

sections free vegetation. The concentration of ammonium nitrogen and nitrate ions in the thickets of higher aquatic vegetation was also 1.1–3.1 and 1.3–2.5 times lower, respectively. From the beginning of the growing season, the concentration of inorganic nitrogen, phosphorus and dissolved silicon in the area of the lake without vegetation was decreased on average from 1.122 to 0.096 mg N/dm³, from 0.250 to 0.075 mg P/dm³ and from 4.1 to 0.31 mg/dm³ and in the coastal area from 1.168 to 0.073 mg N/dm³, from 0.298 to 0.063 mg P/dm³ and from 4.0 to 0.32 mg/dm³ respectively. It was found that the share of nitrate ions in the surface layer of the water of Verbne Lake increased from 9.9% to 68.3% from March to June, and in Telbin Lake nitrate ions dominated, even in March. This was due to the increase in the intensity of the nitrification process. In the first case, this was due to the supply of oxygen during photosynthesis, and in the second case, due to artificial aeration. The effect of higher aquatic vegetation on the content of dissolved silicon and labile iron were not observed. The maximum values content of inorganic nitrogen and phosphorus and dissolved silicon were observed during spring homothermia. Their content in the surface layer of water gradually decreased due to the assimilation of plant organisms with the beginning of the growing season. Direct temperature stratification led to an increase in the content of inorganic nitrogen and phosphorus, dissolved silicon and labile iron in the bottom layer of water due to their inflow from bottom sediments, especially in the absence of dissolved oxygen.

Keywords: biogenic elements, nitrogen, phosphorus, silicon, iron, thickets of higher aquatic vegetation.

Надійшла до редколегії 21.10.2020

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.6>

УДК 5.502/504.502.3/.7

Ухань О.О., Осадча Н.М.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, м. Київ, Україна

ОЦІНКА АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ БІОГЕННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ТА ОРГАНІЧНИМИ РЕЧОВИНАМИ У БАСЕЙНІ Р. ТЕТЕРІВ

Збільшення органічних речовин та біогенних елементів (сполук нітрогену та фосфору) у поверхневих водах призводить до значного погіршення її якості. У даній роботі представлено основні шляхи надходження біогенних елементів та органічних речовин до р. Тетерів.

Показано, що серед точкових джерел найбільше забруднення біогенними елементами та органічними речовинами викликано саме міським населенням. Дифузне забруднення річки органічними сполуками відбувається за рахунок домогосподарств переважно сільського населення, не підключених до каналізаційних мереж. Проведені розрахунки свідчать, що для біогенних елементів основні емісійні потоки надходять за рахунок рілля.

Ключові слова: біогенні елементи; органічні речовини; точкові та дифузні джерела.

Вступ. Господарська діяльність людини, що ведеться у межах річкових водозборів, найчастіше призводить до погіршення загального стану водних об'єктів. Вагомий вплив на формування якості води чинить процес розкладання органічних речовин та біогенних елементів, надходження яких, в свою чергу, спричиняється продуктами життєдіяльності живих організмів [8].

Основна небезпека надходження у водні об'єкти надмірної кількості органічних речовин полягає у споживанні розчиненого у воді кисню на їх окиснення. В результаті, у забруднених водах виникають умови дефіциту кисню аж до виникнення гіпоксії, що призводить до значних порушень біологічних угруповань у тому числі загибелі окремих видів. Надходження біогенних елементів до поверхневих вод є рушійною силою евтрофікації, наслідком чого є збільшення первинної продукції та накопичення у водному об'єкті органічної речовини [1, 5]. Серед біогенних елементів домінуючу роль відіграють сполуки фосфору та нітрогену.

За характером надходження речовин виділяють точкові джерела, до яких відносяться стаціонарні водовипуски стічних вод водокористувачів та дифузні джерела, представлені стоками сільських населених пунктів та зливом із сільськогосподарських угідь і забудованих території. Точкові джерела є відносно сталими за витратами стічних вод та перелік та концентрації забруднюючих речовин у яких відповідають характеру виробництва. Характерною особливістю дифузного забруднення є те, що його рівень залежить не лише

від антропогенного навантаження, а визначається також кліматичними, гідрологічними умовами, властивостями підстильної поверхні та ґрунтів [2].

Дослідженню навантаження поверхневих вод за рахунок точкових та дифузних джерел, їх моделювання та особливості висвітлено в роботах [2, 9, 11]. В сучасній науці України вивченню цього напрямку не приділялося достатньої уваги як у розрізі басейнів, так і окремих суббасейнів річок. Основні дослідження було спрямовано на визначення якості поверхневих вод за різними методиками. Перші результати розрахунків навантаження біогенними елементами, органічними речовинами та небезпечними забруднюючими речовинами отримано науковцями УкрГМІ та співробітниками Державного агентства водних ресурсів України в рамках проекту Координатора проектів ОБСЄ в Україні [4] для р. Сіверський Донець та басейну р. Дністер. Також, для проекту Європейської спільної Водної ініціативи плюс для країн Східного партнерства з метою вдосконалення управління водними ресурсами з акцентом на транскордонне управління річковими басейнами колективом авторів виконано роботу [7] для басейну р. Дніпро. Саме в межах останньої роботи вперше було виконано розрахунки навантаження біогенними та органічними речовинами для р. Тетерів.

Тетерів є правою притокою р. Дніпро, що протікає в межах Українського Полісся. Довжина р. Тетерів становить 385 км, площа басейну 15300 км². Річка має снігове та дощове живлення з вираженим водопіллям. В літню межінь значна частина річок басейну включно з верхів'ями р. Тетерів пересихають, що в цілому несприятливо впливає на загальний стан поверхневих вод.

Поверхневі води р. Тетерів є джерелом водозабору води та водовідведення комунальних та промислових стічних вод. В межах басейну р. Тетерів розташована Житомирська міська агломерація з загальною кількістю населення 587,2 тис. мешканців з містами обласного значення Житомир та Бердичів. Побудовані в басейні р. Тетерів водосховища створюють необхідні запаси води для потреб населення та інших об'єктів господарювання. Основний водозбір для потреб м. Житомир здійснюється з «Відсічного» водосховища (<http://www.zmuvg.gov.ua/index.html>). Економічне значення р. Тетерів досить велике - водні ресурси основної річки та її притоків використовуються для розвитку гідроенергетики, сільського господарства, водного туризму та рекреації. [3, 5].

Зважаючи на вищезазначені чинники, питання антропогенного навантаження органічними та біогенними речовинами поверхневих вод басейну р. Тетерів є важливим та актуальним з огляду на формування їх якості та визначає **мету** нашого дослідження.

Матеріали і методи дослідження. Для оцінки надходження біогенних елементів та органічних речовин від точкових джерел використовувалися дані звітності за формою 2-ТП Водгосп. Дані про ступінь підключення населення до комунальних очисних споруд запозичені із сайту The International Benchmarking Network (<https://www.ib-net.org/>). Паралельно, навантаження біогенними елементами та органічними речовинами визначали розрахунковим шляхом на підставі коефіцієнтів про емісію забруднюючих речовин від 1 людини, чисельності населення та ступеня утилізації окремих компонентів очисними спорудами [9].

Для аналізу дифузного надходження біогенних елементів була розроблена концептуальна модель, яка дозволяла врахувати основні шляхи їх надходження - від атмосферних опадів, з водним стоком від поверхонь з різним типом покриття (орні землі, ліси, луки і пасовища, населені пункти, виходи порід, водна поверхня), від населення сільських регіонів не облаштованих каналізацією. Вплив дифузних джерел оцінювався як сума від зазначених шляхів надходження біогенних елементів [6].

Результати та обговорення. Серед точкових джерел визначали окремо навантаження від комунальних та промислових підприємств. Згідно з даними звітності 2-ТП Водгосп, в межах суббасейну р. Тетерів розташовано 13 промислових підприємств та 22 комунальних підприємства, стічні води яких надходять до річок суббасейну р. Тетерів.

Забруднення поверхневих вод органічними речовинами та біогенними елементами від точкових джерел найбільшою мірою спричинене відведенням *комунальних* стічних вод населених пунктів, з якими до водної екосистеми надходять продукти життєдіяльності людини.

Всього в межах суббасейну р. Тетерів нараховується 937 населених пунктів. Тип

населених пунктів та еквівалент населення (ЕН) в межах суббасейну р. Тетерів представлено у табл. 1. Еквівалент навантаження встановлюється на підставі БСК₅ і дорівнює 60 мгО₂/добу.

Таблиця 1. Розподіл населення у басейні р. Тетерів між різними типами населених пунктів

Тип населеного пункту	Кількість у басейні	Еквівалент населення	% від загального населення у басейні
100 тис. – 1 млн. чол.	1	271303	29,0
10-100 тис. чол.	8	200501,4	21,4
2-10 тис. чол.	36	144226	15,4
< 2 тис. чол.	892	318937,4	34,1

Отримані дані свідчать, що в населених пунктах з ЕН менше 2 тис. осіб сконцентровано 34 % від загальної кількості населення, а в найбільшому населеному пункті - м. Житомир - проживає 29% загальної кількості населення на водозборі. Розподіл забруднення біогенними елементами та органічними речовинами за різними категоріями міст представлено на рис. 1.

Як видно з рисунку 1, міста з ЕН більше 100 тис. (м. Житомир) спричиняють найбільше навантаження на поверхневі води як органічними речовинами, так і біогенними елементами. Згідно проведених розрахунків, навантаження поверхневих вод органічними речовинами від населення, підключеного до каналізаційних систем становить 1122,7 т/рік за величиною БСК₅ та 1590,5 т/рік у вимірі ХСК. Для біогенних елементів величина надходження до поверхневих вод становила 355,1 т/рік для нітрогену та 122,7 т/рік для фосфору. За звітністю 2-ТП Водгосп, серед комунальних підприємств найбільше забруднення зазначеними речовинами спричинено стічними водами КП «Житомирводоканал», кількість яких становить до 80% від загальної.

Відповідно до розрахунків, наведених у [3] м. Житомир чинить дуже великий вплив на екосистему р. Тетерів, а концентрації фосфатних іонів нижче від міста збільшуються більше, ніж у 8 разів

Аналіз надходження органічних речовин з *промисловими* стічними водами, за даними 2-ТП Водгосп, показав, що до поверхневих вод р. Тетерів знаходить 26 т/рік органічних речовин за величиною БСК₅ та 110 т/рік за величиною ХСК. Серед промислових підприємств найбільше забруднення органічними речовинами спричинено Фабрикою банкотного паперу (м. Малин), зі стічними водами якої надходить до 77% від загальної їх кількості. Слід зауважити, що на даний час реєстр 2ТП-Водгосп містить інформацію лише про відведення мінеральних сполук нітрогену та фосфору. Згідно проаналізованих даних, загальне навантаження поверхневих вод біогенними елементами, що надходять з промисловими стоками, становить 166,5 т /рік сполук нітрогену та 18 т/рік сполук фосфору, серед яких 75% надходить, як і у випадку з органічними речовинами, зі стічними водами Малинської фабрики банкотного паперу.

Наведені дані, на нашу думку, свідчать про важливість вирішення проблеми органічного та біогенного забруднення р. Тетерів, переважно за рахунок зміни поглиблення ступеню очищення стічних вод [10].

За рахунок *населення не підключеного* до каналізаційних мереж. а це, передусім, сільське населення (населені пункти з ЕН < 2000) та частина міського, не облаштованого системами збору та відведення стічних вод усього надходить 3996 т/рік за виміром БСК₅ та 6793 т/рік за ХСК.

У сільських населених пунктах та невеликих містах стічні води відводяться у відстійники, облаштовані у землі, звідки забруднюючі речовини легко потрапляють у підземні води і транспортуються з ними у річкове русло. Отримані результати значно переважають загальну кількість забруднюючих речовин, що надходить від комунальних очисних споруд. Це виводить на перший план нагальну необхідність розвитку мереж збору та очищення стічних вод, впровадження альтернативних індивідуальних систем очищення стоків.

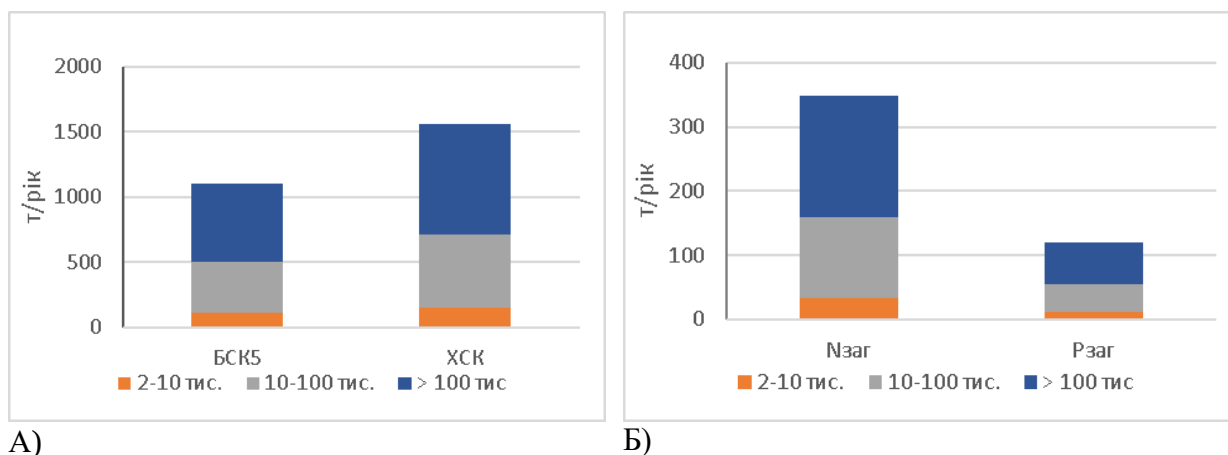


Рис.1. Навантаження органічними речовинами (А) та біогенними елементами (Б) від міських агломерацій різного типу

Що стосується загальних показників емісії біогенних елементів, то відповідно до проведених розрахунків всього за рік від сільського населення у басейн р. Тетерів надходить 388,9 т сполук нітрогену загального та 54,6 т фосфору загального.

Важливим чинником, що впливає на загальні показники дифузного надходження біогенних елементів до поверхневих вод є характер використання території. У басейні р. Тетерів відзначається істотна диспропорція між основними типами землекористування - більша частина басейну (до 70%) представлена сільськогосподарськими землями, до яких належать орні землі, луки, перелogi та пасовища). Це призводить до порушення ґрунтового покриву внаслідок оранки та значних надходжень до поверхневих вод органічних та поживних речовин через вимивання їх з водним стоком. Лісові насадження становлять 30% від загальної площі басейну р. Тетерів і сприяють зменшенню дифузного надходження біогенних елементів.

Узагальнені результати загальної емісії сполук нітрогену та фосфору за джерелами надходження представлено на рис. 2.

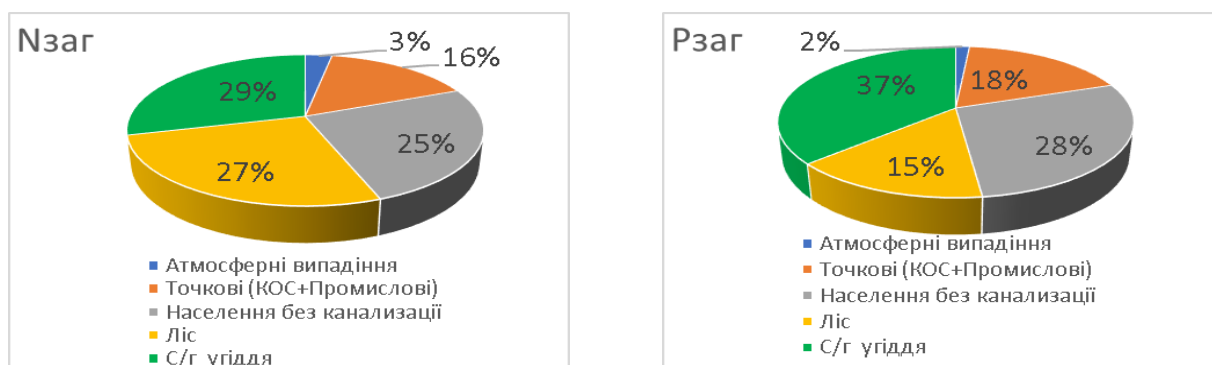


Рис. 2. Основні джерела емісії біогенних елементів до поверхневих вод р. Тетерів

Для поверхневих вод р. Тетерів емісія сполук нітрогену від земель сільськогосподарського призначення, лісових насаджень та від населення, не обладнаного каналізацією є величинами одного порядку - 25-29%. Вплив точкових джерел не перевищує 15%. Впливом решти джерел можна знехтувати. За джерелами надходження загальний стік Рzag розподіляється наступним чином: домінуюча частка надходить за рахунок ерозійного виносу із сільськогосподарських угідь – 37%, емісія від населення без каналізації - 28%.

Висновки. Найбільше навантаження органічними речовинами та біогенними елементами від міського населення спричинено містами з ЕН більше 100 тис.

Серед суб'єктів господарювання, згідно 2-ТП Водгосп, суттєве забруднення поверхневих вод р. Тетерів органічними речовинами та біогенними елементами спричиняють такі підприємства, як КП «Житомирводоканал» та Фабрика банкнотного паперу (м. Малин).

За дифузними джерелами надходження емісія нітрогену та фосфору в межах басейну р. Тетерів розподіляється наступним чином: сільськогосподарські угіддя відповідальні за формування 29% та 37% відповідно від загального емісійного потоку. На другому місці – надходження від населення не підключеного до каналізації – 25% для нітрогену і 28% для фосфору.

Список літератури

1. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України /За ред. В.К. Хільчевського та В.А. Сташука. К.: Ніка-Центр, 2013. 256 с.
2. Михайлов С.А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели. СО РАН, ГПНТБ ин-т водных и экологических проблем. Барнаул: День, 2000. 130 с.
3. Осадчий В.І., Осадча Н.М., Мостова Н.М. Вплив урбанізованих територій на формування хімічного складу поверхневих вод басейну Дніпра. Наукові праці УкрНДГМІ, вип. 250. К., 2002. С.242-261.
4. Осадча Н.М., Осійський Е.Й., Скоблєй М.П., Ухань О.О., Ярошевич О.Є. Аналіз основних антропогенних навантажень та їхніх впливів у районі річкового басейну Сіверського Дінця. 2018, 68 с.
5. Осадча Н.М., Осадчий В.І., Ухань О.О., Клебанов Д.О., Лузовіцька Ю.А., Білецька С.В. Антропогенне навантаження біогенними елементами на поверхневі води басейнів нижнього Дунаю, Дністра та Пруту. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. №3, 2019. С.77-78.
6. Осадча Н.М., Ухань О.О., Чехній В.М., Голубцов О.Г. Оцінка емісії біогенних елементів та органічних речовин у поверхневі води басейну р. Сіверський Донець від дифузних джерел. Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології. Монографія. К.: Ніка-центр, 2019. 329 с.
7. Технічний звіт EUWI+EASt-UA-14 «Розроблення плану управління басейну Дніпра в межах України: фаза 1, крок 2 - Аналіз антропогенного навантаження та його впливу, оцінка ризику, екологічні цілі для масивів поверхневих вод». Березень 2020. 132 с. <https://www.euwipluseast.eu/ru/component/k2/item/980-ukraine-dnipro-rbmp-report-risk-surface-water-ukr?fromsearch=1>
8. Behrendt H. and Opitz D. Retention of nutrients in river systems: Dependence on specific runoff and hydraulic load. Hydrobiologia 410, 2000. P.111–122.
9. Behrendt H., Huber P., Kornmilch M., Opitz D., Schmoll O., Scholz G. and Uebe R. Nutrient emissions into river basins of Germany. UBA-Texte 23/00, 2000. 266 p.
10. Directive 91/271/EEC concerning urban waste water treatment.
11. Pöthig, R., Behrendt, H., Opitz, D., Furrer, G. A universal method to assess the potential of phosphorus loss from soil to aquatic ecosystems. Environmental Science and Pollution Research 17(2), 2010 P.497-504.

References

1. Hidrohimichniy rezhim i yakist poverhnevih vod baseynu Dnistra na teritorii Ukraini [Hydrochemical regime and surface water quality of the Dnister basin on the territory of Ukraine]/ Za red. V.K. Khil'chevskogo ta V.A. Stashuka. K.: Nika-Tsentr, 2013. 256 s.
2. Mikhaylov S.A. Diffuznoye zahryazneniye vodnyh ekosistem. Metody otsenki i matematicheskiye modeli [Diffuse pollution of aquatic ecosystems. Assessment methods and mathematical models]. SO RAN, GPNTB In-t vodnyh i ekologicheskikh problem. Barnaul: Den', 2000. 130 s.
3. Osadchyy V.I., Osadcha N.M., Mostova N.M. Vplyv urbanizovanykh terytoriy na formuvannya himichnoho skladu poverhnevyykh vod baseynu Dnipra [Influence of urbanized territories on the formation of the chemical composition of surface waters of the Dnieper basin]. Naukovi pratsi UkrNDHMI, № 250. K., 2002. S.242-261.
4. Osadcha N.M., Osiyskyy E.Y., Skobley M.P., Ukhan O.O., Yaroshevych O.Y. Analiz osnovnykh antropohennykh navantazhen ta yikhnikh vplyviv u rayoni richkovoho baseynu Siverskoho Dintsya [Analysis of the main anthropogenic loads and their impacts of the Seversky Donets river basin]. 2018, 68 s.
5. Osadcha N.M., Osadchyy V.I., Ukhan O.O., Klebanov D.O., Luzovitska Y.A., Biletska S.V. Antropohenne navantazhennya bioghennymi elementami na poverkhnevi vody baseyniv nyzhn'oho Dunayu, Dnistra ta Prutu [Anthropogenic load of nutrients on the surface waters of the lower Danube, Dnister and Prut basins]. Hidrolohiya, hidrokimiya i hidroekolojiya. №3, 2019. S.77-78.
6. Osadcha N.M., Ukhan O.O., Chekhniy V.M., Holubtsov O.H. Otsinka emisiyi bioghennykh elementiv ta orhanichnykh rehovyn u poverkhnevi vody baseynu r. Siverskyy Donets vid dyfuznykh dzherel [Estimation of emission of nutrients and organic substances in surface waters of the Seversky Donets basin]

from diffuse sources] Problemy hidrolohiyi, hidrokhimiyi, hidroekolohiyi. Monohrafiya. K.: Nika-tsent, 2019. 329 s.

7. Tekhnichnyy zvit EUWI+EA-14 «Rozroblennya planu upravlinnya baseynu Dnipra v mezhakh Ukrainy: faza 1, krok 2 - Analiz antropohennoho navantazhennya ta yoho vplyvu, otsinka ryzyku, ekolohichni tsili dlya masyviv poverkhnevyykh vod» [Development of the Dnipro Basin Management Plan within Ukraine: Phase 1, Step 2 - Analysis of Anthropogenic Load and Its Impact, Risk Assessment, Environmental Objectives for Surface Water Bodies]. Berezen 2020. 132 s. <https://www.euwipluseast.eu/ru/component/k2/item/980-ukraine-dnipro-rbmp-report-risk-surface-water-ukr?fromsearch=1>

8. Behrendt H. and Opitz D. Retention of nutrients in river systems: Dependence on specific runoff and hydraulic load. Hydrobiologia 410, 2000. P.111–122

9. Behrendt H., Huber P., Kornmilch M., Opitz D., Schmoll O., Scholz G. and Uebe R. Nutrient emissions into river basins of Germany. UBA-Texte 23/00, 2000. 266 P.

10. Directive 91/271/EEC concerning urban waste water treatment.

11. Pöthig, R., Behrendt, H., Opitz, D., Furrer, G. A universal method to assess the potential of phosphorus loss from soil to aquatic ecosystems. Environmental Science and Pollution Research 17(2), 2010 P.497-504.

Оценка антропогенной нагрузки биогенными элементами и органическими веществами в бассейне р. Тетерев

Ухань О.А., Осадчая Н.Н.

Увеличение органических веществ и биогенных элементов (соединений азота и фосфора) в поверхностных водах приводит к значительному ухудшению ее качества. В данной работе представлены основные пути поступления биогенных элементов и органических веществ в р. Тетерев.

Показано, что среди точечных источников наибольшее загрязнение биогенными элементами и органическими веществами вызвано влиянием городского населения. Диффузное загрязнение реки органическими соединениями происходит за счет домохозяйств преимущественно сельского населения, неподключенных к канализационным сетям. Проведенные расчеты показывают, что для биогенных элементов основные эмиссионные потоки поступают за счет пашенных земель.

Ключевые слова: биогенные элементы; органические вещества; точечные и диффузные источники.

Assessment of anthropogenic impact on the Teteriv river by nutrients and organic substances

Ukhan O.O., Osadcha N.N.

Human economic activities carried out within river basins often lead to the deterioration of the general condition of water bodies.

The main danger of excessive amounts of organic substances is the consumption of oxygen dissolved in water for their oxidation. As a result, conditions of oxygen deficiency occur in polluted waters until hypoxia processes. It leads to significant disruptions of biological groups, including the death of certain species. The entry of nutrients into surface water is the driving force of eutrophication. As a result, it leads to increasing in primary production and accumulation of organic substances in the water object. Phosphorus and nitrogen compounds play a dominant role among nutrients.

According to the nature of the inflow of substances, point sources and diffuse sources are distinguished. The first one includes stationary water discharges. The second are represented by runoff from rural settlements and runoff from agricultural lands and built-up areas.

The main ways of supply of biogenic elements and organic substances to the Teteriv basin are presented in the article.

As point sources, the loads from communal services and industrial enterprises were determined separately. According to the reporting data of 2-TP Vodhosp, there are 13 industrial enterprises and 22 communal enterprises, the wastewater of which enters the Teteriv River.

To analyze the diffuse inflow of nutrients the main ways of their inflow were used- from precipitation, water runoff from different types of cover (arable land, forests, meadows and pastures, settlements, rock outcrops, water surface), from the rural population.

The Teteriv river is a right tributary of the Dnipro and the main source of water intake and drainage of municipal and industrial wastewater in Ukrainian Polissya. Zhytomyr city agglomeration with a total population of 587.2 thousand pers. with cities of regional significance Zhytomyr and Berdychiv are within the basin of the Teteriv. Reservoirs built in the basin create the necessary water reserves for the needs of the population and other facilities.

It has been shown that among the point sources the main pollution is caused by the urban population. Significant pollution of the Teteriv River with organic substances and nutrients is caused by KP Zhytomyrvodokanal and Banknote Paper Factory (Malyn city).

It is revealed that the main source of organic compounds is the households mostly of the rural population, which are not equipped with sewage. For nitrogen and phosphorus, the main source of emissions is an arable land.

Keywords: nutrients; organic substances; point and diffuse sources.

Надійшла до редколегії 20.01.2021