**DOI https://doi.org/10.32782/geotech2022.35.20**
**УДК 628.132**

**Чарний Д.В., Долін В.В., Орлов О.О., Скиба Д.В., Одукалець Л.А., Мацелюк Е.М., Архипенко О.М., Стоколос М.О., Ніколенко В.О., Марисик С.В.**

**Чарний Д.В.,** доктор технічних наук, старший науковий співробітник Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0001-6150-6433, dmitriych10@gmail.com
**Долін В.В.,** доктор геологічних наук, професор, заступник директора, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0001-6174-2962, vdolin@ukr.net
**Орлов О.О.,** кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0003-2923-5324, orlov.botany@gmail.com
**Скиба Д.В.,** керівник екологічних проєктів ПРАТ«Полтавський ГЗК», Diana.Skiba@mine.ferrexpo.com
**Одукалець Л.А.,** науковий співробітник Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0003-2569-6406, laoduk@i.ua
**Мацелюк Е.М.,** кандидат технічних наук, старший науковмй співробітник, Інституту водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України, ORCID 0000-0001-9960-6333, evgen1523@ukr.net
**Архипенко О.М.,** молодший науковий співробітник Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0003-0955-3704, scerarcis@gmail.com
**Стоколос М.О.,** молодший науковий співробітник Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0002-0471-1526, igns.ua@gmail.com
**Ніколенко В.О.,** провідний інженер Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0002-9714-147X, borey@ua.fm
**Марисик С.В.,** аспірант Інституту водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України, ORCID 0000-0002-0100-7787, sergsi.marisik@ukr.net

# СТАТИСТИЧНО ОБҐРУНТОВАНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ДІЮЧИХ ОЧИСНИХ БІОІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД НА НАВКОЛИШНІ ҐРУНТОВІ ВОДИ

***Анотація.*** *Для встановлення можливого впливу біоінженерних споруд (БІС) на навколишні ґрунтові води виконано натурний експеримент зі встановлення діючих гідродинамічних характеристик БІС та перевірки гідроізоляційних властивостей захисного шару ложа БІС ПрАТ «Полтавський гірничозбагачувальний комбінат» (ГЗК). Використано методи натурного імітаційного експерименту з внесення флуоресцентного розчину, що імітує забруднення в процесі його проходження площею БІС під час очищення. Установлено, що час перебування води, яка проходить очищення в БІС, становить близько однієї доби. Таким чином, швидкість проходження очищуваної води через БІС (швидкість фільтрації) становить близько 20 м/год, що не дає можливості очистити стічні води належним чином. Встановлено, що швидкість проходження очищуваної води через карти БІС значно більша за оптимальні швидкості для фіторемедіаційних споруд. Також статистично достовірно виявлено суттєвий гідравлічний зв'язок БІС з ґрунтовими водами, тобто дослідним шляхом підтверджено, що захисний гідроізоляційний екран пошкоджено, а в процесі роботи БІС відбувається забруднення навколишніх ґрунтових вод. Запропоновано перелік статистичних прийомів які забезпечують математичну достовірність висновків зі зв'язку води у спорудах БІС та прилеглих ґрунтових вод навколишніх територій. Результати досліджень показали, що споруди БІС гідравлічно пов'язані із навколишніми ґрунтовими водами і, відповідно, БІС слугує джерелом їх вторинного забруднення. Отже існує необхідність розроблення комплексу заходів для підвищення ефективності зазначеної БІС. Одним із перспективних напрямів досліджень є використання водної рослинності та гідробіонтів не лише з метою фіторемедіації, а й для фітоекстракції та як джерела отримання чистих металів (легувальних присадок).*

***Ключові слова:*** *вода, стоки, біоінженерні споруди (БІС), фіторемедіація, гідроізоляційний екран.*

**Опис об'єкта й актуальність досліджень.** Подача води до БІС забезпечується насосною станцією (НС) з наявного дренажного каналу, який використовують для водовідведення дренажних вод хвостосховища. Вода з каналу подається на БІС двома нитками трубопроводів. НС забезпечує підйом води до відмітки, на 2 м вищої від поверхні БІС-1. Вода з БІС-1 – басейн першого ступеня, надходить через фільтрувальну дамбу, яка відіграє роль дефлектора, до двох каскадів, що складаються з двох карт БІС. Вода через товщу кам'яної наброски дамби надходить до перших біоінженерних споруд (БІС-2 та БІС-3). Ці споруди являють собою фільтрувальну товщу з щебню потужністю 1 м та розмірами майже 200 × 180 м. По всій поверхні фільтрувальної товщі висаджено очерет звичайний. Вода, проходячи через фільтрувальну товщу з гравію у БІС-2 та БІС-3, під впливом роботи мікроорганізмів, особливо з концентрованих у ризосфері кореневої системи очерету, очищується до необхідних показників.

Зі споруд першого ступеня (БІС-2 та БІС-3) вода самопливом переходить на подальше очищення до споруд БІС-4 та БІС-5 через нефільтрувальну дамбу. Конструктивно дамба складається з нефільтрувальної, основи з глини синьозеленої (розкривні породи кар'єру) та суглинку. У тілі дамби розміщено переливні труби діаметром 500 мм з шандорними затворами для регулювання рівня води в БІС. Зі споруди другого ступеня (БІС-4 та БІС-5) вода самопливом переходить через систему розміщених у тілі дамби водопропускних труб такого самого діаметру до системи водовідведення, що складається зі стандартних залізобетонних лотків ЛПР10-10 розміром 1 × 1 м.

Вода відводиться до штучного озера-каналу, що утворилось у результаті використання мулових відкладів для закріплення поверхні хвостосховища і далі річкою Сухий Кобелячок до Кам'янського водосховища. БІС були введені в дію 22 травня 2002 р. і нині продовжують працювати.

Одним із суттєвих забруднювачів природних вод є стічні води хвостосховищ гірничозбагачувальних комбінатів (ГЗК). Актуальним питанням є визначення ефективності біоінженерних споруд (БІС) для доочищення освітлених вод хвостосховищ і встановлення можливості оптимізації їх роботи для забезпечення нормативних показників якості скидних вод. Фактичні показники технологічних параметрів та ефективності роботи очисних споруд визначають у ході натурних досліджень на діючому об'єкті.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Біоплато, або БІС, –поширений тип очисних споруд, розроблений як подальша модифікація карт полів фільтрації, що базуються на використанні особливостей біологічного циклу вищої водної рослинності [1–7]. Вплив біоплато на прилеглі горизонти підземних вод розкрито у роботах [6, 7], проте в них не показано підходи до встановлення статистично достовірного визначення зв'язку навколишніх ґрунтових вод зі стічними водами, що надходять на очищення в БІС, з відповідним визначенням надійності роботи гідроізоляції ложа цих споруд.

**Мета дослідження.** Статистично обґрунтовано встановити технологічні параметри БІС і визначити, чи існує гідравлічний зв'язок карт БІС з навколишніми ґрунтовими водами.

**Матеріали і методи дослідження.** Були застосовані емпіричні методи досліджень: для визначення реальних технологічних характеристик діючої системи БІС застосовано методи натурного експерименту зі встановлення гідродинамічних характеристик БІС, а також надійності функціонування гідроізоляційного захисту ложа споруди. Дослідження поширення забруднень у воді за площею споруд доочищення стічних вод здійснено за допомогою методів дистанційного зондування Землі.

Для визначення гідродинамічних характеристик був обраний метод внесення флуоресцентної мітки з вихідною водою, який дає змогу встановити, чи існує гідравлічний зв'язок діючих БІС з прилеглими ґрунтовими водами, тобто визначити ефективність гідроізоляційного захисту. Також він допомагає з'ясувати реальний час перебування води у споруді та, відповідно, швидкість проходження вихідної води у картах споруди.

Для натурного експерименту флуоресцентний реагент вносили в сухі карти БІС-1а та БІС-1б біля труб надходження до споруд вихідної води. Далі насосна станція починала подавати вихідну воду. Досліди провадили 10–12 жовтня 2021 р., за цей період на БІС було подано 56000 м$^3$ води: 10 жовтня – 17 600 м$^3$, 11 жовтня – 22 400 м$^3$, 12 жовтня – 16000 м$^3$. У процесі надходження води через рівні проміжки часу було відібрано проби. Точки відбору проб наведено на рис. 1.

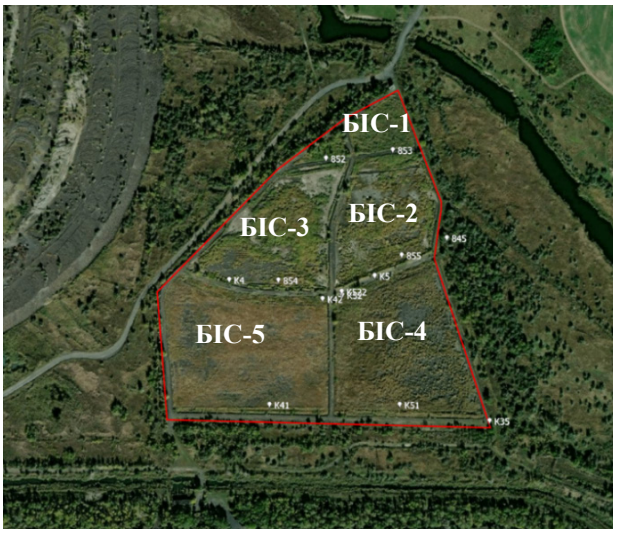



**Fig. 1.** Sampling points in the LSI area

Серед усіх точок відбору проб виділяються дві контрольні точки. Точка № 845 – це оглядовий колодязь визначення рівнів ґрунтових вод, проби з якого було використано для контролю поширення флуоресцентного реагенту в ґрунтових водах за межами БІС. Ще однією контрольною була точка № К35 – оглядовий колодязь на колекторі збору очищеної води з БІС, проби, відібрані з нього, були необхідні для встановлення часових характеристик перебування вихідної води у інфільтраційних спорудах БІС.

Відібрані проби консервували і накопичували в процесі експерименту. Після аналізування концентрацій флуоресцентного реагенту у пробах отримані результати було опрацьовано статистично.

**Результати дослідів та їх статистичної обробки.** Результати аналізу концентрації флуоресцентного реагенту в точках відбору проб у часі наведено у табл. 1.

Зміна значень концентрації флуоресцентного реагенту в точках відбору проб на картах БІС в умовних одиницях залежно від часу показана на рис. 2.

Загальний описовий статистичний аналіз отриманого ряду даних за змінними, час та точки відбору проб (концентрація флуоресцентного реагенту) наведено в табл. 2.

**Table 1.** Concentrations of fluorescent reagent at sampling points from time to time

| Time, hours | Sampling points, fluorescent reagent concentration in um. unit | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 852 | 853 | 845 | 854 | 855 | К4 | К5 | К42 | К41 | К52 | К522 | К51 | К35 |
| 1 | 35 | 7 | | | | | | | | | | | |
| 2 | 19 | 9 | | 7 | 12 | | | | | | | | |
| 5 | 20 | 12 | 3 | 9 | 6 | 7 | 4 | | | 7 | 9 | | |
| 24 | 16 | 12 | 7 | 20 | 11 | | | 14 | 7 | 9 | | 8 | 8 |
| 27 | 6 | 16 | 5 | 23 | 9 | | | 16 | 10 | 16 | | 13 | 10 |
| 47 | 15 | 10 | 9 | 19 | 6 | | | 36 | 5 | 10 | | 7 | 6 |
| 51 | 11 | 9 | 9 | 21 | 8 | | | 32 | 3 | 8 | | 5 | 2 |
| 69 | 17 | 6 | 12 | 21 | 8 | | | 22 | 14 | 8 | | 3 | 10 |
| 72 | | | | | | | | 26 | 3 | 8 | | 11 | 9 |

**Table 2.** Descriptive statistics of the obtained series of data

| Variables | validity | The arithmetic mean | Confidence interval -95% | Confidence interval 95% | Median | Sum | Minimum | Maximum | Mean square deviation | The confidence interval of the standard deviation is -95% | 95% confidence interval of the standard deviation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t | 9 | 33,111 | 11,673 | 54,549 | 27,000 | 298,000 | 1,000 | 72,000 | 27,890 | 18,839 | 53,431 |
| 852 | 8 | 17,364 | 10,086 | 24,643 | 16,488 | 138,916 | 5,579 | 35,319 | 8,706 | 5,756 | 17,719 |
| 853 | 8 | 9,938 | 7,199 | 12,678 | 9,388 | 79,507 | 5,586 | 15,640 | 3,277 | 2,167 | 6,670 |
| 845 | 6 | 7,528 | 4,380 | 10,676 | 8,100 | 45,168 | 3,385 | 11,535 | 3,000 | 1,873 | 7,358 |
| 854 | 7 | 16,972 | 11,032 | 22,911 | 19,558 | 118,801 | 6,549 | 23,119 | 6,422 | 4,138 | 14,142 |
| 855 | 7 | 8,479 | 6,413 | 10,545 | 8,171 | 59,354 | 5,637 | 11,530 | 2,234 | 1,439 | 4,919 |
| К4 | 1 | 7,000 | | | 7,000 | 7,000 | 7,000 | 7,000 | | | |
| К5 | 1 | 4,000 | | | 4,000 | 4,000 | 4,000 | 4,000 | | | |
| К42 | 6 | 24,497 | 15,559 | 33,434 | 24,063 | 146,980 | 14,339 | 35,840 | 8,516 | 5,316 | 20,888 |
| К41 | 6 | 6,819 | 2,182 | 11,457 | 5,941 | 40,917 | 2,572 | 13,890 | 4,419 | 2,758 | 10,838 |
| К52 | 7 | 9,544 | 6,625 | 12,463 | 8,455 | 66,806 | 6,716 | 16,198 | 3,156 | 2,034 | 6,950 |
| К522 | 1 | 9,000 | | | 9,000 | 9,000 | 9,000 | 9,000 | | | |
| К51 | 6 | 7,786 | 4,069 | 11,502 | 7,099 | 46,713 | 3,462 | 12,674 | 3,541 | 2,211 | 8,685 |
| К35 | 6 | 7,435 | 4,074 | 10,797 | 8,858 | 44,612 | 1,611 | 9,835 | 3,203 | 2,000 | 7,857 |

Кореляційних зв'язків [8–12] між часом і концентрацією флуоресцентного реагенту за параметричним критерієм Пірсона у всіх точках відбору проб не виявлено. Результати непараметричної кореляції за Спірманом наведено у табл. 3.

Описові емпіричні моделі зміни концентрації флуоресцентного реагенту в часі у точках відбору проб та їхні характеристики наведено в табл. 4. Відповідно до результатів кореляційного аналізу там, де неможливо було використати параметричний тест Пірсона і дещо краще показав себе непараметричний тест Спірмена, ми використали для побудови моделей нелінійне регресійне рівняння на базі функції натурального логарифму. Позначки характеристик отриманих моделей: множинна регресія – R; детермінація – $R^2$; оптимізована детермінація – Adjusted $R^2$; критерій Фішера – F(x, y); статистична значимість – p < X; стандартна помилка оцінки – Std. Error of estimate.

Зміни концентрації флуоресцентного реагенту в оглядовому колодязі спостереження рівнів ґрунтових вод поза межами БІС, точка відбору проб № 845, наведено на рис. 3 у вигляді точок, на ньому також показано суцільну лінію емпіричної моделі, що з достатньою достовірністю описує ці зміни.

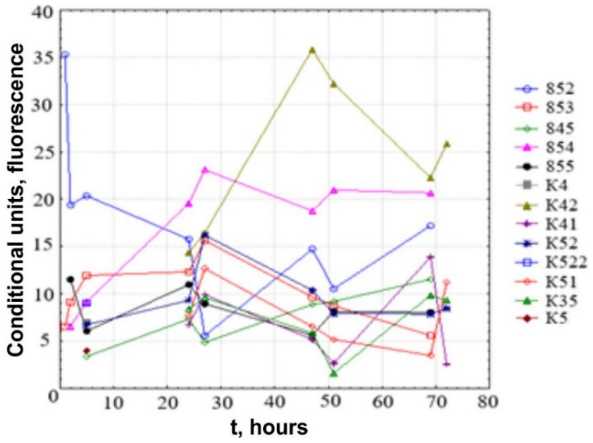



**Fig. 2.** Changes in the concentration of fluorescent reagent over time at sampling points

Зміну концентрації флуоресцентного реагенту в колодязі збірного колектору очищеної води ілюструє рис. 4.

Згідно з графіком на рис. 4, флуоресцентний реагент у концентраціях, доступних для виявлення, в оглядовому колодязі поза межами БІС починає проявлятись на п'яту годину після її внесення; вони були присутні

**Table 3.** Results of nonparametric correlation between time (t) and concentration of fluorescent reagent at sampling points

| points | Sampling points (variable) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **t** | **852** | **853** | **845** | **854** | **855** | **К4** |
| Correlation coefficients relative to t | 1,000 | –0,667 | –0,167 | 0,943 | 0,679 | –0,464 | – |
| points | Sampling points (variable) | | | | | | |
| | К5 | К42 | К41 | К52 | К522 | К51 | К35 |
| Correlation coefficients relative to t | | 0,486 | –0,371 | –0,036 | – | –0,314 | 0,200 |

**Table 4.** Empirical models of changes in the concentration of fluorescent reagent over time

| **Sampling point** | **Latitude** | **Longitude** | **The equation of the model of the dependence of the concentration of the fluorescent reagent on time (t from 0 to 72 h), mind. unit** | **Characteristics of the model** |
|---|---|---|---|---|
| 852 | 49.027924 | 33.720377 | 31,317 + 0,355t – 9,229 Ч | R = 0,879; $R^2$ = 0,773; Adjusted $R^2$ = 0,682; F (2,5) = 8,5073; p < 0,025; Std. Error of estimate 4,9093 |
| 853 | 49.028044 | 33.721836 | 6,622 – 0,291t + 4,441 · ln(t) | R = 0,948; $R^2$ = 0,898; Adjusted $R^2$ = 0,858; F (2,5) = 22,069; p < 0,003; Std. Error of estimate 1,2368 |
| 845 | 49.026787 | 33.723020 | 2,645 + 0,121t + 0,1198 · ln(t) | R = 0,954; $R^2$ = 0,9097; Adjusted $R^2$ = 0,8495; F (2,3) = 15,111; p < 0,027; Std. Error of estimate 1,1639 |
| 854 | 49.026183 | 33.719342 | 0,561 – 0,163t + 7,289 · ln(t) | R = 0,957; $R^2$ = 0,916; Adjusted $R^2$ = 0,874; F(2,4) = 21,843; p < 0,007; Std. Error of estimate 2,2780 |
| 855 | 49.026542 | 33.722035 | 10,139 – 0,0072t – 0,481 · ln(t) | R = 0,359; $R^2$ = 0,129; F(2,4) = 0,29587; p < 0,759; Std. Error of estimate 2,5533 |
| К4 | 49.026186 | 33.718267 | insufficient sample | |
| К5 | 49.026243 | 33.721440 | insufficient sample | |
| К42 | 49.025916 | 33.720308 | –275,7495 – 2,248t + 107,758 · ln(t) | R = 0,957; $R^2$ = 0,915; Adjusted $R^2$ = 0,859; F(2,3) = 16,209; p < 0,025; Std. Error of estimate 3,1998 |
| К41 | 49.024398 | 33.719144 | 66,843 + 0,487t – 22,027 · ln(t) | R = 0,333; $R^2$ = 0,11; Adjusted $R^2$ = ???; F(2,3) = 0,186; p < 0,83905; Std. Error of estimate 5,380 |
| К52 | 49.025972 | 33.720732 | –1,804 – 0,235t + 6,103 · ln(t) | R = 0,688; $R^2$ = 0,473; Adjusted $R^2$ = 0,2099; F(2,4) = 1,7968; p < 0,27748; Std. Error of estimate 2,8056 |
| К522 | 49.026016 | 33.720724 | insufficient sample | |
| К51 | 49.024398 | 33.721985 | 64,288 + 0,397t – 19,948 · ln(t) | R = 0,489; $R^2$ = 0,2395; F(2,3) = 0,47240; p < 0,663; Std. Error of estimate 3,9869 |
| К35 | 49.024166 | 33.723948 | 113,839 + 0,904t – 39,563 · ln(t) | R = 0,811; $R^2$ = 0,657; Adjusted $R^2$ = 0,428; F(2,3) = 2,8723; p < 0,2009; Std. Error of estimate 2,4223 |

всі 69 годин спостереження за змінами його концентрації в картах БІС і в колодязі. Характер (кут піднесення прямої) лінійної моделі свідчить про суттєвий гідравлічний зв'язок між всіма картами БІС і навколишніми ґрунтовими водами. Тобто ми статистично достовірно можемо стверджувати, що робота глиняного замка (антифільтраційного екрана) ложа БІС є незадовільною. Провал можна пояснити нерівномірністю надходження води (графіком роботи насосної станції).

Згідно з графіком на рис. 3, флуоресцентний реагент у концентраціях, доступних для виявлення, в оглядовому колодязі збірного колектору очищеної води БІС з'явився на 24 годину після введення реагенту. Тобто ми можемо стверджувати, що час перебування стічних вод у картах БІС становить близько доби. Отже, швидкість проходження води в БІС становить близько 20 м/год, що є занадто високим показником для фіторемедіаційних споруд.

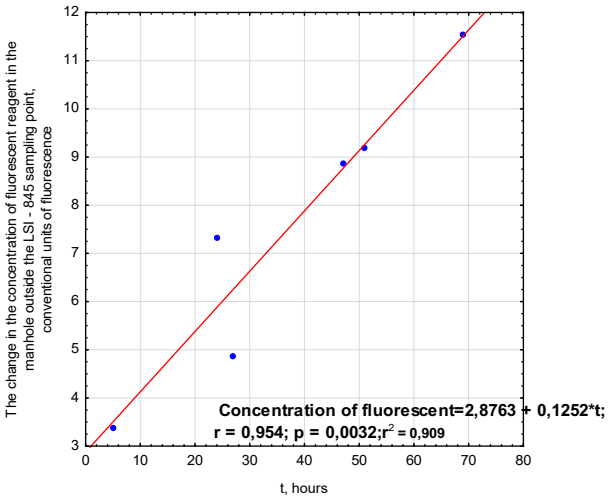



**Fig. 3.** Changes in the concentration of fluorescent reagent in the manhole outside the LSI, sampling point № 845 and a linear empirical model describing the change in concentration and its characteristics

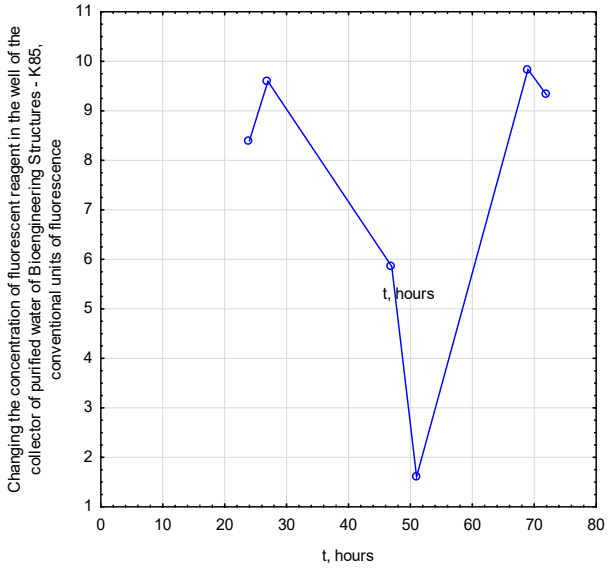



**Fig. 4.** Changes in the concentration of fluorescent reagent in the manhole of the collector of purified water LSI, sampling point K35

**Висновки.** Статистично достовірно встановлено, що внесений флуоресцентний реагент було виявлено через п'ять годин в оглядовому колодязі підземних вод за межами БІС і це спостерігалось протягом всього періоду натурних досліджень. Відповідно, зв'язок стічних вод з ґрунтовими водами є статистично значимим і ми можемо достовірно стверджувати, що досліджувані БІС є джерелом їх забруднення. Швидкість фільтрування стічної води картами БІС становить приблизно 20 м/год, тобто значно більша за ту, яка здатна забезпечити очищення цих вод за допомогою вищої водної рослинності. Це обумовлює необхідність подальших досліджень з метою встановлення вірогідності того, що ці споруди можуть слугувати джерелом вторинного забруднення навіть у випадку виведення їх з експлуатації, але без ремедіації цієї території. Також доцільно розглянути можливість використання модифікованого біоценозу, придатного до накопичення чистих металів, що можуть бути використані як легувальні присадки для виготовлення відповідних сплавів.

**Терміни і скорочення**

**БІС** – біологічні інженерні споруди (очисні споруди подібні до Біоплато, полів фільтрації, тощо).

**Поле фільтрації (поля аерації)** – ділянка землі, на поверхні якої розподіляють каналізаційні та інші стічні води з метою їх очищення; різновид водоочисної споруди. На полях фільтрації використовується метод природного біологічного очищення. Період між поливами використовують для того, щоб пори ґрунту встигали звільнятися від вод і заповнюватись атмосферним повітрям (для створення аеробних умов у ґрунті). Зважені і колоїдні речовини, що містяться в стічній воді, затримуються в ґрунті і за допомогою кисню і мікроорганізмів ґрунту перетворюються на мінеральні сполуки.

**Біоплато (англ. *constructed wetland,* інфільтраційне біоплато, підземне біоплато)** – біоінженерні споруди для очищення стічних вод, розроблені на основі властивостей природних водно-болотяних угідь, в яких відбуваються процеси мікробної трансформації та фіторемедіації забруднень.

**Карта** – гідравлічно виокремлена частина полів фільтрації, біоплато чи БІС.

**НС** – насосна станція.

**КНС** – каналізаційна насосна станція.

**References**

1. Siegrist, R.L. (2017), Treatment using constructed wetlands. In: Decentralized Water Reclamation Engineering. Cham: Springer.

2. Abou-Elela, S.I. (2017), Constructed wetlands: The green technology for municipal wastewater treatment and reuse in agriculture. In: Negm, A. (Ed.). Unconventional Water Resources and Agriculture in Egypt. The Handbook of Environmental Chemistry. Vol. 75.

3. Thorslund, J., Jarsjo, J, Jaramillo, F., Jawitz, J.W., Manzoni, S., Basu, N.B., et al. (2017), Wetlands as large-scale nature-based solutions: Status and challenges for research, engineering and management. *Ecological Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.012.

4. Christofilopoulos, S., Kaliakatsos, A., Triantafyllou, K., Gounaki, I., et al. (2019), Evaluation of a constructed wetland for wastewater treatment: Addressing emerging organic contaminants and antibiotic resistant bacteria. *New Biotechnology*. Vol. 52 p. 94-103. https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.05.006.

5. Mięsiak-Wójcik, K., Turczyński, M., Sposób J. (2018), Diverse sediment permeability and implications for groundwater exchange in closed Lake-Wetland catchments (West Polesie, East Poland). Wetlands. https://doi.org/10.1007/s13157-018-1027-4.

6. Wang, H.X., Xu, J.L., Sheng, L.X., Liu, X.J. (2018), A review of research on substrate materials for constructed wetlands. Materials Science Forum.

7. Donde, O.O., Cuicui, T., Yingying, T., Bangding, X. (2018), Efficacy of macrophyte dominated wastewater enclosure as post-treatment alternative in domestic wastewater quality polishing for eradication of faecal pathogenic bacteria pollution. *Process Safety and Environment Protection*. https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.12.023.

8. Demyanov, V.V. (2010), Geostatistika: teoriya i praktika. [Geostatistics: theory and practice. Institute for Problems of Safe

Development of Nuclear Power Engineering]. Moscow: Nauka [in Russian].

9. Brandt, Z. (2003), Analiz dannykh statisticheskiye i vychislitel'nyye metody dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov. [Analysis of data, statistical and computational methods for scientists and engineers]. Moscow: Mir, OOO «Izdatel'stvo AST» [in Russian].

10. Stevens, J.P. (2002), Applied multivariate statistics for the social sciences university of cincinnati. Mahwah, New Jersey London: Lawrence erlbaum associates, publishers.

11. Badzinsky, R.H. (2001), Handbook of probability distributions. SPb.: Nauka.

12. Gorshkov, M.V. (2010), Ecological monitoring. Textbook allowance c. Vladivostok: Publishing house of TGEU.

## STATISTICALLY JUSTIFIED DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF ACTIVE TREATMENT BIOENGINEERING STRUCTURES ON THE SURROUNDING GROUNDWATER

***D. Charniy, V. Dolin, O. Orlov, D. Skiba, L. Odukalets, E. Matselyuk, O. Arkhipenko, M. Stokolos, V. Nikolenko, S. Marisyk***

**Charniy D.V.,** D. Sc. (Eng.), Senior Researcher State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID 0000-0001-6150-6433, dmitriych10@gmail.com
**Dolin V.V.,** PhD (Eng.), Professor, Deputy Director, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID 0000-0001-6174-2962, vdolin@ukr.net
**Orlov O.O.,** PhD (Biol.), senior researcher, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID 0000-0003-2923-5324, orlov.botany@gmail.com
**Skiba D.V.,** head of environmental projects of Poltava GZK PJSC, Diana.Skiba@mine.ferrexpo.com
**Odukalets L.A.,** researcher State institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID 0000-0003-2569-6406, laoduk@i.ua
**Matselyuk E.M.,** PhD (Eng.), senior researcher, Institute of Water Problems and Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, ORCID 0000-0001-9960-6333, evgen1523@ukr.net
**Arkhipenko O.M.,** junior researcher State institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID 0000-0003-0955-3704, scerarcis@gmail.com
**Stokolos M.O.,** junior researcher State institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID 0000-0002-0471-1526, igns.ua@gmail.com
**Nikolenko V.O.,** leading engineer State institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID 0000-0002-9714-147X, borey@ua.fm
**Marisyk S.V.,** graduate student of the Institute of Water Problems and Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, ORCID 0000-0002-0100-7787, sergsi.marisik@ukr.net

***Abstract.*** *To establish the possible impact of bioengineering structures (BIS) on the surrounding groundwater, a field experiment was conducted to establish the current hydrodynamic characteristics of LSI, and verify the waterproofing properties of the protective layer of LSI bed PJSC "Poltava Mining and Processing Plant". The methods of full-scale simulation experiment on the introduction of a fluorescent solution that simulates contamination during its passage through the LSI area during cleaning are used. It is established that the residence time of water that is treated in LSI is about one day. Thus, the speed of passage of treated water through the LSI (filtration rate) is about 20 m / h, which does not allow to treat wastewater properly. It is established that the speed of passage of purified water on LSI cards is much higher than the optimal speeds for phytoremediation facilities. Also statistically significantly revealed a significant hydraulic connection of LSI with groundwater, ie experimentally confirmed that the protective waterproofing screen is damaged, and in the process of LSI contamination of the surrounding groundwater. The list of statistical receptions which provide mathematical reliability of conclusions on connection of water in LSI constructions and adjoining ground waters of surrounding territories is offered. The results of research have shown that LSI facilities are hydraulically connected to the surrounding groundwater and, accordingly, LSI serves as a source of their secondary pollution. Therefore, there is a need to develop a set of measures to improve the efficiency of this LSI. One of the promising areas of research is the use of aquatic vegetation and aquatic organisms not only for phytoremediation, but also for phytoextraction and as a source of pure metals (alloying additives).*

***Key words:*** *water, sewage, bioengineering facilities (BIS), phytoremediation, waterproofing screen.*