

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF CONSTRUCTED WETLANDS FOR PURIFICATION OF MINING WATERS PJSC "DTEK PAVLOGRADVUGILLIA"

V. Andreyev^{1*}, L. Anisimova¹, O. Skripnyk¹

¹ Institute for Nature Management Problems and Ecology of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro city, Ukraine

*Corresponding author: e-mail Andreev_V_G@ukr.net

Abstract. The coal industry has a significant negative impact on water resources. The most specific components of mine waters are suspended solids, oil products, mineral salts, heavy metal salts, and organic compounds. For wastewater treatment in the industry, sedimentation tanks of various designs are used. Currently, economically sound methods are not offered to reduce the mineralization of mine waters. The level of mineralization of the Samara River today is significantly higher than the MPC. In this regard, the purification of return waters up to 1 g/dm³ and their discharge into rivers with a salinity of 4 g/dm³ goes beyond the logic of rational nature management and common sense. Methods for demineralization of return water are sought all over the world. Active cleaning methods are ineffective. In addition, the damage to the environment from the use of active technologies can exceed the damage from the discharge of mine waters. The general trend in the development of cleaning technologies is the transition to passive methods. The artificial swamp method is the most common. DTEK PAVLOGRADVUGILLIA has been operating the Constructed Wetlands for 7 years. Errors and flaws in the design and operation lead to a decrease in cleaning efficiency.

Key words: mine water treatment, Constructed Wetlands, water mineralization, suspended solids.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ БІОІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ШАХТНИХ ВОД ПРАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ»

V. Андреев^{1*}, Л. Анісімова¹, О. Скрипник¹

¹ Інститут проблем природокористування та екології НАН України, м Дніпро, Україна

*Відповідальний автор: e-mail Andreev_V_G@ukr.net

Анотація. Вугільна промисловість відрізняється суттєвим негативним впливом на всі основні компоненти навколишнього середовища. Особливо значущий її вплив на водні ресурси. Найбільш специфічними компонентами шахтних вод є завислі речовини, нафтопродукти, мінеральні солі, солі важких металів, органічні сполуки. Очищення стічних вод в галузі здійснюється головним чином методами гравітаційного осадження. Для цього використовують відстійники різних конструкцій, а також ставки-освітлювачі. Наразі не існує економічно обґрунтованих методів для зниження мінералізації шахтних вод. Досягнення параметрів ГДК взагалі не представляється можливим. Нині рівень мінералізації поверхневих водойм-приймачів шахтних вод значно перевищує показники ГДК. У зв'язку з цим очищення зворотних вод до 1г/дм³, і скидання їх в річки з мінералізацією 4 г/дм³ знаходиться за межами логіки раціонального природокористування і здорового глузду. У всьому світі йде пошук методів демінералізації зворотних вод. Активні методи очищення доводять свою неефективність. Крім того, екологічний збиток від застосування активних технологій може перевищувати збитки від скидання шахтних вод. Загальною тенденцією розвитку технологій очищення є перехід на пасивні методи. Одним з найбільш поширених є метод біоінженерних споруд (БІС). ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ веде експлуатацію БІС протягом 7 років. Помилки і недоліки в проектуванні, будівництві та експлуатації ведуть до зниження ефективності очищення.

Ключові слова. Очистка шахтних вод, біоінженерні споруди (БІС), мінералізація, завислі речовини.

1 Вступ

Протягом всієї історії розвитку і експлуатації шахт Західного Донбасу основною проблемою при вуглевидобутку були і залишаються шахтні води з високим солевмістом.

Вивчення проектних матеріалів, розроблених різними проектними організаціями починаючи з 60-х років минулого століття і по теперішній час, виявило наступні рішення задачі щодо мінімізації негативного впливу шахтних вод на природні водні об'єкти:

- використання шахтних вод на зрошення сільгоспкультур;
- використання шахтних вод на виробничі потреби;
- цілорічні скидання шахтних вод в р. Самару;
- скидання шахтних вод в р. Самару через накопичувачі в паводок;
- скидання шахтних вод в р. Самару розбавлені водою з каналу Дніпро-Донбас;
- відведення шахтних вод за межі басейну (в Чорне море, в Азовське море, в Сиваш, в р. Дніпро);
- демінералізація шахтних вод;
- підземне поховання розсолів.

Пріоритетними були напрямки з використання шахтних вод Західного Донбасу на технічне водопостачання промислових підприємств і зрошення сільгоспкультур. Однак, ще в 70-х роках минулого століття, аналіз розвитку підприємств різних галузей промисловості в межах басейну і найближчих районах показав, що шахтні води Західного Донбасу не відповідають вимогам, що пред'являються до води технічної якості і, можуть бути вибірково використані тільки для технічного водопостачання вуглезбагачувальних фабрик [1]. Інші напрямки, в результаті гідрологічних і економічних розрахунків, показали свою неефективність.

Характерною особливістю фітотехнологій в області очищення водного середовища є використання вищих водних рослин (ВВР). ВВР зарекомендували себе як надійні біофільтри і з успіхом використовуються протягом останніх 30 років в системах очищення, як за кордоном, так і в Україні.

У водної екосистемі ВВР виконують важливі природоохоронні функції:

- створення заростями макрофітів (особливо очерету) фітофільтраційного бар'єру на шляху завислих речовин різного походження, які потрапляють у водойми разом з сільськогосподарськими, промисловими та побутовими стічними водами;
- поглинання і накопичення з водного середовища речовин різного походження (органічні, мінеральні) [2];
- знезараження водного середовища,
- участь в процесах самоочищення, які відбуваються у водному середовищі.

Рослини не тільки споживають речовини, розчинені у воді, а є субстратом для розвитку різноманітної мікрофлори, яка знешкоджує значну частку забруднень, яка надходить разом з поверхневим стоком в природні водні об'єкти і таким чином сприяють поліпшенню якісного складу води [3]. Якість води регулюється не тільки завдяки фільтраційним властивостям ВВР, але і їх здатності поглинати речовини, розчинені у воді. Причому глибина занурення ВВР і концентрація поживних елементів істотно впливає на інтенсивність поглинання органічних і мінеральних речовин. В результаті сорбції біогенних речовин і насичення води водойми розчинним киснем, який виділяють ВВР у процесі життєдіяльності, макрофіти дозволяють запобігати масовому розвитку синьо-зелених водоростей - "цвітінню" водойм. Коренева система ВВР виділяє речовини бактерицидної дії - фітонциди, в результаті чого відбувається знезараження водойми за рахунок зниження кількості патогенних бактерій, які надходять зі стічними водами [4].

У даний час такі системи і споруди типу Constructed Wetlands (CW), в основі яких лежить природний процес самоочищення, широко поширені в більшості країн світу [5].

ВВР, які використовують в цих системах очищення, повинні не тільки брати участь у поглинанні забруднюючих речовин, але і відповідати умовам роботи очисних споруд і забезпечувати автономний режим роботи систем очищення протягом усього року. Вони повинні забезпечувати надходження водного потоку в нижні шари фільтруючої товщі,

витримувати коливання якісного складу стічних вод, не залежати від обсягів їх подачі. Всім цим вимогам відповідають рослини, які найчастіше використовуються в таких системах очищення - рогіз та очерет.

Особливо велику роль в системах очищення грає очерет звичайний. Він має високі адаптивні властивості і здатний проростати в дуже забруднених промисловими стічними водами водоймах. У водному середовищі очерет видаляє з води такі сполуки, як феноли, нафтоли, анілін і інші органічні речовини [6]. Питоме поглинання мінеральних речовин досягає (г на 1 кг сухої маси): кальцію - 3,95, калію - 10,3, натрію - 6,3, кремнію - 12,6, цинку - 50 марганцю - 1,2, бору - 14, 6 [7].

Успішно впроваджують Constructed Wetlands для очищення господарсько-побутових стічних вод в Нідерландах, Японії [10], Китаї [11]; для очищення забрудненого поверхневого стоку в Норвегії [11], Австралії [12] і в інших країнах. Стійкість очерету до дії значної концентрації забруднення дозволила досить успішно використовувати його для очищення стічних вод комплексів з розведення свиней у Великобританії [15].

У м. Бентон (США) з населенням 4700 чоловік з 1985 року здійснюється очистка побутових стічних вод в ставках з заростями очерету та інших водних рослин. Підраховано, що вартість такої системи очищення в 10 разів менша за вартість традиційних систем при задовільній якості очищення води від сполук азоту, фосфору, зважених і органічних речовин [13].

В Ірландії (м Вільямстоун) успішно експлуатується система спільного очищення господарсько-побутових вод (72%) і поверхневого стоку (28%), сконструйована в вигляді трьох мілководних лагун, дві з яких засаджені очеретом і рогозом, а третя являє собою біоставок, з плаваючими водними рослинами - лілією і ряскою. В процесі проходження потоку через очисну систему вода очищається до таких показників (мг/дм³): БСК - 9, завислі речовини - 9, азот - 14,2, аміак - 0,8, нітрати - 9,2, фосфор - 4,45, ортофосфати - 3,15. Середнє відсоткове зменшення концентрацій забруднюючих речовин в системі за дванадцятирічний період вивчення становить 48% для БСК, 83% для завислих речовин, 51% для повного азоту і 13% для повного фосфору, видалення патогенних організмів 99,77% [14]. Системи очищення шахтних вод на плантаціях очерету використовуються в країнах Америки. Ведуться дослідження можливості очистки та видалення металів зі стічних вод металургійної промисловості [8].

В Україні очисні споруди типу Constructed Wetlands використовуються під назвою біоінженерні очисні споруди (БІС, патент України №№ 7705, 7708, 1986 р.) [15] і біоплато. Принцип роботи споруди такого типу заснований на використанні природного процесу самоочищення, який протікає в товщі фільтруючого і є субстратом для формування біогеоценозів вищих водних рослин. ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ веде експлуатацію БІС у б. Косьміна з очистки шахтних вод протягом 7 років. Проектні показники за період експлуатації не досягались. Помилки і недоліки в проектуванні, будівництві та експлуатації ведуть до зниження ефективності очищення. Метою роботи була оцінка роботи БІС і розробка рекомендацій щодо підвищення їх ефективності за рахунок виконання рекомендацій щодо усунення виявлених недоліків на стадіях проектування, будівництва та експлуатації.

2 Методика

Методологічною основою досліджень є системний підхід. Для дослідження стану екосистем БІС застосовувалися стандартні ґрунтові, геоботанічні, гідроботанічні, гідробіологічні, гідрологічні, гідрогіологічні методи. Поверхня очисних споруд досліджувалася методами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та географічних інформаційних систем (ГІС). Для розробки технологічних рішень використані методи технологічного аналізу, математичного та імітаційного моделювання.

3 Результати та обговорення

БІС були введені в експлуатацію в 2014 році. На початковому етапі роботи (2014-2016 рр.) споруди працювали в режимі регламентного скидання шахтних вод, тобто мали періодичні

навантаження та виключно в міжвегетаційний період. У період польових досліджень (червень-серпень 2016 г.) були відібрані проби стічних вод з метою визначення зміни концентрації характерних забруднюючих речовин на етапах очистки шахтних вод на БІС. В першу чергу розглядалася ефективність роботи БІС щодо зниження мінералізації шахтних вод, що відводяться в р. Самара. Дані вмісту сухого залишку по етапах очистки наведені на рисунку 1.

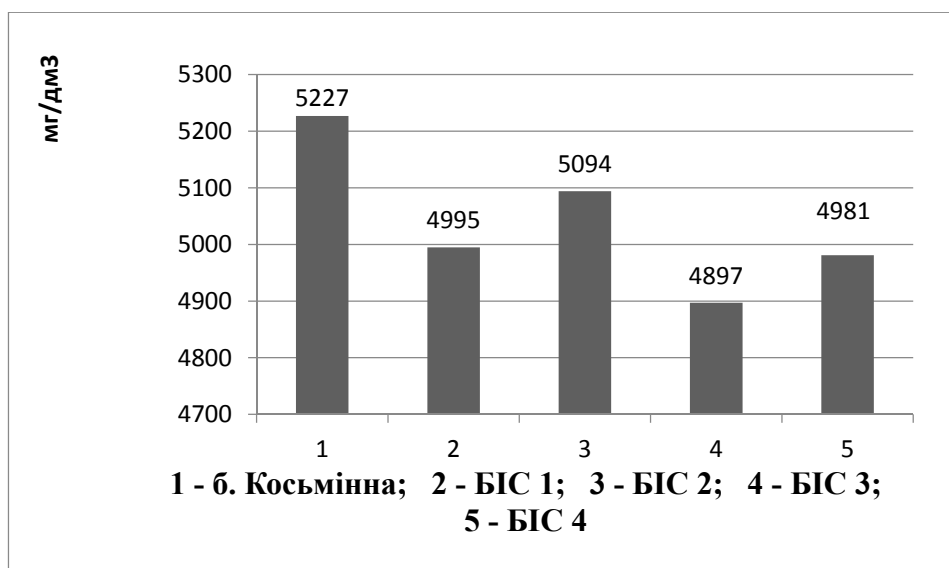


Рисунок 1 - Вміст сухого залишку в шахтних водах за етапами очищення станом на 08.09.2016 р ПДС - 4240,9 мг/дм³

Вочевидь, що на момент дослідження БІС не чинили істотного впливу на сухий залишок шахтних вод. Для оцінки стану екосистем першорядне значення мають параметри вмісту біогенних елементів, особливо азоту. Найбільшу активність проявляв амоній, в зв'язку з цим, його зміст становить найбільший інтерес. Динаміка вмісту азоту амонійного (рис. 2) свідчить про те, що за період досліджень не спостерігалось суттєве покращення якості зворотних вод.

Слід зазначити, що проект передбачав 8 випусків з лотка БІС - 1, але функціонував лише один. Така невідповідність призвела до зростання швидкості течії на БІС - 2, і, як наслідок, до вторинного забруднення завислими речовинами.

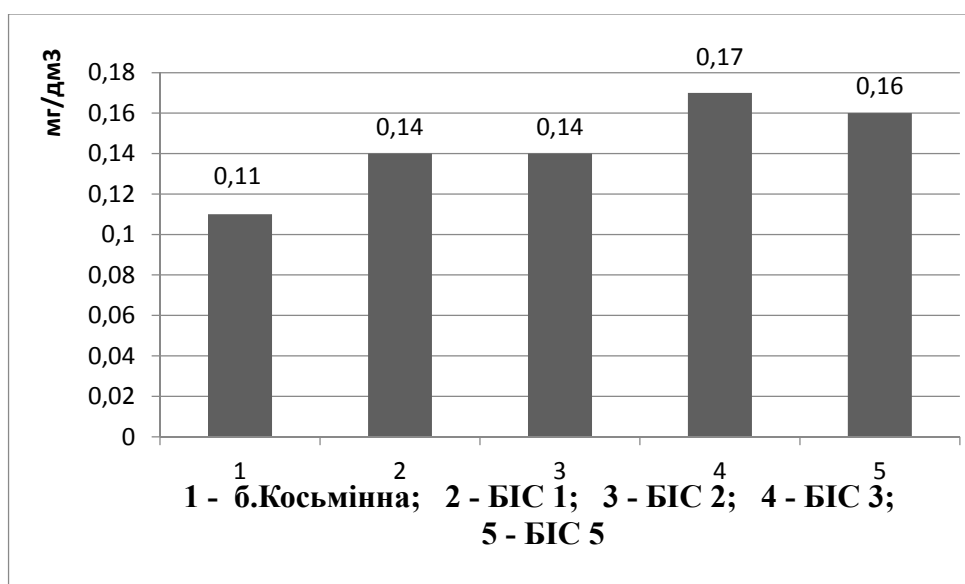


Рисунок 2 - Концентрація азоту амонійного в шахтних водах за етапами очищення станом на 27.07.2016 р ПДС - 0,23 мг/дм³

Розташування дамб сприяло створенню застійних зон з інтенсивним розвитком очеретяних популяцій і виділення русла потоку позбавлених вищої водної рослинності. У застійних зонах отримало розвиток вторинне органічне забруднення, особливо в літній період, про що свідчать наші польові спостереження. Крім того, не була виконана посадка аїру болотного, який відноситься до ефективних популяцій ВВР. На момент досліджень популяція очерету звичайного на БІС - 1 не досягала проектних показників.

Результати аналізу роботи БІС за період з 2014 по 2018 роки (дані представлені філією «ПРУВОКС» ПРАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ») вказують на недостатню ефективність та на недосягнення проектних показників очищення. Станом на 2018 рік ефективність очищення за завислими речовинами, БСК5, сухому залишку, сульфатів і хлоридів (рис. 3), а також по азоту амонійному (рис. 4) і фосфатам (рис. 5) знаходиться в інтервалі 0-10%. Яскраво виражений пік по хлоридам в 2017 році характеризується процесами розведення шахтних вод атмосферними опадами.

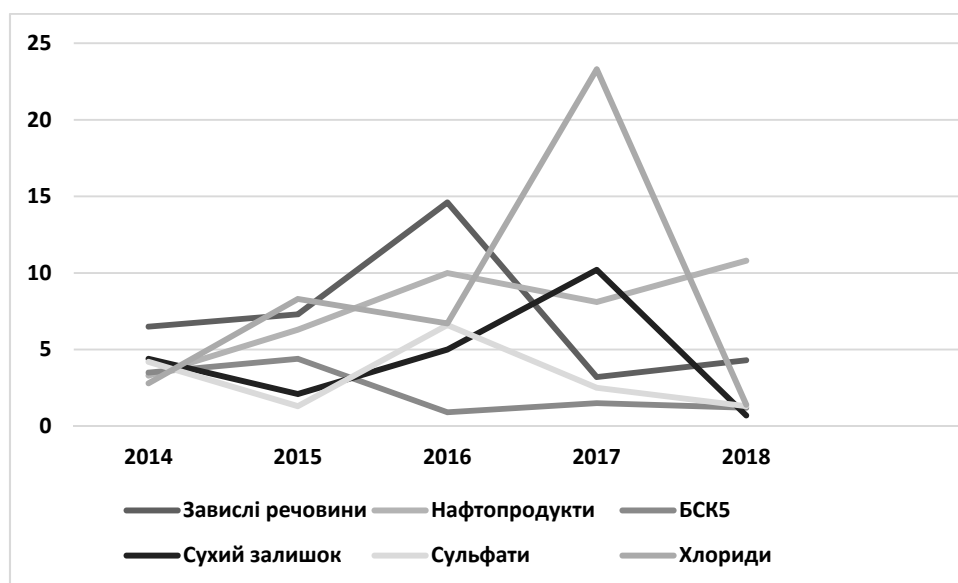


Рисунок 3- Динаміка зміни ефективності (%) очищення шахтних вод на БІС зважених речовинах, нафтопродуктах, БСК5, сухому залишку, сульфатів і хлоридів.

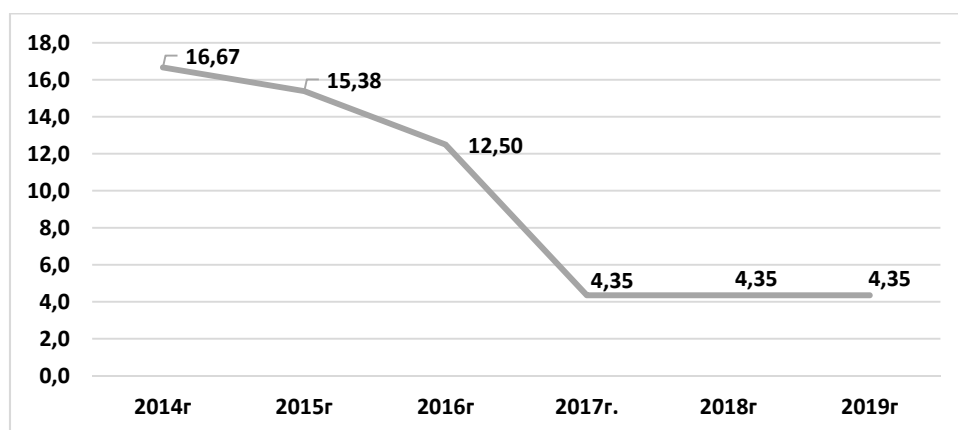


Рисунок 4- Динаміка зміни ефективності (%) очищення шахтних вод на БІС по азоту амонійному

Відзначається позитивна динаміка очищення шахтних вод тільки по нафтопродуктах. З 2014 до 2018 року ефективність зросла більш ніж в два рази.

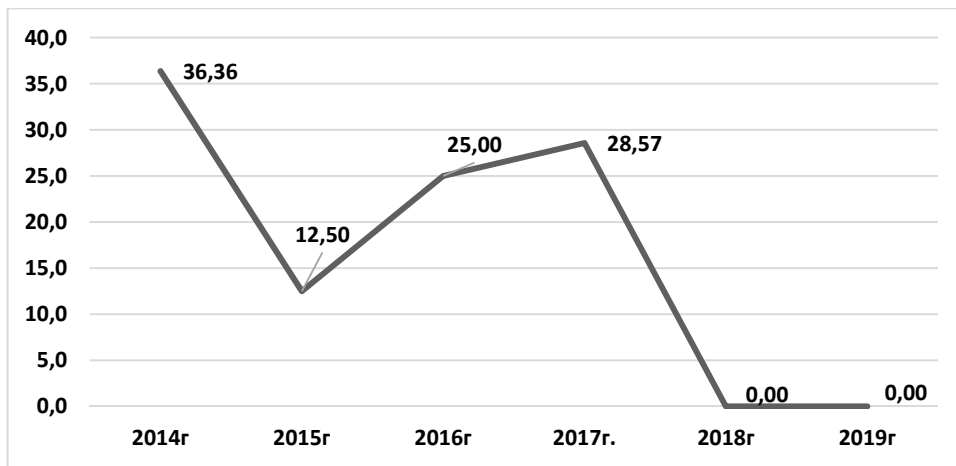


Рисунок 5- Динаміка зміни ефективності (%) очищення шахтних вод на БІС по фосфатам

Аналіз фондових і довідкових матеріалів вказує на наявність наднормативної мінералізації річкової води басейну р. Самара. Згідно з даними гідрохімічного довідника поверхневих вод України [16] середня мінералізація води в р. Самара за період 1995-2006 роки має тенденцію до збільшення (рис. 6). У 30-х роках минулого століття мінералізація води в р. Самара становить 1,3-1,67 г/дм³ з переважанням сульфатів (0,42 г/дм³) і хлоридів (0,33 г/дм³), жорсткість - 14 мг-екв/дм³. Більш пізні дослідження (1947-1952 р.р.) підтвердили домінування в самарській воді іонів SO₄²⁻, Cl⁻, Na⁺. Протягом наступних років вміст солі води в р. Самара залишався без особливих змін.

За даними ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ середнє значення по сухому залишку в фоновому створі р. Самара (с. Маломиколаївка) вище скидання шахтних вод зі ставка-накопичувача в б. Косьмінна склало 4702 мг/дм³, максимальне - 5578 мг/дм³. У зв'язку з цим нормування шахтних вод по сухому залишку на рівні 1000 мг/дм³ не представляється доцільним з точки зору економічного обґрунтування.

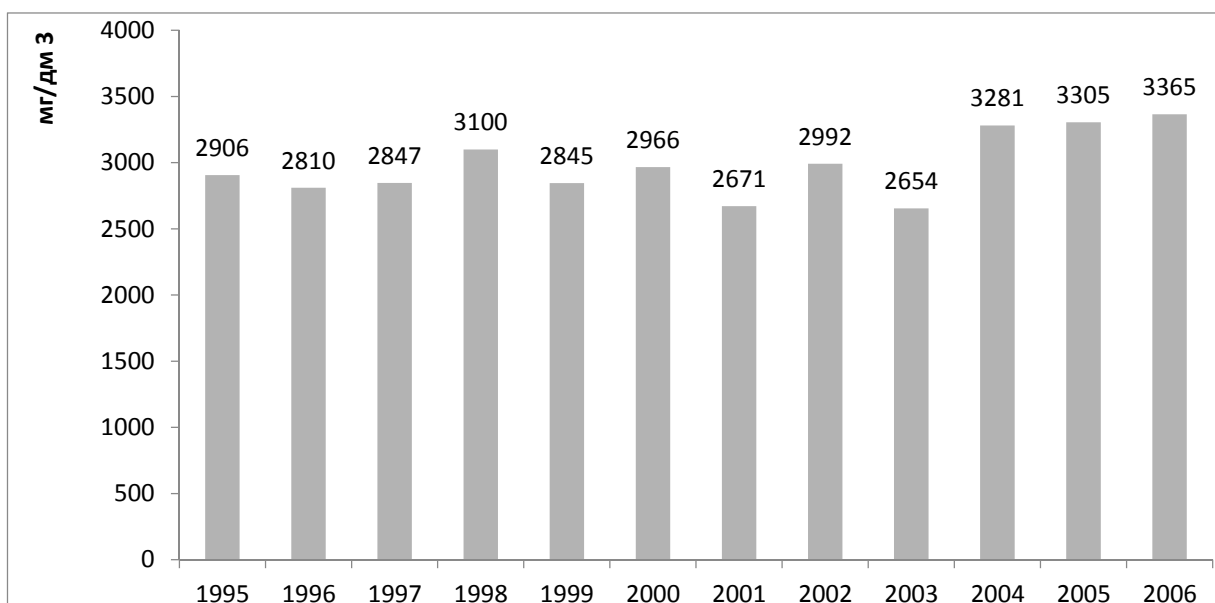


Рисунок 6 Середня мінералізація води в р. Самара

Починаючи з 2016 року і по теперішній час затверджена допустима концентрація по мінеральному складу (сухий залишок) становить 4755,67 мг/дм³. Нормування на такому рівні відповідає вимогам діючих нормативних актів України.

4.Висновки.

Аналіз сучасних методів очищення шахтних вод і зарубіжного досвіду свідчить, що перевага на сьогодні віддається пасивним методам з використанням природних процесів поглинання шкідливих речовин.

Огляд літератури свідчить про те, що ВВР здатні очищати зворотні, у тому числі, шахтні води від завислих речовин, нафтопродуктів, сульфатів, важких металів, нітратів, аміаку, фосфатів.

Гідрологічні дослідження свідчать про те, що фонові концентрації солей в природних водах р. Самари складають від 3000 до 5600 мг/дм³. Таким чином, вимоги ГДК для рибогосподарських водойм не відповідають природним умовам і для нормування скидання в р. Самара застосовуватися не можуть.

Гідрохімічні дослідження динаміки хімічного складу зворотних вод свідчать про низьку ефективність роботи БІС, особливо, з очищення від зважених речовин. БІС не сприяють зниженню мінералізації зворотних вод. В процесі проходження зворотними водами БІС спостерігається вторинне забруднення органічними і завислими речовинами.

Гідробіологічні дослідження свідчать про інтенсивний розвиток вторинних водних екосистем, особливо компонентів нитчастих водоростей, моллюсків, риб і водоплавних птахів. Як правило, ускладнення структури вторинних екосистем сприяє посиленню очисної здатності, поглинання органічних і біогенних (азот, фосфор, калій) елементів.

Аналіз проектних рішень по будівництву БІС у б. Косьмінна свідчить про відсутність розрахункового обґрунтування проектної швидкості потоку зворотних вод. Виявлені нами протиріччя в проектних рішеннях підтверджують необхідність коригування проекту для досягнення цільових параметрів.

Біомасу очерету звичайного рекомендується використовувати для отримання будівельних матеріалів або енергетичної сировини.

Рекомендується створити на території БІС техногенний ландшафтний заказник «Балка Косьмінна» площею 200 га.

Acknowledgements: автори вдячні ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ за надану можливість використати інформаційну базу даних щодо роботи очисних споруд (БІС).

References

1. Схема регулирования рек Самары и Волчьей с целью борьбы с паводками и охраны их от загрязнения и истощения. Том I. УКРГИПРОВОДХОЗ, 1968 г.
Skhema regulirovaniya rek Samary` i Volch`ej s czel`yu bor`by` s pavodkami i okhrany` ikh ot zagryazneniya i istoshheniya. Tom I. UKRGIPROVODKhOZ, 1968 g.
2. Кроткевич П.Г. Роль растений в охране водоемов / Кроткевич П.Г. М.: Знание, 1982.- 64с.
Krotkevich P.G. Rol` rastenij v okhrane vodoemov / Krotkevich P.G. M.: Znanie, 1982.- 64 s.
3. Катанская В.М. Растительность водохранилищ – охладителей тепловых электростанций Советского Союза / Катанская В.М. - Л.: Наука, 1979. - 187 с.
Katanskaya V.M. Rastitel`nost` vodokhranilishh – okhladitelej teplovy`kh e`lektrostantsij Sovetskogo Soyuzu / Katanskaya V.M. - L.: Nauka, 1979. - 187 s.
4. Horst Moormann, Peter Kusch, Ulrich Stottmeister. The effect of rhizodeposition by helophytes on the bacterial degradation of organic pollutants. // Abstracts ISEB 2001 MEETING PHYTOREMEDIATION, 15-17 May 2001., UFZ Centre for Environmental Research, P.98.
5. Knight, R.L., R.W. Ruble, R.H. Kadlec, and S.C. Reed. Wetlands for Wastewater Treatment Performance Database. G.A Moshiri, ed. Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Boca Raton, FL: Lewis Publishers. 1993.
6. Kowalik, P.J., Mierzejewski, M., Randerson P.F. & Williams H.G. (2004). Performance of Subsurface Vertical Flow Constructed Wetlands Receiving Municipal Wastewater. Archives of Hydro-Engineering & Environmental Mechanics, 51 (4), 349-370. (B)

7. Dunbabin J.S., Bowner K.H. Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters containing metals // *Sci. Total. Environ.* – 1992. – 111, № 2/3. – P. 5660.
8. Hosokawa Yasushi, Miyoshi Eiich, Fukukawa Keita. Характеристика процесса очистки прибрежных вод тростниковыми зарослями // *Rept. Part and Harbour. Res. Inat.* – 1991. – 30, № 11. – P. 206257.
9. Blankenberg A.G.B., Braskerud B.C. “LIERDAMMEN” – a wetland testfield in Norway. Retention of nutrients, pesticides and sediments from a agriculture runoff. – *Diffuse Pollution Conference, Dublin 2003.*
10. Lloyd S.D, Fletcher T.D, Wong T.H.F., Wootton R.M (Australia). Assessment of Pollutant Removal Performance in a Biofiltration System. – Preliminary Results, 2nd South Pacific Stormwater Conference; Rain the Forgotten Resource, 27 – 29 June, 2001, Auckland, New Zealand. – P. 2030.
11. Hadlington Simon. An interesting reed // *Chem. Brit.* – 1991. – 27, № 4. – C.229.
12. Dawson G.F., Loveridge R.F., Bone D.A. Grop production and sewage treatment using gravel bed hydroponic erridation *Ibid.* 1989. 21, № 2 – P. 5764.
13. Healy, A. M. Cawleyb. Nutrient Processing Capacity of a Constructed Wetland in Western Ireland. – *Journal of Environmental Quality*, 2002. – Volume 31, P. 17391747.
14. Пат. 7705 Україна // Споруда для біологічної очистки стічних вод / Магмедов В.Г., Захарченко М.А., Яковлева Л.І, и др. ; заявники та власники патенту 1995 р.
Pat. 7705 Ukrayina // Споруда для біологічної очу`stky` stichny`x vod / Magmedov B.G., Zaharchenko M.A., Yakovleva L.I, y` dr. ; zayavny`ky` ta vlasny`ky` patentu 1995 r.
15. Пат. 7708 Україна Яковлева Л.І, Магмедов В.Г. и др. // Спосіб біологічної очистки стічних вод від сполук азоту та сульфатів. 1995 р.
Pat. 7708 Ukrayina Yakovleva L.I, Magmedov B.G. y` dr. // Sposib biologichnoyi ochy`stky` stichny`x vod vid spoluk azotu ta sul`fativ. 1995 r.
16. В.І.Осадчий Гідрохімічний довідник «Поверхневі води України», Київ, Ніка-Центр, 2008.
V.I.Osachy`j Gidrohimichny`j dovidny`k «Poverxnevi vody` Ukrayiny`», Ky`yiv, Nika-Centr, 2008.