

УДК 504.45.058:502.1

DOI <https://doi.org/10.33989/2024.10.1.306017>**С. М. Маджд**

Національний університет харчових технологій

вул. Володимирська, 68, Київ, 01033

madzhd@ukr.net

ORCID: 0000-0003-2857-894X

НАУКОВІ ОСНОВИ КОНТРОЛЮ СТАНУ ДОННИХ ВІДКЛАДЕНЬ ЯК ІНДИКАТОРА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ГІДРОЕКОСИСТЕМ

В роботі запропонована методика проведення контролю стану поверхневих водних об'єктів, які підлягали впливу високонебезпечних техногенних об'єктів, шляхом дослідження екологічного стану донних відкладень. Контроль здійснювався на прикладі нафтових вуглеводнів. В ході реалізації методики доведено, що донні відклади є інтегральним показником рівня техногенного навантаження на гідроекосистеми та індикатором рівня їх екологічної небезпеки. Розраховані коефіцієнти донної акумуляції вказують на прогресуюче забруднення водойми та тенденцію до накопичення основної маси забруднюючих речовин в донних відкладеннях. Результати досліджень за методикою контролю стану донних відкладень як індикатора рівня екологічної небезпеки гідроекосистем, на прикладі «малої» річки, що протікає вздовж техногенно навантажених територій, свідчать, що донні відкладення відносяться до категорії «надзвичайно забруднених». Структурно-функціональні властивості донних відкладень дозволяють стверджувати, що з одного боку вони сприяють процесу самоочищення водного середовища, акумулюючи в собі нафтопродукти, проте з іншого боку, донні відкладення являють собою небезпеку вторинного забруднення водної товщі, оскільки при зміні фізико-хімічних умов забруднювачі з донних відкладень здатні переходити у водні маси.

Ключові слова: екологічна безпека, система екологічного управління, забруднення водойм, донні відкладення.

Вступ. Для визначення рівня екологічної небезпеки техногенно навантажених гідроекосистем необхідно знати динаміку перерозподілу забруднювачів в їх основних складових, а саме у: водних масах, біоті, донних відкладеннях. В роботі зосереджено увагу на основному індикаторі рівня екологічної небезпеки природних водойм – донних відкладеннях, які одночасно виступають інтегральним показником рівня їх техногенного навантаження. Донні відкладення мають високу здатність абсорбувати токсичні речовини, що взаємодіючи з органічними речовинами, утворюють комплексні сполуки, які втрачають токсичні властивості. За рахунок цього відбувається послаблення прямого токсичного впливу на водне середовище та на водневу біоту. До того ж, мікробентосні та мезобентосні організмами, що живляться мулом (олігохети, нематоди) здатні досить ефективно нейтралізувати нестійкі органічні токсиканти (Ісаєнко, & Маджд, 2019). Для пояснення стану внутрішньоводоймних процесів використані загальнотеоретичні основи організації природної гідроекосистеми як цілісної структури, що описується з точки зору теорії систем. Згідно з цією теорією водні екосистеми розглядаються як відкриті термодинамічні системи, що мають структурну цілісність та характеризуються функціональною єдністю структурних компонентів, яка забезпечується за рахунок процесів саморегуляції та адаптації (Маджд, 2014; Маджд, & Александрова, 2016; Ісаєнко, Маджд, & Кальницька, 2019). Навіть високотехногенно навантажені водойми здатні самоочищуватись від забруднювачів у ході протікання таких фізико-хімічних і біологічних внутрішньоводоймних процесів: перенесення течією, розведення, сорбція зваженими часинками, механічне перетирання (руйнування) мінеральними частинками, трансформація токсичних речовин в нетоксичні, зв'язування в неактивні комплексні сполуки, накопичення в ланках трофічних мереж, абсорбція в донних відкладеннях з подальшим замуленням (Ісаєнко, & Маджд, 2019).

В результаті протікання зазначених внутрішньоводоймних процесів, що лежать в основі механізму біотичної саморегуляції, концентрація токсикантів у водних масах істотно змен-

шується, але, відповідно, зростає в донних відкладеннях і в тканинах гідробіонтів та водянй рослинності. Результатом такого перерозподілу може бути хронічна токсифікація гідроеко-системи, що супроводжується різким зменшенням продуктивності популяцій або масовою загибеллю водневої біоти. Такий перерозподіл токсикантів не є справжньою детоксикацією, а умовною, оскільки наслідки накопичення токсикантів в донних відкладеннях проявля-ються в екстремальних ситуаціях – замуленні донних відкладень під час штормів та вна-слідок скидання значних обсягів зворотних вод. За таких екстремальних умов відбувається зворотній перехід токсикантів з донних відкладень до товщі водних мас, при одночасному підвищенні її каламутності (Маджд, Панченко, Кальницька, & Бондар, 2017; Маджд, 2018a). Одночасно із вторинним забрудненням водних мас фіксується гостра нестача кисню, що є причиною замору риб і загибелі безхребетних (Удод, Маджд, & Кулинич, 2017).

Мета роботи – створити наукові основи контролю хімічного стану природних водойм через оцінювання стану донних відкладень як індикатора рівня їх екологічної небезпеки.

Фізико-хімічною та фізичною основою відгуку природних водойм на пошкоджуючу дію токсикантів є закони термодинаміки та принцип Ле Шательє-Брауна. Розвиток гідро-екосистем має незворотній напрям, який має прояв у сукцесійних змінах, до прикладу, трофність водойм, що узгоджується з другим законом термодинаміки. При зростанні об-сягів надходження до водойм токсикантів, у системі збільшується сила опору, відбуваєть-ся внутрішньоводоймна перебудова, спрямована на нейтралізацію даного забруднювача. Цей опір спрямовано на зниження рівня дисбалансу в гідроекосистемі, який обумовлений привнесенням токсикантів. За принципом Ле Шательє-Брауна, чим інтенсивніший вплив забруднювачів – тим інтенсивніша внутрішньоводоймна протидія та, відповідно, опір гід-роекосистеми до дії екотоксикантів. При критичному надходженні забруднювачів водойми втрачають здатність до внутрішньоводоймної перебудови і їх здатність протидіяти згуб-ному впливові токсикантів втрачається. Під час надходження незначних концентрацій за-бруднювачів до водойм відбуваються лише не суттєві коливання їх параметрів, які можуть накопичуватись і у кінцевому результаті, сумарний ефект їх дії, призведе до структурно-функціональних змін природної водойми, а отже і до її руйнування, але у більш віддалений період часу.

Матеріали та методи досліджень. Проведення хімічних досліджень стану донних від-кладень як індикатора екологічного стану воднойм, а отже і їх рівня екологічної небезпеки, більш результативним буде на прикладі «малої» річки. Восени, навесні та влітку здійсню-вались дослідження стану р. Нивка, що належить до річок з високим рівнем техногенного навантаженням і протікає вздовж авіапідприємств (Isayenko et al., 2019; Madzhd, & Pysanko, 2018). У екосистемі «малої» річки було досліджено водні маси: поверхневі, придонні води та донні відкладення.

Перша проба була відібрана у житловому масиві Жуляни, а саме в місці, що знаходиться за 100 м вище скиду зворотних вод авіапідприємств. Відібрана вода була прозорою, донні відкладення не мали запаху і мали світло-коричневий колір. Дане місце відбору проб роз-ташоване вище «точки скиду» зворотних вод авіапідприємств, тому цю пробу було при-йнято за «умовний контроль». Наступну пробу відбирали безпосередньо в «точці скиду» зворотних вод авіапідприємств. Вода даної проби уже мала стійкий неприємний запах, була непрозора, з домішками, що плавали на поверхні. Донні відкладення мали запах нафто-продуктів та були чорного кольору. Наступна проба відбиралась за 100 м вже після скиду зворотних вод. Донні відклади теж мали неприємний запах нафтопродуктів, але вже менш стійкий і були чорного кольору. Відбір та дослідження проб води та донних відкладень здій-снювались за допомогою стандартних методик (Арсан, Давидов, Дьяченко, & Романенко (Ed.), 2006).

Результати та їх обговорення. Результати власних попередні дослідження (Міхуєєв, Udod, Madzhd, Lapan, & Kulynych, 2016) свідчать, що «мала» річка, яка знаходиться під ін-тенсивним впливом техногенного підприємств (авіапідприємства), за показником рН вод-

них мас (поверхневих і придонних) в усіх точках фіксується в межах допустимих значень (6,–8,5). За ступенем загальної мінералізації усі проби характеризуються як «прісні води» I класу якості, 2 категорії. У місці відведення зворотних вод значення показника ХСК для водних мас поверхневих у 1,5 рази перевищує $ГДК_{госп./поб.}$ і в 2,2 рази $ГДК_{р/госп.}$. У придонних водних масах, після скиду зворотних вод, фіксується перевищення $ГДК_{госп./поб.}$ у 1,6 рази. Для водних мас придонних перевищення $ГДК_{р/госп.}$ становить 2,5 разів. Водні маси до стоку і після стоку відносяться до II класу якості води та 3 категорії, а в місці відведення зворотних вод – до IV класу і 6 категорії якості води. Придонні водні маси до скиду зворотних вод та в місці скиду відносяться до II класу 3 категорії, після скиду належать до IV класу якості води 6 категорії. Перевищення нормативів за $БСК_5$: у воді поверхні від 1,5 до 7,5 $ГДК_{госп./поб.}$ призначення та 1,9–15,0 $ГДК_{р/госп.}$ категорії виявлено майже в усіх пробах. У придонних водних масах перевищення $БСК_5$ в районі скиду зворотних вод і нижче за течією перевищує в діапазонах 1,1–3,6 та 2,3–7,3 $ГДК_{р/госп.}$, відповідно. За значенням $БСК_5$ поверхневі водні маси до скиду, відносяться до III класу 4 категорії якості води, в місці скиду – до V класу 7 категорії, після скиду належать до III класу 5 категорії. Придонні водні маси до скиду належать до III класу 4 категорії якості води, а в місці скиду і після скиду – до V класу 7 категорії.

Донні відкладення в природних водоймах протягом тривалого періоду абсорбують нафтові вуглеводні, що надходять до водойми і в результаті цього виступають їх накопичувачем та є інтегральним показником рівня техногенного забруднення водойми з високим рівнем техногенного забруднення. При постійному надходженні нафтових вуглеводнів до поверхневих водойм донні відкладення з однієї сторони сприяють їх самоочищення, абсорбуючи у собі забруднювачі, з іншої сторони представляють небезпеку вторинного забруднення, оскільки забруднювачі з донних відкладень здатні переходити у водні маси. Результати експериментальних досліджень свідчать, що концентрація нафтопродуктів в донних відкладеннях перевищує їх вміст у поверхневих водних масах більше ніж у 2000 разів, що в свою чергу вказує на надзвичайно високий рівень забруднення водойми.

Для визначення перерозподілу нафтопродуктів, з водної маси до донних відкладень, розраховані коефіцієнти донної акумуляції (КДА) для нафтових вуглеводнів «малої» річки, що протікає вздовж території з високим рівнем техногенного навантаження, за формулою:

$$КДА = Кд / Кв$$

де $Кд$ – концентрація нафтових вуглеводнів у донних відкладеннях, $мг/дм^3$; $Кв$ – концентрація нафтових вуглеводнів у водній масі, $мг/дм^3$

Розраховані коефіцієнти донної акумуляції вказують на динаміку до зростання забруднення «малої» річки та тенденцію до накопичення основної маси нафтових вуглеводнів у донних відкладеннях, а саме: до скиду зворотних вод коефіцієнт донної акумуляції становить 675, в місці відведення зворотних вод – 966, в місці розсіювання зворотних вод (після скиду) становить 1119. Отримані розрахунки свідчать про прогресуюче забруднення «малої» річки наслідками якого є зниження їх самоочисної спроможності та процесів детоксикації.

За таких умов дану «малу» річку можна віднести до техногенно навантаженої річки, що втратила природну здатність до процесу саморегенерації. Дана «мала» річка, має об'єм – $W_o = Q$ ($м^3$) з витратою q_1 ($м^3/год$) та концентрацією мулу c_1 ($г/л$). В побудові матриці підвищення природних процесів саморегенерації цієї річки необхідно враховувати коефіцієнт розбавлення та змішування за певний час (κ):

$$C_{\delta}(t) = c_1 + (c_o - c_1) \exp \left[- \frac{t}{t_o} \right]$$

$$C^*_{\delta}(t) = c^*_1 + (1 - c^*_1) \exp \left[- \frac{t}{\tau_o} \right]$$

де $c^*_{\delta} = \frac{c_{\delta}}{c_o}$; $c^*_1 = \frac{c_1}{c_o} = \kappa$ – узагальнені величини,

що визначають концентрацію солей у природних водних масах і зворотних водах через початкову концентрацію C_0 ; $\tau_o = \frac{Q_o}{q_1}$ – період повного відновлення водної товщі за умови неперемішування; $\kappa = \frac{c_1}{c_o}$ – коефіцієнт перемішування (розбавлення).

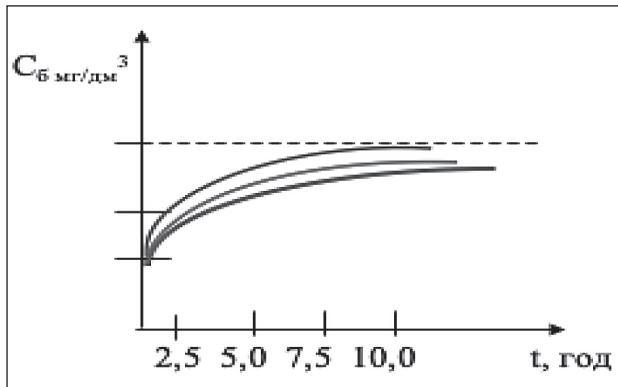


Рис. 1. Динаміка зміни концентрації нафтових вуглеводнів за 2,5 год, 5 год, 10 год

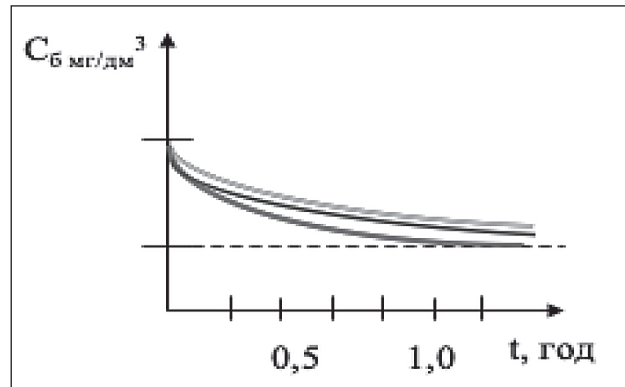


Рис. 2. Динаміка зміни концентрації нафтових вуглеводнів з урахуванням їх перемішування

За результатами розрахунків побудовано графік змін концентрації забруднювальних речовин за певний проміжок часу (рис. 1).

Також за результатами розрахунків побудовано графік зміни забруднень в умовах перемішування зворотних вод (рис. 2).

Представлений алгоритм дозволяє у часі охарактеризувати трансформації природної «малої» річки до високотехногенно навантаженої, яка практично втратила здатність до саморегенерації, оскільки дана річка розглядається як цілісна структура: водні маси, донні відкладення, воднева рослинність, гідробіоти.

Висновки. Донні відкладення в природних водоймах протягом тривалого періоду абсорбують нафтові вуглеводні, що надходять до них зі зворотними водами і за рахунок цього є своєрідним їх накопичувачем, інтегральним показником техногенного забруднення та індикатором рівня екологічної небезпеки. Донні відкладення поверхневих водойм, що протікають вздовж територій з високим рівнем техногенного навантаження належать до категорії «надзвичайно забруднених». В таких високотехногенно навантажених водоймах донні відкладення з одного боку сприяють самоочищенню водних мас, абсорбуючи в собі нафтові вуглеводні, а з іншого боку – представляють небезпеку їх вторинного забруднення. Концентрація нафтопродуктів в донних відкладеннях, досліджуваної «малої» річки, у понад 2000 разів перевищує їх вміст у поверхневій водній масі. В ході експериментальних досліджень також встановлений високий рівень забруднення нафтовими вуглеводнями поверхневої водної маси, а саме у 12–198 разів відносно ГДК_{р/госп} та придонної водної маси у діапазоні від 16 до 39 разів порівняно з ГДК_{госп./поб.}. Результати розрахунків коефіцієнтів донної акумуляції вказують на прогресуюче забруднення досліджуваної «малої» річки нафтовими вуглеводнями та на динаміку до накопичення основної маси нафтопродуктів в донних відкладеннях. До скиду зворотних вод коефіцієнт донної акумуляції становить 675, в місці відведення зворотних вод – 966, а після скиду – 1119.

Список використаних джерел

- Ісаєнко В. М., Маджд С. М. Теоретична концепція формування еколого-небезпечних ризиків в процесі розвитку техноприродних водних екосистем. *Вісник Кременчуцького національного університету*. 2019. № 1 (114). С. 121–127. URL: https://visnikkrnu.kdu.edu.ua/statti/2019_1_2019-1-121.pdf
- Ісаєнко В. М., Маджд С. М., Кальницька Д. Д. Наукові основи розроблення системи екологічного управління техноекосистемою зони аеропорту. *Екологічна безпека та технології захисту довкілля*. 2019. № 2. С. 35–39.
- Маджд С. М. Матеріальна кумуляція донних відкладів басейнів рік техногенно трансформованих районів. *Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку* : VIII Всеукр. наук.-практ. інтернет конф., м. Ірпінь, 12-20 листоп. 2018 р. Ірпінь, 2018. С. 252–256. URL: <https://sci.lidubgd.edu.ua/bitstream/123456789/10696/1/16.pdf>
- Маджд С. М. Оцінка техногенного впливу авіапідприємств на стан водойм. *Екологічна безпека та природокористування* : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. Київ, 2014. Вип. 14. С. 101–106. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebpk_2014_14_13

- Маджд С. М. Структурно-функціональні зміни розвитку водних системи в умовах техногенної трансформації. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи* : III Міжнар. наук.-практ. конф., 14 верес. 2018 р. Львів, 2018. С. 203.
- Маджд С. М., Александро́ва А. С., Панченко А. О. Оцінка біотичного потенціалу водних екосистем в зоні впливу авіаційних підприємств. *Авіація в XXI столітті* : VII Всесвіт. конгрес, 19-21 вересня 2016 р. Київ, 2016. С. 5.4.73–5.4.76.
- Маджд С. М., Александро́ва А. С. Визначення потенційної небезпеки донних відкладів гідроєкосистем з інтенсивним техногенним навантаженням. *Наукоємні технології*. 2016. Т. 31. № 3. С. 331–334. URL: <https://jrn1.nau.edu.ua/index.php/SBT/article/view/10801>
- Маджд С. М., Панченко А. О., Кальницька Д. Д., Бондар А. М. Механізми підвищення рівня екологічної безпеки гідроєкосистем зони впливу авіаційних підприємств. *Проблеми екологічної безпеки* : XV Міжнар. наук.-техн. конф., 11-13 жовт. 2017р. Кременчук, 2017. С. 47.
- Методи гідроєкологічних досліджень поверхневих вод / О. М. Арсан, О. А. Давидов, Т. М. Дьяченко та ін.; за ред. В. Д. Романенка. Київ : Логос, 2006. 408 с.
- Удод В. М., Маджд С. М., Кулинич Я. І. Дослідження причин та наслідків трансформації техногенно змінених водних систем. Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу «Києво-Могилянська академія»]. Серія: Екологія. 2017. Т. 289, № 277. С. 10–16.
- Isayenko V., Madzhd S., Pysanko Y., Nikolaiev K., Bovsunovsky E. O., Chernyak L. M. Development of a procedure for determining the basic parameter of aquatic ecosystems functioning – environmental capacity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 1 (10). P. 21–28
- Madzhd S., Pysanko Ya. The study of technogenically transformed water ecosystems within aviation facilities operation area. *Proceeding of the National Aviation University*. 2018. №. 3 (76). P. 78–86. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnau_2018_3_12
- Mikheyev O. M., Udod V. M., Madzhd S. M., Lapan O. V., Kulynych Ya. I. Increasing of natural subsystems bufferness to minimize anthropogenic pressure on hydrological ecosystems. (*EESJ*) *East European Scientific Journal*. 2016. 9 (13). P. 11–13.

SCIENTIFIC BASIS OF MONITORING THE BOTTOM SEDIMENTS STATE AS AN INDICATOR OF THE ENVIRONMENTAL DANGER LEVEL OF HYDROECOSYSTEMS

Madzhd S. M.

National University of Food Technologies

The work proposes a method of monitoring the condition of surface water bodies that were subject to the influence of aviation industry enterprises, by studying the contamination of bottom sediments. Using the example of petroleum hydrocarbons - specific pollutants of aviation enterprises, the author proved that bottom sediments are an integral indicator of the level of man-made pollution, an indicator of the ecological safety level of hydroecosystems. The calculated coefficients of bottom accumulation indicate the progressive pollution of the reservoir and the accumulation of the main mass of pollutants in the bottom sediments. The results of studies of the small river, that flows along the airline, show that the bottom sediments belong to the category of "extremely polluted". The structural and functional properties of bottom sediments enable us to state that, on the one hand, they contribute to the process of self-purification of the water environment by accumulating oil products, but on the other hand, bottom sediments represent a danger to the water column secondary pollution, since when physical and chemical conditions change, pollutants from the bottom sediments can pass into the water masses of the reservoir.

Key words: environmental safety, environmental management system, water pollution, bottom sediments.

REFERENCES

- Arsan, O. M., Davydov, O. A., Diachenko T. M., & Romanenko, V. D. (Ed.). (2006). *Metody hidroekologichnykh doslidzhen poverkhnivykh vod* [Methods of hydroecological studies of surface waters]. Kyiv: Lohos [in Ukrainian].
- Isaienko, V. M., & Madzhd, S. M. (2019). Teoretychna kontseptsia formuvannia ekoloho-nebezpechnykh ryzykiv v protsesi rozvytku tekhnopryrodnykh vodnykh ecosystem [Theoretical concept of formation of ecological and dangerous risks in the process of development of technopriodic aquatic ecosystems]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu* [Bulletin of Kremen-chuk National University], 1 (114), 121–127. Retrieved from https://visnikkrnu.kdu.edu.ua/statti/2019_1_2019-1-121.pdf [in Ukrainian].
- Isaienko, V. M., Madzhd, S. M., & Kalnytska, D. D. (2019). Naukovi osnovy rozroblennia systemy ekolohichnoho upravlinnia tekhnookosystemoiu zony aeroportu [Scientific basis for the development of the system of environmental management of the technoecosystem of the airport zone]. *Ekolohichna bezpeka ta tekhnolohii zakhystu dovkillia* [Environmental safety and environmental protection technologies], 2, 35-39 [in Ukrainian].
- Isayenko, V., Madzhd, S., Pysanko, Y., Nikolaiev, K., Bovsunovsky, E. O., & Chernyak, L. M. (2019). Development of a procedure for determining the basic parameter of aquatic ecosystems functioning – environmental capacity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10), 21–28
- Madzhd, S. M. (2014). Otsinka tekhnogennoho vplyvu aviapidpriemstv na stan vodoim [Assessment of the technogenic impact of air enterprises on the condition of water bodies]. In *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia* [Environmental safety and environmental management] (Vol. 14. pp. 101-106). Kyiv. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebpk_2014_14_13 [in Ukrainian].
- Madzhd, S. M. (2018a). Materialna kumulatsiia donnykh vidkladiv baseiniv rik tekhnogenno transformovanykh raioniv [Material cumulation of bottom sediments of basins year of technologically transformed areas]. In *Tekhnogenno-ekolohichna bezpeka Ukrainy: stan ta perspektyvy rozvytku* [Technogenic and ecological safety of Ukraine: state and prospects of development] (pp. 252–256). Irpin, Retrieved from <https://sci.lubgd.edu.ua/bitstream/123456789/10696/1/16.pdf> [in Ukrainian].

- Madzhd, S. M. (2018b). Strukturno-funktsionalni zminy rozvytku vodnykh systemy v umovakh tekhnohennoi transformatsii [Structural and functional changes in the development of the water system in conditions of manmade transformation]. In *Ekolohichna bezpeka yak osnova staloho rozvytku suspilstva. Yevropeyskyi dosvid i perspektyvy* [Environmental safety as the basis for sustainable development of society. European experience and prospects] (pp. 203). Lviv [in Ukrainian].
- Madzhd, S. M., & Aleksandrova, A. S. (2016). Vyznachennia potentsiinoi nebezpeky donnykh vidkladiv hidroekosystem z intensyvnym tekhnohennym navantazhenniam [Determination of potential hazard of bottom sediments by hydroecosystems with intensive technogenic load]. *Naukoiemni tekhnolohii* [Science-intensive technologies], 31, 3, 331-334. Retrieved from <https://jrn1.nau.edu.ua/index.php/SBT/article/view/10801> [in Ukrainian].
- Madzhd, S. M., Aleksandrova, A. S., & Panchenko, A. O. (2016). Otsinka biotychnoho potentsialu vodnykh ekosystem v zoni vplyvu aviatsiinykh pidpriemstv [Assessment of the biotic potential of aquatic ecosystems in the zone of influence of aviation enterprises]. In *Aviatsiia v XXI stolitti* [Aviation in the 21st century] (pp. 5.4.73–5.4.76). Kyiv [in Ukrainian].
- Madzhd, S. M., Panchenko, A. O., Kalnytska, D. D., & Bondar, A. M. (2017). Mekhanizmy pidvyshchennia rivnia ekolohichnoi bezpeky hidroekosystem zony vplyvu aviatsiinykh pidpriemstv [Mechanisms for improving the environmental safety of hydroecosystems of the zone of influence of aviation enterprises]. In *Problemy ekolohichnoi bezpeky* [Environmental safety issues] (p. 47). Kremenchuk [in Ukrainian].
- Madzhd, S., & Pysanko, Ya. (2018). The study of technogenically transformed water ecosystems within aviation facilities operation area. *Proceeding of the National Aviation Univesity*, 3 (76), 78-86. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnau_2018_3_12
- Mixyeyev, O. M., Udod, V. M., Madzhd, S. M., Lapan, O. V., & Kulynych, Ya. I. (2016). Increasing of natural subsystems bufferness to minimize anthropogenic pressure on hydrological ecosystems. (*EESJ*) *East European Scientific Journal*, 9 (13), 11–13.
- Udod, V. M., Madzhd, S. M., & Kulynych, Ya. I. (2017). Doslidzhennia prychnyn ta naslidkiv transformatsii tekhnohenno zminenykh vodnykh system [Investigation of causes and consequences of transformation of technogenically altered water systems]. *Naukovi pratsi (Chornomorskoho derzhavnoho universytetu imeni Petra Mohyly kompleksu "Kyievo-Mohylianska akademiia")*. Serii: *Ekolohiia* [Scientific works (Black Sea State University named after Petro Mohyla complex "Kyiv-Mohyla Academy"). Series: Ecology], 289, 277, 10–16 [in Ukrainian].