. Їх кількість зростає у зв'язку з антропогенною дією людини. Мул — тип донних відкладень, який виступає у ролі суміші сорбентів і забезпечує акумуляцію важких металів: міді, цинку, марганцю. Що стосується розповсюдження кадмію в осадах кожного із водосховищ, які утворюють каскад, то його відносне утримання у складі рухомих з'єднань складало максимальну кількість у Київському, Запорізькому, Канівському, Кременчуцькому, і менш — на дні Каховського водосховища, що було транспортовано з масою води при руйнуванні Каховської ГЕС. [1]. У разі седиментації та акумуляції живильних речовин (азоту та фосфору), органічних з'єднань і важких металів виникає замулювання, евтрофікація та забруднення водосховищ, що призведе до погіршення якості води із-за порушення кисневого режиму та інших цвяхів біотичного колообігу. Повторне забруднення води Дніпровських водосховищ важкими металами в мулових розчинах у 8 разів більше, ніж у водному середовищі [1].

Останнім часом широко використовується засіб очищення стічних вод від важких металів ферментними препаратами.

При очищенні стічних вод від важких металів використовують фізико-хімічні та біологічні методи. До фізико-хімічних відноситься реагентний метод. Його суть полягає в трансформації розчинних у воді речовин на нерозчинні з

додаванням різних реагентів з наступним відділенням їх від води у вигляді осаду. Як реагенти для очищення стічних вод від іонів важких металів використовують гідроксиди кальцію і натрію, карбонат натрію, сульфід натрію, різні відходи, наприклад ферохромовий шлак та ін. Найбільш широко використовують гідроксид кальцію. Осадження металів здійснюється у вигляді гідроксидів. Процес проводять за різних значень рН. Недоліком реагентного методу є втрата цінних речовин разом з осадом [7], утворення великих об'ємів обводнених осадів, які потребують утилізації, в результаті чого зростають експлуатаційні витрати. Використання методу феритизації дозволяє легко відділити магнітною сепарацією нерозчинні та хімічно інертні осади з щільною феритною структурою, а отже - з підвищеною екологічною безпечністю. При цьому досягається високий ступінь очищення води, що дозволяє ліквідувати скидання токсичних стічних вод у водойми та скоротити витрати води шляхом використання очищеної води в оборотній системі водопостачання. Тривалість даного процесу залежить від температури та складає 20-30 хв за температури $\geq 60^{\circ}\text{C}$ та понад годину за температури 30°C [7]. Одним із методів очищення стічних вод від іонів важких металів є метод сорбції. Як природний сорбент використовують бентонітову глину.

Відомий аналог - спосіб адсорбції важких металів зі стічних вод методом сорбційного концентрування на природних цеолітах. Суть способу полягає в тому, що в розчин, що вміщує іони сорбованого металу, додають сорбент у співвідношенні між твердою і рідкою фазами не менш ніж 1:50. Як адсорбент використовують мінерал подібний до глини, представлений каолінітом, монтморилонітом та гідрослюдою. Процес відбувається за нормальної температури та періодичного перемішування, тривалість контакту - 8 год. Недоліком такого методу є недостатня якість очищення у кислому і нейтральному середовищах (рН 2÷7). Крім цього, значне набухання мінералу ускладнює його видалення та регенерацію після використання. При використанні як природного сорбенту бентонітової глини досягається вилучення важких металів у певному інтервалі рН, що призводить до підвищення ступеня очищення стічних вод [4]. Прогресивним розвитком методів природного біологічного очищення є біоінженерні споруди типу біоплато. Це штучна система очищення стічних вод, що має ряд характеристик природного біоплато. Для очищення стічних вод в цій системі застосовують різні гідробіоти: мікроорганізми, водорості, вищі рослини тощо. Очищення можливе як в аеробних, так і в анаеробних умовах. При протіканні стічних вод через шари завантаження іони важких металів адсорбуються на зернах завантаження, при цьому відбувається ряд складних процесів адсорбції, комплексоутворення, осадження. У процесі росту мікроорганізми поглинають деякі важкі метали, що беруть участь в різних клітинних процесах, використовують, наприклад, мідь і цинк для синтезу власних ферментів, РНК, ДНК [3]. Перспективним біологічним методом очищення стічних вод від важких металів є фіто акумуляція іонів вищими водними рослинами. Макрофіти мають здатність до накопичення речовин в концентраціях, що перевищують їх вміст у навколишньому середовищі. Вони є перспективним

об'єктом біоремедіації, завдяки їх здатності накопичувати окремі елементи. Наприклад, кушир (*Ceratophyllum demersum*) використовують для біоремедіації муніципальних стічних вод в Ірані та Іраку. Найважливішими характеристиками водних макрофітів, що застосовуються для очищення вод є швидкий ріст, високий показник виробництва біомаси та здатність до накопичення високих концентрацій важких металів впродовж тривалого часу експозиції [7]. Одним із біологічних методів є осадження іонів важких металів біогенним сірководнем, який в анаеробних умовах здатні утворювати бактерії. При взаємодії сірководню з іонами металів утворюються малорозчинні або нерозчинні сульфідні металів. При цьому кількість утвореного осаду є значно меншою ніж при використанні біомаси як сорбенту [2, 6]. Останнім часом значне поширення одержали біологічні методи вилучення іонів важких металів, що ґрунтуються на властивостях мікроорганізмів акумулювати або сорбувати іони важких металів. Дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* мають значний потенціал в акумуляції широкого діапазону катіонів металів, зокрема, це стосується іонів Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} і Zn^{2+} [6, 7]. Відомий комбінований спосіб очищення стічних вод від іонів важких металів за допомогою біосорбції дріжджами *S. cerevisiae* та металевої насадки в зовнішньому постійному магнітному полі. Найбільш ефективно сорбція іонів важких металів за допомогою дріжджів *S. cerevisiae* проходить в кислому середовищі. Але, паралельно з очищенням розчину від іонів важких металів, відбувається реакція між металом насадки та кислим середовищем, що очищується, і в розчин потрапляє певна кількість заліза (II). Тому було запропоновано ввести в процес очищення, ще один додатковий етап, а саме – етап феритизації [2, 6]. Порівнюючи всі вище перераховані методи очищення стічних вод від важких металів, можна сказати, що кожен з методів володіє рядом переваг та недоліків. Проте традиційні методи, які укорінилися у наші часи, є недосконалими та потребують значних затрат електроенергії, хімічних реагентів, а застосування реагентів-окисників провокує забруднення продуктами окиснення й утворення небажаних осадів. доцільно використовувати новітні, перспективні фізико-хімічні методи очищення, наприклад сорбцію мінералами, що призведе до зменшення негативного впливу на гідросферу шкідливих факторів, що виникають при недостатньому очищенні забруднених вод, та зменшить економічні витрати на хімічні реагенти, у зв'язку з використанням природних мінеральних сорбентів.

3. На Україні більш розповсюдженими установками для проведення біологічного очищення стічних вод вважаються споруди, оснащені аеротенками [28]. Інтенсивність процесу окислення в аеротенках залежить від чинників: відповідності технологічних параметрів, температури, співвідношень концентрації розчиненого кисню та дози активного мулу до об'єму стічної води, балансу джерел біогенних елементів; адаптованості живих організмів, утворення специфічної мікрофлори під час очищення концентрованої стічної води та симбіотичного характеру життєдіяльності мікробних асоціацій [1,6]. Відомо [1], що чинні технологічні схеми роботи аеротенків передбачають

складність проведення біологічного очищення стічної води, а саме: нерівномірність надходження стічних вод, біообростання стінок споруд, порушення у подачі електроенергії, складність системи впуску та випуску стічної рідини, нерівномірна аерація мулової суміші стисненим повітрям, руйнування залізобетонних конструкцій. Існують різноманітні модифікації біофільтрів. Біофільтри з обертовим навантаженням [1] поєднують в собі позитивні якості біофільтрів та аеротенків, в них працює прикріплений біоценоз, є можливість регулювання часу перебування стічних вод. Досвід використання біотенків [1, 2] свідчить про переваги даної споруди над усіма чинними: у 5—6 разів знижуються енерговитрати та чутливість до навантажень під час біологічного очищення стічних вод. Однією із сучасних установок можна вважати мембранний біологічний реактор, який дозволяє вирішити два взаємопов'язаних завдання — очищення стічної води в біореакторі та розподілення фаз у мембранному блоці [1, 6]. Ефективними напрямками інтенсифікації процесу біологічного очищення в аераційних спорудах є підвищення робочої концентрації та використання усієї біомаси біоценозу в процесі біоочищення. З метою підвищення концентрації активного мулу розроблено пристрій [1], який включає комплекс споруд: аеротенк, вторинний відстійник та модуль фільтрування у контурі рециркуляції. Розповсюджені на практиці біоочищення стічної води біореактори мембранного типу, в яких забезпечується підвищене утримання біомаси до 20 мг/дм³. Мембранний фільтр складається з 10 занурених волокнистих модулів. За останні роки інтенсифікація мікробіологічних процесів здійснюється за допомогою іммобілізації клітин на носіях, які широко використовуються у біотехнології. За допомогою іммобілізації мікроорганізмів на носіях можна інтенсифікувати біологічне очищення стічної води від важких металів, урану та нафтопродуктів. Виявлено, що іммобілізація мікробіоценозів підвищує концентрацію хемолітотрофних бактерій у спорудах та швидкість окислення ними неорганічних сполук. Вивчено процес біологічного очищення стічної води гідролізного виробництва за допомогою іммобілізованої на волокнистому носії мікрофлори в анаеробних умовах [1]. Параметри реалізації процесу: температура 35 — 37 °С; рН стічної води 6,0—6,5; щільність навантаження біореактора 10—15 мг/дм³. Глибина очищення відносно ХСК в анаеробних умовах 90 %. Досліджена [1] доцільність застосування біологічного методу очищення стічної води від урану (VI) активним мулом та перспективними для іммобілізації біомаси фітопатогенними бактеріями *Xanthomonas*. Показаний високий ступінь очищення стічної води біологічним методом (95 %) досягнута за допомогою волокнистих носіїв для активного мулу типу “Вія”. Очищення стічної води від азоту іммобілізованою мікрофлорою з розміром завантажень 0,2—0,7 мкм, дає ефективність зниження ХСК та азоту склала 92,6 % та 99,7 % відповідно. Ефективним є застосування пілотної установки — зоореактор з капроною насадкою “Вія”, як засіб доочистки стічних вод виробництва аніду. Показана якісна та кількісна зміна видів гідробіонтів відносно рівню поживних властивостей. Запропоновано новітній засіб інтенсифікації біологічного очищення стічної води, оснований на новітніх методах біотехнології, що

передбачає високу адаптованість мулу шляхом обробки хімічно активними агентами та підвищення ферментативної активності мікроорганізмів.

4. Екологічні наслідки руйнування Каховської ГЕС варто назвати екологічною катастрофою, трагедією світового масштабу. Зона впливу цієї трагедії охоплює щонайменше 5 тис. кв. км, які були затоплені чи осушені.

За підрахунками Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, орієнтовна сума збитків довкіллю через підлив дамби Каховської ГЕС вже становить понад 55 млрд гривень. Станом на 14 червня з Каховського водосховища втрачено близько 70% об'єму води. Критична ситуація у національних парках: під загрозою зникнення 30% природно-заповідного фонду Херсонщини. Фахівці Державної екологічної інспекції фіксують, що рівень солоності Чорного моря поблизу Одеси вже нижче норми у майже три рази. Такі зміни можуть незворотно вплинути на всю екосистему, призвести до масової загибелі представників чорноморської флори та фауни. У Херсонській області спостерігається затоплення водопровідних насосних станцій, каналізаційних насосних станцій та свердловин. Попри це, відновлення цих об'єктів безумовно можливе, але потребує часу. Головна проблема полягає в тому, що рівень водосховища, який підтримував відповідний рівень підземних горизонтів води, зараз знижений. У Миколаївській області ситуація дещо схожа на Херсонщину, де підтоплення також внесли значні руйнування. А особливість Дніпровщини полягає в тому, що там відсутня вода в джерелах. Тут вимагається термінове розв'язання проблеми з водопостачанням, а також стратегічні плани для забезпечення водою на сталій основі та на тривалий період, включаючи забезпечення водою не лише населення, а й підприємств.

Наразі водоканали працюють в режимі надзвичайного стану. У регіонах, які найбільше постраждали, особливо в Дніпропетровській області, зосереджуються зусилля на наданні води людям, навіть якщо це потребує підвозу води в баках до міст, таких як Марганець, Нікополь, Покров, Грушівка, Покровське. Оцінка можливих затоплень територій від журналіста Ларса Вільдеранга, заснована на прогнозі шведської гідрологічної інженерної компанії Dämningsverket від 2022 року [3].



Рис. 1. Оцінка можливих затоплень територій

В результаті руйнування Каховської ГЕС понад 200 тисяч мешканців Нікополя, Марганця та прилеглих територій залишились без питної води [4]. Моніторинг і вимірювання завданої навколишньому середовищу шкоди в зоні бойових дій є надзвичайно складним та небезпечним завданням, а також бракує робочої сили та обладнання. Однак значну частину моніторингу можна проводити опосередковано за допомогою розширених супутникових систем моніторингу США та Європи, багато з яких спрямовані на спостереження змін параметрів довкілля. Наприклад, Система спостереження за Землею (EOS) НАСА включає сімейство супутників, призначених для вимірювання даних щодо землекористування, вологості ґрунту, рослинного покриву, виробництва сільськогосподарських культур, росту лісів і пов'язаних із ними захворювань та якості води. Найважливіше те, що ці супутникові системи можуть надавати порівняння стану довкілля “до, під час та після” війни – іншими словами, дуже важливий часовий ряд профілю змін ключових екологічних показників, які можна використовувати для оцінки завданої шкоди

РІВНІ ВИКОРИСТАННЯ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА



Рисунок 2. Рівні використання Каховського водосховища

Їх можна використовувати для підтвердження будь-якого доступного моніторингу «ситуації на землі», який буде використовуватися для калібрування супутникових даних та, застосовуючи штучний інтелект, заповнювати прогалини там, де немає даних. Супутникові системи та геоінформаційні технології (ГІС) вже використовуються для оцінки пошкоджень інфраструктури та наслідків лісових пожеж і раптових повеней в Україні. Ці супутникові системи, разом із розвинутими українськими технологіями ГІС, стануть неоціненними активами для підсумкової оцінки екологічних збитків та репарацій [5].

Питання для самоконтролю

1. Яким чином антропогенне евтрофування та забруднення води проявляються в умовах воєнних дій?
2. За яких умов виникає кисневий дефіцит у природних джерелах?
3. Які споруди в Україні є більш розповсюдженими для проведення біологічного очищення стічних вод?
4. Яким чином антропогенні забруднювачі впливають на здоров'я людини?
5. Назвіть напрямки збереження та відновлення водного середовища шляхом створення нових екологічно ефективних технологій очищення стічної води.

Література

1. Волошин М.Д., Щербак О.Л., Черненко Я.М., Корнієнко І.М. Удосконалення технології біологічної очистки стічних вод. URL: <https://studfile.net/preview/7444419/>
2. Гроховська Ю.Р. Фітоаккумуляція макро- і мікроелементів – перспективи покращення якості поверхневих вод / Ю.Р. Гроховська, С.В. Кононцев. Вода: проблеми та шляхи вирішення: збірник статей науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Рівне 6–8 липня 2016 року – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка. С. 41–47.
3. Новицький Д. Підрив Каховської ГЕС: чотири категорії наслідків та план подальших дій. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/06/14/701156/>
4. Підрив Каховської ГЕС: наслідки руйнування греблі, евакуація, загрози. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/pidryv-kakhovska-hes-evakuatsiya-zahroza-zaes/32446581>
5. Стахів Є. Екоцид: катастрофічні наслідки руйнування дамби Каховського водосховища. URL: <https://voxukraine.org/ekotsyd-katastrofichni-naslidky-rujnuvannya-damby-kahovskogo-vodoshovyshha>
6. Черниш Є.Ю. Утилізація осадів стічних вод сульфیدогенною асоціацією мікроорганізмів. Дисертація на здобуття наукового ступеня. Суми. 2014–233с.
7. Ціпух В.Я., Саблій Л.А. Аналіз методів очищення стічних вод від іонів важких металів. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/26592/1/Tezy_Tsipukh.pdf