

Бедункова О. О., д.б.н., професор, Статник І. І., к.с.-г.н., доцент, Вознюк Н. М., к.с.-г.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua, i.i.statnik@nuwm.edu.ua, n.m.voznyuk@nuwm.edu.ua)

АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕННЯ БІОГЕНАМИ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ РІЧКИ ГОРИНЬ

У статті представлено результати відстеження змін концентрацій у поверхневих водах р. Горинь нітратів і фосфатів за період 2005–2021 років на ділянках поблизу витоку (створ № 1) та поблизу гирла (створ № 2). Відображено коливання їх середніх значень за окремими роками. Оцінено відповідні якісні характеристики стану води та ступені її чистоти за відповідними категоріями. Розраховано стехіометричне співвідношення нітратів і фосфатів, що дозволило вважати фосфор лімітуючим елементом у водній екосистемі. За величиною числа Редфільда з'ясовано, що евтрофікаційні процеси річки мають більш інтенсивний прояв у межах створу № 2.

Ключові слова: поверхневі води; нітрати; фосфати; лімітуючий елемент.

Постановка проблеми. Відношення вмісту різних форм біогенних елементів дозволяє характеризувати спрямованість біохімічних процесів, що протікають у водоймі, передбачити можливість лімітування первинної продукції тим чи іншим елементом і врешті зробити висновок про трофічний статус водойми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що визначальний вплив на формування екологічного стану водойм мають такі біогенні елементи як фосфор і азот [1; 2]. Надлишок цих поживних речовин зазвичай стимулює швидке зростання автотрофних організмів, таких як фітопланктон [3]. У свою чергу, первинна продукція органічної речовини складає основу наступних етапів продукційного процесу у водних екосистемах та формує трофічний статус водойм [4; 5].

Постановка завдання та методики дослідження. Метою нашої роботи був аналіз навантаження біогенами поверхневих вод р. Горинь, впродовж 2005–2021 рр., на різних ділянках. Завдання до-

сліджень зводились до відстеження вмісту нітрат-іону та фосфат-іону з наступною оцінкою екологічного стану поверхневих вод, а також встановлення співвідношень між нітратами та фосфатами для з'ясування спрямованості евтрофікаційних процесів та дефіциту одного з елементів у водній екосистемі річки.

При дослідженнях використовували дані багаторічних спостережень програми моніторингу стану водних ресурсів Державного агентства водних ресурсів України, які групували за окремими роками відповідно до результатів аналізу якості води по сезонах, у межах двох створів: створ № 1 – 602 км від гирла, м. Ланівці Тернопільської області, 50 м нижче мосту; створ № 2 – 67 км від гирла, с. Висоцьк Рівненської області, кордон з Білоруссю.

Екологічну оцінку вмісту нітратів і фосфатів у поверхневих водах р. Горинь проводили згідно з методикою [6], що дозволяє віднести якість води на різних ділянках водотоку до відповідної категорії із визначенням якісного стану її поверхневих вод.

Для відстеження балансу нітратів та фосфатів у поверхневих водах річки користувались стехіометричним співвідношенням за калькулятором Редфільда [7]

$$RR = (NO_3 / PO_4) \cdot 1,5.$$

Розвиток водоростей лімітований азотом, якщо $N/P < 15$, тобто в такому разі має місце надлишок фосфору та нестача азоту. При цьому, в фітопланктонних угрупованнях починають переважати синьо-зелені водорості. При співвідношенні азоту до фосфору більше 30 існує надлишок азоту та нестача фосфору, тобто лімітуючий елемент – фосфор. Переважають зелені (протококові) водорості. Співвідношення елементів у межах 15:1–30:1 прийнято за оптимальний діапазон. В обох випадках, зміщення від оптимального діапазону співвідношення, внаслідок природних чи антропогенних чинників, спричинює евтрофікацію.

Виклад основного матеріалу дослідження. Річка Горинь – права притока р. Прип'ять, бере початок на Волино-Подільському плато в Тернопільській області, протікає територією Хмельницької і Рівненської областей. Загальна довжина річки 659 км, має 40 приток та загальну площу водозбору 27700 км². Вода річки використовується для технічно-побутового та сільськогосподарського водопостачання, рекреаційних цілей та ведення ставкового рибництва.

Середній вміст нітрат-іону в поверхневих водах р. Горинь (рис. 1) у межах створу № 1 мав найнижчі концентрації за даними 2007 р. ($3,75 \pm 0,97$; $n=4$; $p=0,003$). Найвищими виявились концентрації

за даними 2008 р. ($11,60 \pm 2,44$; $n=4$; $p=0,02$). Необхідно зауважити, що контроль якості води на цій ділянці річки проводився до 2018 р. включно, тому дані на рисунку наведені за період 2005–2018 рр.

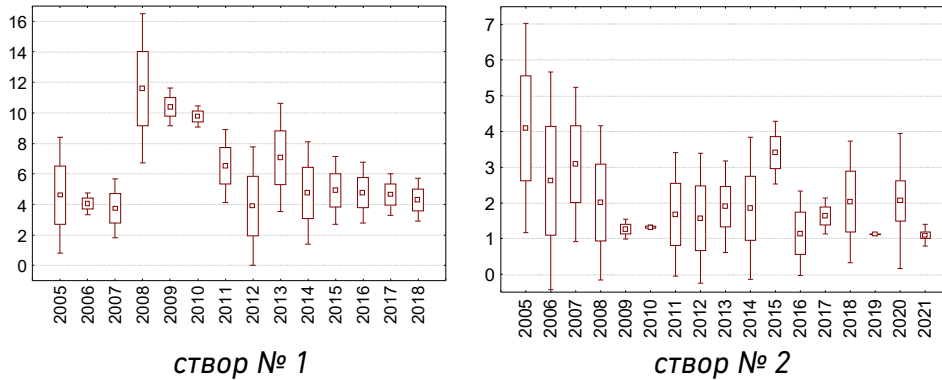


Рис. 1. Середньо-багаторічні коливання вмісту нітрат-іону (мг/дм^3) в поверхневих водах р. Горинь за період спостережень:
 □ Mean, □ Mean \pm SE, T \perp Mean \pm SD

У поверхневих водах річки в межах створу № 2, вміст нітрат-іону виявився найнижчим за даними 2021 р. ($1,09 \pm 0,09$; $n=10$; $p=0,0001$). Найвищими були концентрації елемента за даними 2005 р. ($4,09 \pm 1,47$; $n=4$; $p=0,07$), які щоправда не мали статистичної ймовірності.

Середній вміст фосфат-іону в поверхневих водах р. Горинь (рис. 2) у межах створу № 1 мав найнижчі концентрації за даними 2015 р. ($0,06 \pm 0,02$; $n=4$; $p=0,005$). Найвищими виявились концентрації за даними 2005 р. ($0,43 \pm 0,17$; $n=4$; $p=0,01$).

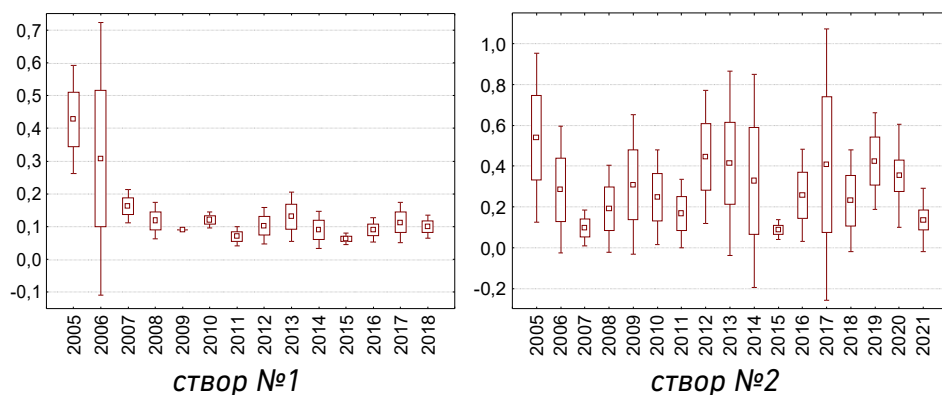


Рис. 2. Середньо-багаторічні коливання вмісту фосфат-іону (мг/дм^3) в поверхневих водах р. Горинь за період спостережень:
 □ Mean, □ Mean \pm SE, T \perp Mean \pm SD

Середній вміст фосфат-іону в поверхневих водах р. Горинь у межах створу № 2 мав найнижчі концентрації також за даними 2015 р. ($0,09 \pm 0,05$; $n=4$; $p=0,02$). Найвищими, як і в створі № 1, виявились концентрації за даними 2005 р. ($0,54 \pm 0,41$; $n=4$; $p=0,08$). Однак, середні дані за результатами аналізу якості води в цьому році, аналогічно до вмісту нітрат-іону, не мали статистичної ймовірності. Очевидно, що це є результатом значних коливань концентрацій елементів за сезонами. Для прикладу, в зимовий період 2005 р. середній вміст фосфат-іона був на рівні $0,05 \text{ мг/дм}^3$, у весняний період $0,44 \text{ мг/дм}^3$, у літній $0,62 \text{ мг/дм}^3$ та $1,05 \text{ мг/дм}^3$ у осінній період.

У цілому ж, за досліджуваний часовий інтервал відмічається тенденція до пониження вмісту нітрат-іона та фосфат-іона в поверхневих водах річки в межах створу № 1 та коливання концентрацій цих елементів у межах створу № 2.

Для проведення екологічної оцінки якості поверхневих вод р. Горинь за вмістом досліджуваних біогенних елементів, їх концентрації перераховувались у нітрати та фосфати. Так, у створі № 1 вміст нітратів мав коливання в межах категорії 5,5 (стан води «посередній-поганий»), ступінь чистоти «помірно забруднена – брудна») до категорії 7,0 (стан води «дуже поганий», ступінь чистоти «дуже брудна»), відповідно за даними 2007 р. та 2008–2010 рр. (рис. 3).

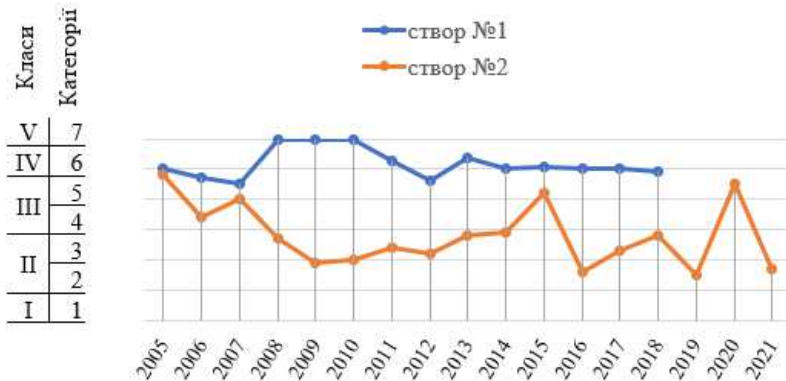


Рис. 3. Екологічна оцінка вмісту нітратів у поверхневих водах р. Горинь за відповідними категоріями по роках спостережень

У створі № 2 зміна категорій відбувалась у межах від 2,5 (стан води «дуже добрий – добрий»), ступінь чистоти «чиста – досить чиста») за даними 2019 р. та 2007 р. до категорії 5,8 (стан води «поганий», ступінь чистоти «брудна») за даними 2005 р.

Проведення екологічної оцінки вмісту фосфатів у поверхневих водах р. Горинь відображає коливання їх концентрацій від категорії

2,3 (стан води «добрий», ступінь чистоти «чиста») до категорії 5,4 (стан води «посередній», ступінь чистоти «помірно-забруднена») для створу № 1, відповідно за даними 2015 р. та 2005 р. (рис. 4).

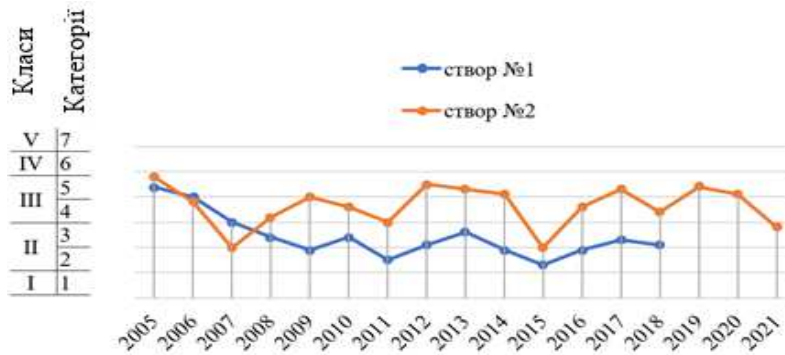


Рис. 4. Екологічна оцінка вмісту фосфатів у поверхневих водах р. Горинь за відповідними категоріями по роках спостережень

Для створу № 2 зміна категорій відбувалась у межах від 3,0 (стан води «добрий», ступінь чистоти «досить чиста»), за даними 2015 р. та 2007 р., до категорії 5,8 (стан води «поганий», ступінь чистоти «брудна»), за даними 2005 р.

Безпосереднє стехіометричне співвідношення нітратів і фосфатів свідчило про його помітні коливання на обох ділянках річки за весь період спостережень. При цьому, в першому створі величини співвідношення елементів по окремих роках були помітно вищими ніж у другому створі. Так, поблизу витоку річки (створ № 1) найбільшу повторність мав діапазон числа Редфільда від 0 до 60 (рис. 5).

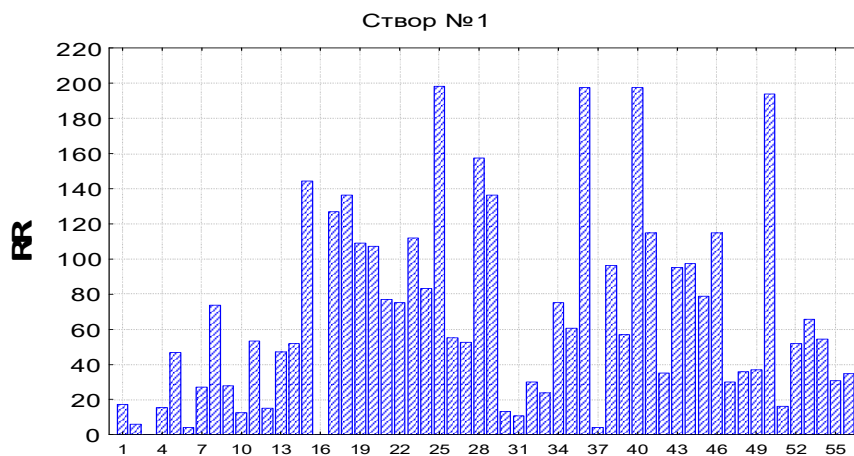


Рис. 5. Стехіометричне співвідношення біогенних елементів (N/P) у поверхневих водах р. Горинь поблизу витоку за період 2005–2021 рр.

Середня величина співвідношення елементів при цьому становила 68,26, що свідчило про перевищення нітратів та лімітацію фосфатів, тобто про домінування угруповань зелених водоростей (рис. 6).

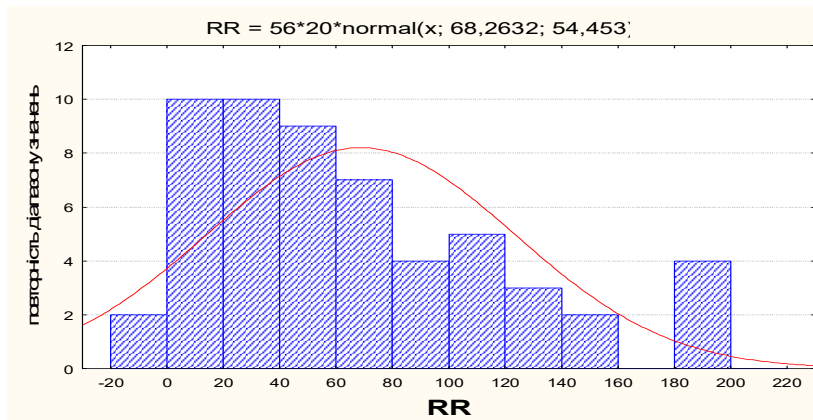


Рис. 6. Середня величина стехіометричного співвідношення біогенних елементів (N/P) у поверхневих водах р. Горинь поблизу витоку за період 2005–2021 рр.

У другому створі, поблизу гирла річки, найбільшу повторність мав діапазон числа Редфільда від 0 до 60 (рис. 7), із середньою величиною близько 40 (рис. 8), що також свідчило про перевищення нітратів та лімітацію фосфатів і домінування зелених водоростей.

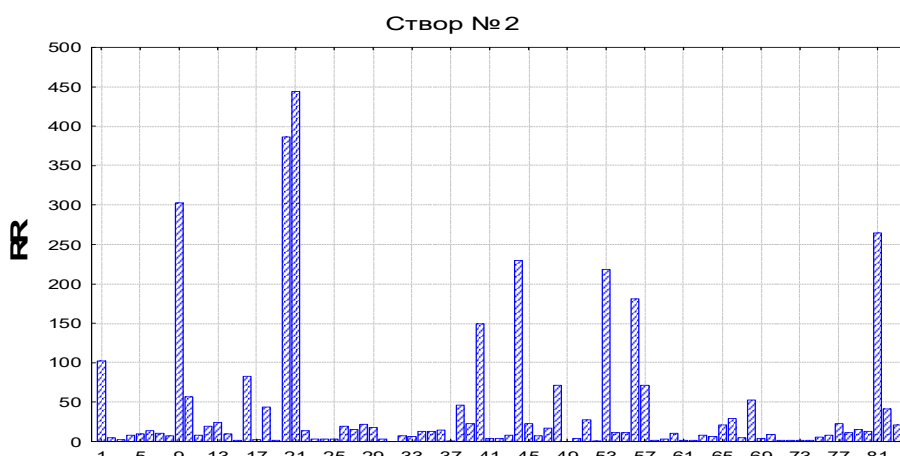


Рис. 7. Середня величина стехіометричного співвідношення біогенних елементів (N/P) у поверхневих водах р. Горинь поблизу витоку за період 2005–2021 рр.

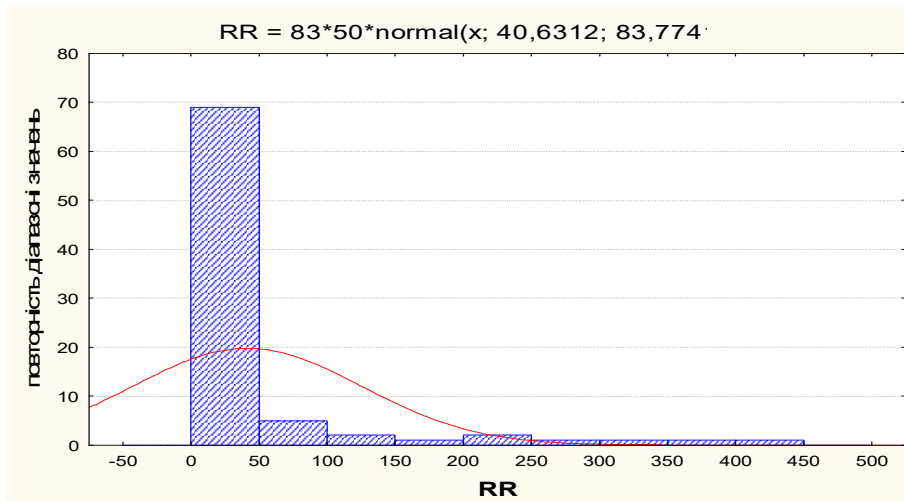


Рис. 8. Середня величина стехіометричного співвідношення біогенних елементів (N/P) у поверхневих водах р. Горинь поблизу витоку за період 2005–2021 рр.

Порівняння фактичного вмісту нітратів і фосфатів у поверхневих водах р. Горинь із нормативними значеннями проводилось за перерахунком концентрацій нітрат-іону і азот нітратний та фосфат-іону в фосфор фосфатів.

Так, за вмістом нітратів, у межах обох створів фактичні дані спостережень не мали перевищень рибогосподарських ГДК ($9,1 \text{ мгN/дм}^3$), ГДК господарсько-побутового водокористування (10 мгN/дм^3) та норми Директиви ЄС «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» (5 мгN/дм^3).

За вмістом фосфатів перевищення мало місце лише до 2007 року за рибогосподарськими ГДК ($0,15 \text{ мгP/дм}^3$) та європейським нормативами ($0,2 \text{ мгP/дм}^3$), а з того часу та понині вміст фосфатів у воді річки відповідав усім нормативним значенням. А от у межах другого створу, впродовж досліджуваного 16-річного періоду, відмічаються помітні коливання вмісту фосфатів відносно цих нормативів. Найбільш помітними вони були за даними 2005, 2012, 2013, 2017 та 2021 рр., у діапазоні від 1,02 до 11,8 разів.

Тут варто зауважити, що ГДК господарсько-побутового водокористування лімітує допустимий вміст фосфатів у поверхневих водах на рівні $3,5 \text{ мгP/дм}^3$. Отже, на обидвох ділянках р. Горинь за предста-

влений період поверхневій воді повністю відповідали цій категорії ГДК.

Висновки. Для поверхневих вод р. Горинь, впродовж 2005–2021 рр. помітна загальна тенденція до зниження концентрацій таких біогенних елементів, як нітрати та фосфати на фоні їх коливань за окремими роками. Середній вміст нітрат-іону виявився вищим поблизу витoku річки (створ № 1), порівняно з ділянкою поблизу гирла (створ № 2) більше ніж у 3 рази. Середній вміст фосфат-іону збільшується вдвічі в межах другого створу, порівняно з першим.

За період спостережень, екологічна оцінка якості поверхневих вод р. Горинь за вмістом нітратів виявила коливання якісних характеристик за вмістом нітратів від категорії 2,5 (стан води «дуже добрий – добрий») у межах другого створу до категорії 7,0 (стан води «дуже поганий») у межах першого створу. За вмістом фосфатів від категорії 2,3 (стан води «добрий») у першому створі до категорії 5,8 (стан води «поганий») у межах другого створу.

Вміст нітратів у обох створах не мав перевищення нормативних значень. Для вмісту фосфатів виявлені перевищення рибогосподарських ГДК та норми Директиви ЄС, при чому в межах першого створу лише за даними до 2007 р., а в межах другого створу впродовж всього шістнадцятирічного періоду спостережень.

Розрахунок стехіометричного співвідношення нітратів і фосфатів виявив його середню величину 68,26 у межах першого створу та 40,63 у межах другого створу. Отже, на обох ділянках р. Горинь лімітуючим елементом є фосфати, а у фітопланктонних угрупованнях переважають зелені водорості, з помітним посиленням процесів евтрофікації у межах створу № 2.

1. *Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах* : материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей, Тюмень, 23–28 апреля 2018 года / под редакцией: В. А. Боева, А. И. Сысо, В. Ю. Хорошавина. Тюмень : Тюменский государственный университет, 2018. 452 с. 2. Шарафутдинова Г. Ф. Моделирование продукционно-деструкционных отношений в озерных экосистемах : автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. СПб. : РГГМУ, 2013. 192 с. 3. Song Y.-B., Zhou M.-Y., Qin Y.-L., Cornelissen J. H.C., Dong M. Nutrient effects on aquatic litter decomposition of free-floating plants are species dependent. *Global Ecology and Conservation*. 2021. Vol. 30. DOI10.1016/j.gecco.2021.e01748 4. Tskhai A. A., Ageikov V. Yu. Disturbance of sustainability of the reservoir ecosystem: a model approach for assessing and forecasting the long-term process of eutrophication. *Journal of*

Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. 2021. Vol. 9. Iss. 1, 1080327. <https://dx.doi.org/10.13044/j.sdewes.d8.0327>. **5.** Гусева А. Ю., Гусакова Н. В. Определение внешней нагрузки биогенов на Таганрогский залив Азовского моря. *Безопасность жизнедеятельности*. 2014. № 1. С. 36–41. **6.** Романенко В. Д. Методика экологической оценки качества поверхностных вод по соответствующим категориям. К. : СИМВОЛ–Т, 1998. 28 с. **7.** Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб. : Наука, 2000. 147 с.

REFERENCES:

1. Biogeohimiya himicheskikh elementov i soedineniy v prirodnykh sredakh : materialy III Mejdunarodnoy shkolyi-seminara molodykh issledovateley, Tyumen, 23–28 aprelya 2018 goda / pod redaktsiyey: V. A. Boeva, A. I. Syiso, V. YU. Horoshavina. Tyumen : Tyumenskiy gosudarstvenniy universitet, 2018. 452 s. **2.** Sharafutdinova G. F. Modelirovanie produktsionno-destruktsionnykh otnosheniy v ozernykh ekosistemakh : avtoref. diss. ... kand. geogr. nauk. SPb. : RGGMU, 2013. 192 s. **3.** Song Y.-B., Zhou M.-Y., Qin Y.-L., Cornelissen J. H.C., Dong M. Nutrient effects on aquatic litter decomposition of free-floating plants are species-dependent. *Global Ecology and Conservation*. 2021. Vol. 30. DOI10.1016/j.gecco.2021.e01748 **4.** Tskhai A. A., Ageikov V. Yu. Disturbance of sustainability of the reservoir ecosystem: a model approach for assessing and forecasting the long-term process of eutrophication. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2021. Vol. 9. Iss. 1, 1080327. <https://dx.doi.org/10.13044/j.sdewes.d8.0327>. **5.** Guseva A. Yu., Gusakova N. V. Opredelenie vneshney nagruzki biogenov na Taganrogskiy zaliv Azovskogo morya. *Bezopasnost jiznedejatelnosti*. 2014. № 1. S. 36–41. **6.** Romanenko V. D. Metodika ekologicheskoy otsenki kachestva poverhnostnykh vod po sootvetstvuyuschim kategoriyam. K. : SIMVOL–T, 1998. 28 s. **7.** Alimov A. F. Elementy teorii funktsionirovaniya vodnykh ekosistem. SPb. : Nauka, 2000. 147 s.

Biedunkova O. O., Doctor of Biological Sciences, Professor; Statnyk I. I., Candidate of Agricultural Science (Ph.D.), Associate Professor; Vozniuk N. M., Candidate of Agricultural Science (Ph.D.), Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ANALYSIS OF PRESSURES FROM THE BIOGENIC AQUATIC ECOSYSTEM OF THE HORYN RIVER

The purpose of our work was to analyze loads of biogenic surface waters of the Horyn River. The objectives of the studies were to monitor nitrate ion and phosphate ion, followed by an assessment of the environmental status of surface waters, and to establish the relationship between nitrate and phosphate. We determined the direction of eutrophication and deficiency of one of the elements in the river's aquatic ecosystem.

Data from the 2005–2021 monitoring program of the State Water Resources Agency of Ukraine were used in the studies. Thus, according to our studies, there has been a general downward trend in the concentrations of nutrients such as nitrates and phosphates, with variations from year to year. The average nitrate ion content was higher than the source of the river (checkpoint 1) than the area near the mouth (checkpoint 2) by more than three times. The average phosphate ion content doubled within the second flank compared to the first. During the observation period, environmental assessment of the quality of the surface waters of the Horyn River in terms of nitrate content revealed fluctuations in the quality of nitrate content from category 2.5 (water condition «very good – good») within the second section to category 7.0 (water condition «very bad») in the first view. In terms of phosphate content from category 2,3 (water state «good») in the first section to category 5,8 (water state «bad») within the second section. The nitrate content of both vents did not exceed the regulatory value. The phosphate content was found to exceed the fishery boundary concentrations and the norms of the European Union Directive, in the first case only up to 2007 and in the second case only up to the 16-year observation period.

The calculation of the stoichiometric ratio of nitrates to phosphates revealed an average of 68.26 within the first flank and 40.63 within the second flank. Thus, phosphates are the limiting element at both Horyn sections of the river, and green algae dominate phytoplankton groups, with a marked increase in eutrophication within

checkpoint 2.

Keywords: surface waters; nitrates; phosphates; limiting element.

**Бедункова О. А., д.б.н., профессор; Статник И. И., к.с.-х.н., доцент;
Вознюк Н. Н., к.с.-х.н., профессор** (Национальный университет
водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

АНАЛИЗ НАГРУЗКИ БИОГЕНАМИ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ РЕКИ ГОРЫНЬ

В статье представлены результаты отслеживания изменений концентраций в поверхностных водах г. Горынь нитратов и фосфатов за период 2005–2021 годов на участках вблизи истока (створ № 1) и вблизи устья (створ № 2). Отражены колебания их средних значений по отдельным годам. Оценены соответствующие качественные характеристики состояния воды и степени ее чистоты по категориям. Рассчитано стехиометрическое соотношение нитратов и фосфатов, что позволило считать фосфор лимитирующим элементом в водной экосистеме. По величине числа Редфильда установлено, что эвтрофикационные процессы реки имеют более интенсивное проявление в пределах створа № 2.

Ключевые слова: поверхностные воды; нитраты; фосфаты; лимитирующий элемент.
