

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра гідрології та гідроекології

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія

Періодичний науковий збірник
Том 1 (44)

Київ
2017

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ:

Наук. збірник / Гол. редактор В.К. Хільчевський. – 2017. – Т. 1 (44). – 146 с.

HIDROLOHIIA, HIDROKHIIMIIA I HIDROEKOLOHIIA:

The scientific collection / The editor-in-chief Valentyn Khilchevskiy. – 2017. – Т. 1(44). – 146 p.

У збірнику вміщено статті, в яких викладено методичні розробки, а також результати теоретичних та прикладних гідрологічних, гіdroхімічних і гідроекологічних досліджень, що виконано в різних установах України.

- Науковий збірник “Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія” засновано у травні 2000 р.
- Зареєстровано Міністерством юстиції України 8 жовтня 2009 р. (наказ № 1806/5).
- Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 15819-4291Р від 8 жовтня 2009 р.
- Наказом Міністерства освіти і науки України № 515 від 16.05.2016 р. включено до переліку наукових фахових видань України за галуззю «Географічні науки».
- **Засновник:** Київський національний університет імені Тараса Шевченка.
- Виходить чотири рази на рік.

*Рекомендовано до друку Вченою радою
географічного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
(10 квітня 2017 р., протокол № 4)*

Адреса видавця та редколегії:

МСП 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 64,
географічний факультет Київського національного університету
імені Тараса Шевченка,
кафедра гідрології та гідроекології,
Лук'янець Ользі Іванівні (з позначкою “Науковий збірник”).

Телефон редколегії: (044) 521-32-29.

E-mail: gidrolog@niv.kiev.ua

luko15_06@ukr.net

ISSN:2306-5680

© Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2017

Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia. – 2017. – Т.1(44)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Хільчевський В. К., доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка (головний редактор)*;

Гребінь В. В., доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка (заступник головного редактора)*;

Гандзюра В. П., доктор біологічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*;

Гопченко Є. Д., доктор географічних наук, *Одеський державний екологічний університет*;

Линник П. М., доктор хімічних наук, *Інститут гідробіології НАН України*;

Ободовський О. Г., доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*;

Осадчий В. І., доктор географічних наук, член-кореспондент НАН України, *Український гідрометеорологічний інститут*;

Осадча Н.М., доктор географічних наук, *Український гідрометеорологічний інститут*;

Самойленко В. М., доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*;

Сніжко С. І., доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*;

Тімченко В. М., доктор географічних наук, *Інститут гідробіології НАН України*;

Цюпа Тадеуш, доктор габілітований, *Інститут географії Університету Яна Кохановського в Кельцах (Польща)*;

Шищенко П. Г., доктор географічних наук, член-кореспондент НАПН України, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*;

Щербак В. І., доктор біологічних наук, *Інститут гідробіології НАН України*;

Лук'янець О. І., кандидат географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка (відповідальний секретар)*.

З М І С Т

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Хільчевський В.К., Гребінь В.В.

Гідрографічне та водогосподарське районування території України, затверджене у 2016 р. – реалізація положень ВРД ЄС..... 8

Васенко А.Г., Коробкова А. В., Рыбалова О.В.

Экологическое нормирование качества поверхностных вод с учетом региональных особенностей 21

Онищук В.В.

Розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса для оцінки гідро морфологічного стану русло-заплавного комплексу..... 33

ГІДРОЛОГІЯ. ВОДНІ РЕСУРСИ

Ободовський Ю.О., Ободовський О.Г., Хільчевський В.К., Данько К.Ю.

Відповідність загального гідроенергетичного потенціалу типам русел річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України)..... 49

ГІДРОХІМІЯ. ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Бабій П.О., Гребінь В.В., Хільчевський В.К.

Характеристика хімічного складу води річки Рось (за даними моніторингу басейнового управління водних ресурсів) 62

Скоблей М.П., Линник П.М., Жежеря В.А.

Концентрації важких металів у складі завислих речовин річок басейну Тиси..... 75

Лузовіцька Ю.А., Осадча Н.М., Артеменко В.А.

Аналіз чинників формування біогенного складу води річки Десна за допомогою сумарних та різницевих інтегральних кривих 85

Лета В.В.

Гідрохімічний стан річки Тиса на ділянці українсько-румунського кордону..... 95

Осипов В.В., Осадчая Н.Н.

Применение модели SWAT для моделирования стока нитратных соединений рек лесостепной зоны Украины..... 104

ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Затула В.І., Затула Н.І.

Виявлення прихованих періодичностей сезонних коливань метеорологічних величин на території Житомирського Полісся..... 114

Ошурок Д.О.

Кліматологічна оцінка вітроенергетичних ресурсів обмежених територій..... 120

НАУКОВІ ПОВІДОМЛЕННЯ

Анахов П. В.

Сейшовий механізм формування руху водних мас	131
--	-----

НАУКОВА ІНФОРМАЦІЯ

Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р.

Перший Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд (Одеса – 2017): пріоритети та перспективи гідрометеорологічної діяльності.....	136
---	-----

Порядок подання і оформлення статей до періодичного наукового збірника “Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія”	144
---	-----

CONTENTS

THE GENERAL METHODS ASPECTS OF INVESTIGATION

Khilchevskiy V., Grebin' V

Hydrographic and hydroeconomic zoning of Ukraine's territory, approved in 2016 - implementation of the WFD provisions..... 8

Vasenko A., Korobkova G., Rybalova O.

Environmental regulation of surface water quality in view regional features..... 21

Onischuk V.

Solving the system of Navier-Stokes equations for estimation of hydromorphological state flood - channel complex..... 33

HYDROLOGY. WATER RESOURCES

Obodovskiy Iu., Obodovskiy O., Khilchevskiy V., Danko K.

Conformity of the total hydropower potential with the types of beds of the rivers in upper basin of Tisza river (within Ukraine)..... 49

HYDROCHEMISTRY. HYDROEKOLOGY

Babiy P., Grebin' V., Khilchevskiy V.

Characteristics of the water chemical composition in river Ros (according to the basin water resources management monitoring)..... 62

Scobley M.P., Linnik P.M., Zhezhera V.A.

Concentrations of heavy metals in the suspended solids of the Tisza river basin 75

Luzovitska Yu. A., Osadcha N. M., Aremenko V. A.

Analysis of the factors of formation of the biogenic composition of the Desna River water by means of the total curves and difference integral curves..... 85

Leta V.

Hydrochemical state of the river Tisa on the part of the Ukrainian-Romanian border..... 95

Osypov V.V., Osadcha N.N.

SWAT Model Application for Simulating Nitrate Emission for the Rivers of the Forest-steppe Zone of Ukraine..... 104

GEOGRAPHICAL ASPECTS OF HYDROLOGICAL RESEARCH

Zatula V.I., Zatula N.I.

Identifying of the hidden periodicities of seasonal oscillations of meteorological values on the territory of Zhytomyr Polissya..... 114

Oshurok D.O.

Climatological assessment of wind resources in limited areas..... 120

SCIENTIFIC REPORTS

Anakhov P. V.

Seiche mechanism of water mass movement	131
---	-----

SCIENTIFIC INFORMATION

Khilchevskyi V., Zabokrytska M.

First Ukrainian hydrometeorological congress (Odessa, 2017): priorities and prospects of the hydrometeorological activity.....	136
--	-----

The presenting and official registration of the articles for the scientific periodical collection «Hydrology, hydrochemistry and hydroecology».....	144
---	-----

УДК 556.012:556.51

Хільчевський В.К., Гребінь В.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ГІДРОГРАФІЧНЕ ТА ВОДОГОСПОДАРСЬКЕ РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ, ЗАТВЕРДЖЕНЕ У 2016 р. – РЕАЛІЗАЦІЯ ПОЛОЖЕНЬ ВРД ЄС

Ключові слова: *гідрографічне та водогосподарське районування, район басейну річки, суббасейн, водогосподарська ділянка*

Вступ. Підписання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом (ЄС) та його державами-членами з іншої, що відбулося 21.03.2014 р. (ч. I) та 27.06.2014 р. (ч. II), відкриває нові можливості та створює нові стандарти у різних сферах суспільного життя, включаючи сферу охорони довкілля. Для України в галузі охорони довкілля впровадження законодавства ЄС відбувається в межах восьми секторів, що регламентуються 29 джерелами права (директивами та регламентами) ЄС у цій сфері. Директиви і регламенти встановлюють загальні правила та стандарти, які повинні бути транспоновані (перенесені) до внутрішньодержавного права. Ці правила і стандарти не є предметом обговорення і мають бути досягнуті повністю, інакше передбачено штрафні санкції. На відміну від сучасного природоохоронного законодавства України, яке у багатьох аспектах є декларативним, джерела права ЄС визначають кількісні та якісні показники, яких треба досягти кожній країні протягом визначеного періоду часу. Особливістю Директив ЄС є те, що держави повинні адаптувати своє законодавство для досягнення цілей, визначених Директивами, але при цьому самі визначають методи їх досягнення [19].

У додатку XXX Угоди про асоціацію виділено наступні сектори, що стосуються охорони довкілля: 1) управління довкіллям та інтеграція екологічної політики у інші галузеві політики; 2). якість атмосферного повітря; 3). управління відходами та ресурсами; 4). якість води та управління водними ресурсами, включаючи морське середовище; 5). охорона природи; 6). промислове забруднення та техногенні загрози; 7). зміна клімату та захист озонового шару; 8). генетично модифіковані організми.

Європейський Союз здійснює підтримку в реалізації завдань, що стоять перед кожним з вищеназваних секторів, фінансуючи з 2012 р. в Україні проект технічної допомоги, який називається «Додаткова підтримка Міністерства екології та природних ресурсів України у впровадженні секторальної бюджетної підтримки».

Водні директиви Європейського Союзу. Питання, що стосуються сектору «Якість води та управління водними ресурсами», в Європейському Союзі регламентується 6-ма основними водними директивами: 1). *Водною рамковою директивою* (повна назва - Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2000 р. про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики); 2). *Паводковою директивою* (Директива 2007/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2007 р. про оцінку і управління ризиками затоплення); 3). *Рамковою директивою про морську стратегію* (Директива 2008/56/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 17 червня 2008 р. про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері екологічної політики

Гідрологія, гідрохімія і екологія. – 2017. – Т.1(44)

щодо морського середовища); 4). *Директивою про очищення міських стічних вод* (Директива Ради 91/271/ЄЕС від 21 травня 1991 року про очищення міських стічних вод); 5). *Директивою про питну воду* (Директива Ради 98/83/ЄС від 3 листопада 1998 р. про якість води, призначеної для споживання людиною); 6). *Директивою про нітрати* (Директива Ради 91/676/ЄЕС від 12 грудня 1991 р. про захист вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел) [1, 15, 19].

Базовим принципом Водної рамкової директиви ЄС є визнання району річкового басейну основною гідрографічною одиницею управління водними ресурсами - як цілісного природного гідрографічного об'єкту, який не може обмежуватися адміністративними чи державними кордонами. Управління виділеним річковим басейном здійснюється на основі «Плану управління річковим басейном», який містить аналіз стану басейну і чітку програму заходів для досягнення у встановлені терміни основної мети – доброго стану водних об'єктів, як поверхневих, так і підземних, що містяться на його території [1].

Імплементація в Україні водних директив Європейського Союзу. Стосовно питань якості води та управління водними ресурсами в Україні проводиться значна робота щодо імплементації водних директив ЄС. Сформовано також керівний Комітет з проведення Національного діалогу про водну політику. Розроблено графік досягнення цілей по кожній з директив, у якому вказано строки реалізації тих чи інших завдань. Для прикладу приведемо графік досягнення цілей в Україні по Водній рамковій директиві: 1). 3 роки - на прийняття національного законодавства та визначення уповноваженого органу, закріплення на законодавчому рівні визначення одиниці гідрографічного районування території країни, розроблення положення про басейнове управління з покладанням на нього відповідних функцій; 2). 6 років - на визначення районів річкових басейнів та створення механізмів управління міжнародними річками, озерами та прибережними водами, аналіз характеристик районів річкових басейнів, запровадження програм моніторингу якості води; 3). 10 років – на підготовку планів управління басейнами річок, проведення консультацій з громадськістю та публікація цих планів [19].

Центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища (зокрема і охорони водних ресурсів) є Міністерство екології та природних ресурсів України (Мінприроди України). Реалізацією державної політики у сфері управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів опікується Державне агентство водних ресурсів України (Держводагентство України). Держводагентство України є центральним органом виконавчої влади, діяльність якого спрямовує і координує Кабінет Міністрів України через Мінприроди України. Важливим напрямом діяльності цих відомств є адаптація нормативної бази в Україні до європейських вимог через підготовку разом з громадськістю пропозицій щодо змін у національному законодавстві.

4 жовтня 2016 р. Верховна Рада України прийняла Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» (№ 1641-VIII), який вніс низку змін у Водний кодекс України (1995 р.), направлених на впровадження положень Водної рамкової директиви Європейського Союзу (2000/60/ЄС) у практику управління водними ресурсами держави [1, 2, 7].

Для реалізації можливостей цього закону необхідно підготувати ще низку підзаконних актів, які конкретизують алгоритми дій на практиці. Зокрема, станом на 1 квітня 2017 р., наказами Мінприроди України вже затверджено п'ять документів: «Назви суббасейнів та водогосподарських ділянок у межах районів річкових басейнів»; «Порядок розроблення водогосподарських балансів»; «Типове положення про басейнові ради»; «Перелік забруднюючих речовин для визначення

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

хімічного стану масивів поверхневих і підземних вод та екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод»; «Про затвердження меж районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок» [9, 11, 13, 14, 16].

Треба зазначити, що прийняття закону № 1641-VIII від 04.10.2016 р. [7] стало підсумком певного етапу діяльності українських фахівців (вчених і практиків), який розпочався ще задовго до підписання Угоди про асоціацію. З початку 2000-х років в Україні виконувалася низка міжнародних проектів за фінансування ЄС або окремих європейських країн з управління водними ресурсами в басейнах транскордонних річок (Західного Бугу, Латориці, Дніпра, Прип'яті, Тиси, Дністра), а також Південного Бугу. Згодом, деякі з них завершувалися розробкою пілотних планів управління районом річкового басейну або суббасейну (р. Тиса, 2012; р. Південний Буг, 2014) [10, 12, 17].

Значна увага приділялася розробці методичних питань гідрографічного районування згідно вимог ВРД ЄС [3, 4]. Було опубліковано «Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу», розроблені вченими Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Вінницького національного політехнічного університету та фахівцями Державного агентства водних ресурсів України [8]. Авторами «Методик...» у 2013 р. було розроблено схему гідрографічного районування, що передбачає виділення 9-и районів річкових басейнів на території України як основних гідрографічних одиниць (райони басейнів: р. Дніпро, р. Дністер, р. Дунай, р. Південний Буг, р. Дон, р. Вісла, річок Криму, річок Причорномор'я, річок Приазов'я) Цю схему з «Методик...» [8] і було затверджено на законодавчому рівні у 2016 р. та введено до Водного кодексу України (стаття 13¹) [2, 7].

В останній період виконано низку досліджень гідрографічної мережі басейнів деяких річок України із застосуванням положень ВРД ЄС [5, 6, 18].

Нові терміни, які увійшли до Водного кодексу України. Стаття 1 Водного кодексу України після прийняття закону № 1641-VIII від 04.10.2016 р. поповнилася низкою нових нормативних термінів, характерних для ВРД ЄС. Ось перелік нових термінів: *басейновий принцип управління, водогосподарська ділянка, водогосподарське районування, водогосподарські системи, гідрографічне районування, евтрофікація, екологічна витрата, екологічний стан масиву поверхневих вод, істотно змінений масив поверхневих вод, кількісний стан масиву підземних вод, лиман, масив поверхневих вод, масив підземних вод, перерозподіл водних ресурсів, перехідні води, план управління річковим басейном, план управління ризиками затоплення, прибережні води, район річкового басейну, річковий басейн (водозбір), суббасейн, хімічний стан масиву поверхневих вод, хімічний стан масиву підземних вод, штучний масив поверхневих вод* [2].

Базовий термін - «басейновий принцип управління» передбачає комплексне (інтегроване) управління водними ресурсами в межах району річкового басейну. У свою чергу, *район річкового басейну* - головна одиниця управління у галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів, що складається з річкового басейну (сусідніх річкових басейнів) та пов'язаних з ними прибережних і підземних вод. Район річкового басейну може поділятися на дрібніші одиниці - суббасейни. *Суббасейн* - частина річкового басейну, стік води з якої через пов'язані водойми і водотоки здійснюється до головної річки басейну або водогосподарської ділянки нижче за течією. *Водогосподарська ділянка* - частина річкового басейну, для якої розробляються водогосподарські баланси, встановлюються ліміти забору води із водного об'єкта та інші параметри використання водного об'єкта (водокористування).

Передбачено розробку плану управління річковим басейном - документу, що містить аналіз стану та комплекс заходів для досягнення цілей, визначених для кожного району річкового басейну у встановлені строки. Плани управління річковими басейнами та порядок їх розроблення затверджуються Кабінетом Міністрів України кожні шість років [2]. Поряд з цим, у Водному кодексі України залишається таке нормативне поняття, як схема використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів - передпроектний документ, що визначає основні водогосподарські та інші заходи, які підлягають здійсненню для задоволення перспективних потреб у воді населення і галузей економіки, а також для охорони вод або запобігання їх шкідливим діям.

Перехід на інтегроване управління водними ресурсами і плани управління річковими басейнами мають включати і питання очищення стічних вод, санітарного стану водозбірної території, захист від забруднення нітратами, що змиваються з сільськогосподарських угідь, питання оцінки та управління ризиками затоплення під час паводків та захисту населених пунктів.

Гідрографічне та водогосподарське районування. Одним з ключових аспектів прийняття Закону № 1641-VIII від 4 жовтня 2016 р. стало затвердження гідрографічного та водогосподарського районування території України. Гідрографічне районування - поділ території України на гідрографічні одиниці, який здійснюється для розроблення та впровадження планів управління річковими басейнами. Водогосподарське районування - розподіл гідрографічних одиниць на водогосподарські ділянки, який здійснюється для розроблення водогосподарських балансів.

У статті 13¹ Водного кодексу України визначено, що основною гідрографічною одиницею є район річкового басейну. В Україні встановлено 9-ть районів річкових басейнів: *район басейну річки Дніпро; район басейну річки Дністер; район басейну річки Дунай; район басейну річки Південний Буг; район басейну річки Дон; район басейну річки Вісла; район басейну річок Криму; район басейну річок Причорномор'я; район басейну річок Приазов'я* (рис. 1).

Законодавчо передбачено, що у межах встановлених районів річкових басейнів центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища, може виділяти суббасейни. На сьогодні органом, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища є Міністерство екології та природних ресурсів України (Мінприроди України). Згідно наказу Мінприроди України № 25 від 26.01.2017 р. у межах 4-х районів річкових басейнів на території України було виділено 13 суббасейнів (р. Дніпро – 5-ть суббасейнів, р. Дунай – 4-и суббасейни, р. Дон – 2-а суббасейни, р. Вісла – 2-а суббасейни) [9].

Виділено наступні суббасейни: 1). район басейну річки Дніпро – суббасейни Верхнього Дніпра; Середнього Дніпра; Нижнього Дніпра; р. Прип'ять; р. Десна; 2). район басейну річки Дунай - суббасейни р. Тиса; р. Прут; р. Сірет; Нижнього Дунаю; 3). район басейну річки Дон - суббасейни р. Сіверський Донець; Нижнього Дону; 4). район басейну річки Вісла - суббасейни р. Західний Буг; р. Сан (табл. 1).

Мінприроди України затверджує межі районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок. Водогосподарські ділянки виділяються у межах районів річкових басейнів з урахуванням басейнового принципу управління, адміністративно-територіального устрою, фізико-географічних умов та господарської діяльності. Згідно наказу Мінприроди України № 25 від 26.01.2017 р. [9] виділено 132 водогосподарські ділянки в межах 5-и районів річкових басейнів та 13 суббасейнів, що належать до 4-х районів річкових басейнів (табл. 2).

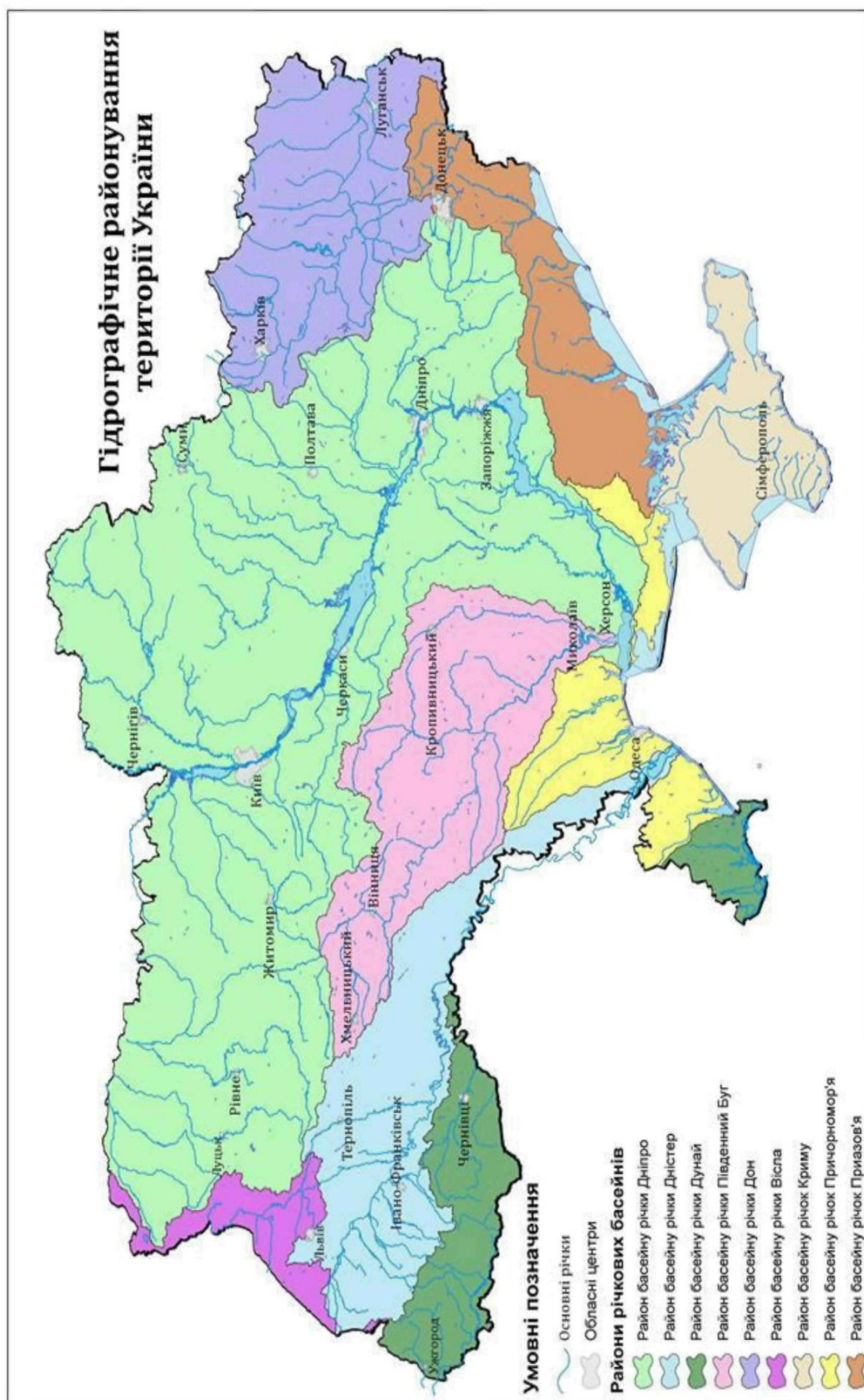


Рис. Картоschema гідрографічного районування території України за районами річкових басейнів (Дніпро, Дністер, Дунай, Південний Буг, Дон, Вісла, річки Криму, річки Причорномор'я, річки Приазов'я), розробленого у 2013 р. [8], затвердженого у 2016 р. [2, 7]

Таблиця 1. Перелік районів річкових басейнів, суббасейнів та кількість водогосподарських ділянок згідно гідрографічного районування території України 2016 р.

№ за/п	Назва району басейну річки (РРБ)	№ за/п	Назва суббасейну	Кількість водогосподарських ділянок у суббасейні (у РРБ)
1.	Район басейну річки Дніпро	1.	Суббасейн Верхнього Дніпра	1
		2.	Суббасейн Середнього Дніпра	23
		3.	Суббасейн Нижнього Дніпра	15
		4.	Суббасейн річки Прип'ять	13
		5.	Суббасейн річки Десна	7 (всього у РРБ - 59)
2.	Район басейну річки Дністер			12
3	Район басейну річки Дунай	1.	Суббасейн річки Тиса	3
		2.	Суббасейн річки Прут	1
		3.	Суббасейн річки Сірет	1
		4.	Суббасейн Нижнього Дунаю	3 (всього у РРБ - 8)
4.	Район басейну річки Південний Буг			11
5.	Район басейну річки Дон	1.	Суббасейн річки Сіверський Донець	19
		2.	Суббасейн Нижнього Дону	1 (всього у РРБ - 20)
6.	Район басейну річки Вісла	1.	Суббасейн річки Західний Буг	2
		2.	Суббасейн річки Сан	1 (всього у РРБ - 3)
7.	Район басейну річок Криму			8
8.	Район басейну річок Причорномор'я			4
9.	Район басейну річок Приазов'я			7
Всього	9		13	132

А наказом Мінприроди України № 103 від 03.03.2017 р. [14] затверджено межі районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок. У додатках до наказу Мінприроди України № 103 містяться картосхеми та переліки населених пунктів, по яких проходять межі районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок. З метою забезпечення складання державного водного кадастру за розділом «Водокористування» здійснюється кодування районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок (див. примітку під табл. 2).

Таблиця 2. Перелік водогосподарських ділянок у межах районів річкових басейнів та суббасейнів згідно гідрографічного районування території України 2016 р. [9]

Код*	Назви суббасейнів та водогосподарських ділянок у межах районів річкових басейнів
M5.1	1. Район басейну річки Дніпро
M5.1.1	Суббасейн Верхнього Дніпра
	Водогосподарські ділянки:
M5.1.1.01	р. Дніпро від державного кордону до початку Київського водосховища (включаючи р. Сож у межах України)
M5.1.2	Суббасейн Середнього Дніпра
	Водогосподарські ділянки:
M5.1.2.02	Київське водосховище (включаючи р. Брагінка у межах України, виключаючи рр. Прип'ять, Тетерів, Ірпінь)
M5.1.2.03	р. Дніпро від греблі Київського водосховища до греблі Канівського водосховища (виключаючи рр. Десна, Трубіж)
M5.1.2.04	р. Дніпро від греблі Канівського водосховища до греблі Кременчуцького водосховища (виключаючи рр. Рось, Супій, Сула, Тясмин)
M5.1.2.05	р. Тетерів від витoku до гідропоста Житомир
M5.1.2.06	р. Тетерів від гідро поста Житомир до гирла р. Ірша (включаючи р. Ірша)
M5.1.2.07	р. Тетерів від гирла р. Ірша до гирла
M5.1.2.08	р. Ірпінь
M5.1.2.09	р. Трубіж
M5.1.2.10	р. Рось від витoku до кордону Київської та Черкаської областей
M5.1.2.11	р. Рось від кордону Київської та Черкаської областей до гирла
M5.1.2.12	р. Супій
M5.1.2.13	р. Сула від витoku до кордону Сумської та Полтавської областей
M5.1.2.14	р. Сула від кордону Сумської та Полтавської областей до гідропоста Лубни (виключаючи р. Удай)
M5.1.2.15	р. Сула від гідропоста Лубни до гирла
M5.1.2.16	р. Удай
M5.1.2.17	р. Тясмин
M5.1.2.18	р. Псел від державного кордону до кордону Сумської та Полтавської областей
M5.1.2.19	р. Псел від кордону Сумської та Полтавської областей до гирла р. Хорол
M5.1.2.20	р. Псел від гирла р. Хорол до гирла (виключаючи р. Хорол)
M5.1.2.21	р. Хорол
M5.1.2.22	р. Ворскла від державного кордону до кордону Сумської та Полтавської областей
M5.1.2.23	р. Ворскла від кордону Сумської та Полтавської областей до гирла
M5.1.2.24	р. Дніпро від греблі Кременчуцького водосховища до греблі Дніпродзержинського водосховища
M5.1.3	Суббасейн Нижнього Дніпра
	Водогосподарські ділянки:
M5.1.3.25	р. Дніпро від греблі Дніпродзержинського водосховища до греблі Дніпровського водосховища (виключаючи рр. Оріль, Самара)
M5.1.3.26	р. Дніпро від греблі Дніпровського водосховища до греблі Каховського водосховища
M5.1.3.27	р. Дніпро від греблі Каховського водосховища до гирла (виключаючи р. Інгулець)
M5.1.3.28	р. Оріль від витoku до кордону Харківської та Дніпропетровської областей
M5.1.3.29	р. Оріль від кордону Харківської та Дніпропетровської областей до гирла
M5.1.3.30	р. Самара від витoku до гирла р. Вовча
M5.1.3.31	р. Самара від гирла р. Вовча до гирла (виключаючи р. Вовча)
M5.1.3.32	р. Вовча (виключаючи рр. Мокрі Яли, Гайчур)
M5.1.3.33	р. Мокрі Яли

M5.1.3.34	р. Гайчур
M5.1.3.35	р. Інгулець від витoku до кордону Кіровоградської та Дніпропетровської областей
M5.1.3.36	р. Інгулець від кордону Кіровоградської та Дніпропетровської областей до кордону Дніпропетровської та Херсонської областей (виключаючи р. Саксагань)
M5.1.3.37	р. Інгулець від кордону Дніпропетровської та Херсонської областей до гирла
M5.1.3.38	р. Саксагань
M5.1.3.39	Дніпровський лиман
M5.1.4	Суббасейн річки Прип'ять
	Водогосподарські ділянки:
M5.1.4.40	р. Прип'ять від витoku до державного кордону
M5.1.4.41	р. Прип'ять від г/п Мозир до гирла (в межах України)
M5.1.4.42	р. Стир від витoku до кордону Рівненської та Волинської областей
M5.1.4.43	р. Стир у межах Волинської області
M5.1.4.44	р. Стир від кордону Волинської та Рівненської областей до державного кордону
M5.1.4.45	р. Горинь від витoku до кордону Хмельницької та Рівненської областей
M5.1.4.46	р. Горинь від кордону Хмельницької та Рівненської областей до державного кордону (виключаючи р. Случ)
M5.1.4.47	р. Случ від витoku до гирла р. Хомора (включаючи р. Хомора)
M5.1.4.48	р. Случ від гирла р. Хомора до гирла р. Корчик (включаючи р. Корчик)
M5.1.4.49	р. Случ від гирла р. Корчик до гирла
M5.1.4.50	р. Ствига
M5.1.4.51	р. Уборть від витoku до державного кордону
M5.1.4.52	р. Уж
M5.1.5	Суббасейн річки Десна
	Водогосподарські ділянки:
M5.1.5.53	р. Десна від державного кордону до гирла р. Сейм
M5.1.5.54	р. Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернігів (виключаючи рр. Сейм, Снов)
M5.1.5.55	р. Десна від гідропоста Чернігів до гирла (виключаючи р. Остер)
M5.1.5.56	р. Сейм від державного кордону до гідропоста Мути́н
M5.1.5.57	р. Сейм від гідропоста Мути́н до гирла
M5.1.5.58	р. Снов
M5.1.5.59	р. Остер
M5.2	2. Район басейну річки Дністер
	Водогосподарські ділянки:
M5.2.0.01	р. Дністер від витoku до гирла р. Стрий
M5.2.0.02	р. Стрий
M5.2.0.03	р. Дністер від гирла р. Стрий до гирла р. Гни́ла Липа
M5.2.0.04	р. Дністер від гирла р. Гни́ла Липа до гирла р. Серет (включаючи р. Гни́ла Липа та виключаючи річки Бистриця, Серет)
M5.2.0.05	р. Бистриця
M5.2.0.06	р. Серет
M5.2.0.07	р. Дністер від гирла р. Серет до гідропоста Могилів-Подільський (виключаючи р. Збруч)
M5.2.0.08	р. Збруч
M5.2.0.09	р. Дністер від гідропоста Могилів-Подільський до державного кордону
M5.2.0.10	р. Дністер від державного кордону до гирла р. Реут (в межах України)
M5.2.0.11	р. Дністер від гирла р. Бик до гирла (в межах України)
M5.2.0.12	Дністровський лиман

M5.3	3. Район басейну річки Дунай
M5.3.1	Суббасейн річки Тиса
	Водогосподарські ділянки:
M5.3.1.01	р. Тиса від витoku до державного кордону
M5.3.1.02	р. Латориця від витoku до державного кордону
M5.3.1.03	р. Уж від витoku до державного кордону
M5.3.2	Суббасейн річки Прут
	Водогосподарські ділянки:
M5.3.2.04	р. Прут від витoku до державного кордону
M5.3.3	Суббасейн річки Сірет
	Водогосподарські ділянки:
M5.3.3.05	р. Сірет від витoku до державного кордону
M5.3.4	Суббасейн Нижнього Дунаю
	Водогосподарські ділянки:
M5.3.4.06	р. Дунай від державного кордону до гирла (виключаючи річки Кагул, Ялпуг)
M5.3.4.07	р. Кагул (включаючи озеро Кагул)
M5.3.4.08	р. Ялпуг (включаючи озера Ялпуг, Кугурлуй)
M5.4	4. Район басейну річки Південний Буг
	Водогосподарські ділянки:
M5.4.0.01	р. Південний Буг від витoku до гирла р. Іква (включаючи р. Іква)
M5.4.0.02	р. Південний Буг від гирла р. Іква до гідропоста Селище
M5.4.0.03	р. Південний Буг від гідропоста Селище до гирла р. Сільниця (включаючи р. Сільниця)
M5.4.0.04	р. Південний Буг від гирла р. Сільниця до гирла р. Синюха
M5.4.0.05	р. Тікич (включаючи рр. Гнилий Тікич, Гірський Тікич)
M5.4.0.06	р. Синюха (включаючи р. Велика Вись)
M5.4.0.07	р. Південний Буг від гирла р. Синюха до гідропоста Олександрівка
M5.4.0.08	р. Південний Буг від гідропоста Олександрівка до гирла (виключаючи р. Інгул)
M5.4.0.09	р. Інгул від витoku до гирла р. Березівка (включаючи р. Березівка)
M5.4.0.10	р. Інгул від гирла р. Березівка до гирла
M5.4.0.11	Бузький лиман
M6.5	5. Район басейну річки Дон
M6.5.1	Суббасейн річки Сіверський Донець
	Водогосподарські ділянки:
M6.5.1.01	р. Сіверський Донець від державного кордону до греблі Печенізького водосховища
M6.5.1.02	р. Сіверський Донець від греблі Печенізького водосховища до гідропоста Зміїв (виключаючи р. Уди)
M6.5.1.03	р. Уди
M6.5.1.04	р. Сіверський Донець від гідропоста Зміїв до гирла р. Берека
M6.5.1.05	р. Берека
M6.5.1.06	р. Сіверський Донець від гирла р. Берека до кордону Харківської та Донецької областей (виключаючи р. Оскіл)
M6.5.1.07	р. Оскіл від державного кордону до гідропоста Куп`янськ
M6.5.1.08	р. Оскіл від гідропоста Куп`янськ до гирла
M6.5.1.09	р. Сіверський Донець від кордону Харківської та Донецької областей до кордону Донецької та Луганської областей (виключаючи річки Казенний Торець, Бахмутка)
M6.5.1.10	р. Казенний Торець
M6.5.1.11	р. Бахмутка
M6.5.1.12	р. Сіверський Донець від кордону Донецької та Луганської областей до гідропоста Лисичанськ (виключаючи річки Красна, Борова)
M6.5.1.13	р. Красна
M6.5.1.14	р. Борова

M6.5.1.15	р. Сіверський Донець від гідропоста Лисичанськ до державного кордону (виключаючи річки Айдар, Лугань, Деркул)
M6.5.1.16	р. Айдар
M6.5.1.17	р. Лугань
M6.5.1.18	р. Деркул
M6.5.1.19	р. Велика Кам`янка (в межах України)
M6.5.2	Суббасейн Нижнього Дону
	Водогосподарські ділянки:
M6.5.2.20	Притоки р. Дон (в межах України)
A6.6	6. Район басейну річки Вісла
A6.6.1	Суббасейн річки Західний Буг
	Водогосподарські ділянки:
A6.6.1.01	р. Західний Буг від витoku до державного кордону
A6.6.1.02	р. Західний Буг від державного кордону з Республікою Польща до державного кордону з Республікою Білорусь
A6.6.2	Суббасейн річки Сан
	Водогосподарські ділянки:
A6.6.2.03	р. Сан та її притоки (в межах України)
M5.7	7. Район басейну річок Криму
	Водогосподарські ділянки:
M5.7.0.01	Західне узбережжя Кримського півострова (виключаючи рр. Кача, Альма, Чорна, Бельбек)
M5.7.0.02	р. Кача
M5.7.0.03	р. Альма
M5.7.0.04	р. Чорна
M5.7.0.05	р. Бельбек
M5.7.0.06	Південне узбережжя Кримського півострова
M6.7.0.07	Узбережжя Азовського моря в межах Кримського півострова (виключаючи р. Салгир)
M6.7.0.08	р. Салгир
M5.8	8. Район басейну річок Причорномор'я
	Водогосподарські ділянки:
M5.8.0.01	Узбережжя Чорного моря між гирлом р. Дунай та Дністровським лиманом
M5.8.0.02	Узбережжя Чорного моря між Дністровським лиманом та Дніпровським лиманом (виключаючи р. Тилігул з лиманом)
M5.8.0.03	р. Тилігул з лиманом
M5.8.0.04	Узбережжя Чорного моря між Дніпровським лиманом та Кримським півостровом
M6.9	9. Район басейну річок Приазов'я
	Водогосподарські ділянки:
M6.9.0.01	Узбережжя Азовського моря від Кримського півострова до державного кордону (виключаючи рр. Молочна, Берда, Кальміус, Міус)
M6.9.0.02	р. Молочна (включаючи Молочний лиман)
M6.9.0.03	р. Берда
M6.9.0.04	р. Кальміус (виключаючи р. Кальчик)
M6.9.0.05	р. Кальчик
M6.9.0.06	р. Міус від витoku до державного кордону (виключаючи р. Кринка)
M6.9.0.07	р. Кринка від витoku до державного кордону

Всього на території України - 132 водогосподарські ділянки

Примітка: -* - Код району річкового басейну формується із трьох знаків: перші два знаки є кодом моря: А6 - Балтійське море, М5 - Чорне море, М6 - Азовське море; третій знак є порядковим номером району річкового басейну. Код суббасейну формується із чотирьох знаків: перші три знаки є кодом району річкового басейну, четвертий знак є порядковим номером суббасейну у межах відповідного району річкового басейну. Код водогосподарської ділянки

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

формується із шести знаків: перші три знаки є кодом району річкового басейну, четвертий знак є порядковим номером суббасейну у межах відповідного району річкового басейну (у випадку відсутності суббасейнів четвертий знак проставляється 0), п'ятий та шостий знаки є порядковим номером водогосподарської ділянки у межах відповідного району річкового басейну. Кодування районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок здійснюється з метою забезпечення складання державного водного кадастру за розділом «Водокористування».

Як відзначалося, водогосподарські ділянки виділяються для розроблення водогосподарських балансів для окремих територій. Водогосподарський баланс - співвідношення між наявними для використання водними ресурсами на певній території і потребами в них у межах певного регіону за певний проміжок часу. На основі водогосподарських балансів встановлюються ліміти забору води із водного об'єкта та інші параметри використання водного об'єкта (водокористування) різними водокористувачами, які представляють промисловість, житлово-комунальне господарство та сільське господарство. Водогосподарські баланси є важливим механізмом, що регулює доступ до водних ресурсів країни та окремих її регіонів.

Висновки

1). Затверджене у 2016 р. на законодавчому рівні гідрографічне та водогосподарське районування території України відповідає вимогам Водної рамкової директиви Європейського Союзу.

2). Основною одиницею гідрографічного районування є район річкового басейну, яких в Україні виділено дев'ять (Дніпра; Дністра; Дунаю; Південного Бугу; Дону; Вісли; річок Криму; річок Причорномор'я; річок Приазов'я).

3). У межах чотирьох з дев'яти районів річкових басейнів на території України було виділено 13 суббасейнів: а). район басейну річки Дніпро – суббасейни Верхнього Дніпра, Середнього Дніпра, Нижнього Дніпра, р. Прип'ять, р. Десна; б). район басейну річки Дунай - суббасейни р. Тиса, р. Прут, р. Сірет, Нижнього Дунаю; в). район басейну річки Дон - суббасейни р. Сіверський Донець, Нижнього Дону; г). район басейну річки Вісла - суббасейни р. Західний Буг, р. Сан.

4). Основною одиницею водогосподарського районування є водогосподарська ділянка, яких на території річкових басейнів і суббасейнів виділено 132.

5). Сучасне гідрографічне та водогосподарське районування території України наближає управління водними ресурсами держави до європейських вимог.

Список літератури

1. *Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС*. Основні терміни та їх визначення. - Київ, 2006. - 240 с. - Режим доступу: <http://dbuwr.com.ua/docs/Waterdirect.pdf>. 2. *Водний кодекс України*, 1995 р. (зі змінами і доповненнями 2000-2016 рр.) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>. 3. *Гребінь В. В.* Гідрографічне районування території України як передумова розробки планів інтегрованого управління річковими басейнами [Електронний ресурс] / В. В. Гребінь, М. В. Яцюк, О. В. Чунарьов // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2012. - Т. 2. - С. 8-16. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2012_2_3. 4. *Гребінь В. В.* Гідрографічне районування території України: принципи, критерії, порядок здійснення [Електронний ресурс] / В. В. Гребінь, М. В. Яцюк, О. В. Чунарьов // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2013. - Т. 1. - С. 6-16. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2013_1_3. 5. *Гребінь В. В.* Оцінка річкової мережі басейну Росії за типологією річок згідно Водної рамкової директиви Європейського Союзу [Електронний ресурс] / В. В. Гребінь, В. К. Хільчевський, П. О. Бабій, М. Р. Забокрицька // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2015. - Т. 2. - С. 23-33. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2015_2_4. 6. *Гребінь В. В.* Ретроспективний аналіз

досліджень річкової мережі України та застосування типології річок Водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі [Електронний ресурс] / В. В. Гребінь, В. К. Хільчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2016. - Т. 2. - С. 32-47. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2016_2_4. 7. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом», прийнятий Верховною Радою України 4 жовтня 2016 р. (№ 1641-VIII). - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/en/1641-19>. 8. *Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу* / В. В. Гребінь, В. Б. Мокін, В. А. Сташук, В. К. Хільчевський, М.В. Яцюк, О.В. Чунарьов, Є.М. Крижановський, В.С. Бабчук, О.Є. Ярошевич - К.: Інтерпрес, 2013. - 55 с. 9. *Назви суббасейнів та водогосподарських ділянок у межах районів річкових басейнів* [Електронний ресурс] / Додаток до наказу Міністерства екології та природних ресурсів України від 26.01.2017 № 25. - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0208-17>. 10. *Національний план управління басейном р. Тиса* / Відп. за розробку О.Є. Ярошевич. – 2012. – 217 с. Режим доступу: http://buvrtya.gov.ua/newsite/download/National%20plan%20final_ost.pdf. 11. *Перелік забруднюючих речовин для визначення хімічного стану масивів поверхневих і підземних вод та екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод* [Електронний ресурс] / Додаток до наказу Міністерства екології та природних ресурсів України від 06.02.2017 № 45. - Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0235-17>. 12. *План управління річковим басейном Південного Бугу* / За ред. С. Афанасьєва, А. Петерс, В. Сташука та О. Ярошевича. – К.: Інтерсервіс, 2014. – 188 с. 13. *Порядок розроблення водогосподарських балансів* [Електронний ресурс] / Додаток до наказу Міністерства екології та природних ресурсів України від 26.01.2017 № 26. - Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0232-17>. 14. *Про затвердження меж районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок* / Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 03.03.2017 № 103. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0421-17>. 15. *Терміни та визначення водних директив Європейського Союзу* / С.О. Афанасьєв, В.С.Бабчук, О.В.Бонь та ін. – К.: Інтерсервіс. 2015. – 32 с. - Режим доступу: http://www.geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/Water_glossary_.pdf. 16. *Типове положення про басейнові ради* [Електронний ресурс] / Додаток до наказу Міністерства екології та природних ресурсів України від 26.01.2017 № 23. - Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0231-17>. 17. *Управление трансграничным бассейном Днепра: суббассейн реки Припяти* / Под ред. А.Г. Ободовского, А.П. Станкевича и С.А. Афанасьева. – К.: Кафедра, 2012. – 447 с. 18. *Хільчевський В. К. Оцінка гідрографічної мережі району річкового басейну Вісли (Західного Бугу та Сяну) на території України згідно типології Водної рамкової директиви ЄС* [Електронний ресурс] / В. К. Хільчевський, В. В. Гребінь, М. Р. Забокрицька // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2016. - Т. 1. - С. 29-41. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2016_1_4. 19. *Якість води та управління водними ресурсами: короткий опис директив ЄС та графіку їх реалізації*. К.: 2014. - 11 с. - Режим доступу: http://www.if.gov.ua/files/uploads/Water_brochure_fin.pdf.

Гідрографічне та водогосподарське районування території України, затверджене у 2016 р. – реалізація положень ВРД ЄС

Хільчевський В.К., Гребінь В.В.

Наведено характеристику сучасного гідрографічного та водогосподарського районування території України, затвердженого у 2016 р. на законодавчому рівні, яке увійшло до Водного кодексу України. В Україні встановлено 9 районів річкових басейнів: Дніпра; Дністра; Дунаю; Південного Бугу; Дону; Вісли; річок Криму; річок Причорномор'я; річок Приазов'я. У 4-х районах річкових басейнів виділено 13 суббасейнів. У районах річкових басейнів та суббасейнах виділено також 132 водогосподарські ділянки. Затверджене районування є реалізацією положень Водної рамкової директиви Європейського Союзу 2000/60/ЄС в управлінні водними ресурсами в Україні.

Ключові слова: гідрографічне та водогосподарське районування, район басейну річки, суббасейн, водогосподарська ділянка

Гидрографическое и водохозяйственное районирование территории Украины, утвержденное в 2016 г. – реализация положений ВРД ЕС

Хильчевский В.К., Гребень В.В.

Приведена характеристика современного гидрографического и водохозяйственного районирования территории Украины, утвержденного в 2016 г. на законодательном уровне, которое вошло в Водный кодекс Украины. В Украине установлено 9 районов речных бассейнов: Днестра; Дуная; Южного Буга; Дона; Вислы; рек Крыма; рек Причерноморья; рек Приазовья. В 4-х районах речных бассейнов выделено 13 суббассейнов. В районах речных бассейнов и суббассейнов выделены также 132 водохозяйственных участка. Утвержденное районирование является реализацией положений Водной рамочной директивы Европейского Союза 2000/60/ЕС в управлении водными ресурсами в Украине.

Ключевые слова: гидрографическое и водохозяйственное районирование, район бассейна реки, суббассейн, водохозяйственный участок.

Hydrographic and hydroeconomic zoning of Ukraine's territory, approved in 2016 - implementation of the WFD provisions

Khilchevskiy V., Grebin' V.

The characteristic of modern hydrographic and hydroeconomic zoning of Ukraine's territory, approved in 2016 on legislation level that became the Water Code of Ukraine.

The signing of the Association Agreement between Ukraine, on the one side, and the European Union (EU) and its Member States on the other, opening new opportunities and creates new standards in different spheres of public life, including environmental protection sphere. For Ukraine, implementation of EU law in environmental protection sphere occurs within eight sectors are regulated by 29 directives and regulations of the EU in this area.

Issues relating to the sector "Water quality and water management" in the European Union is regulated by main 6 water directives: 1). Water Framework Directive; 2). Flood Directive; 3). Marine Strategy Framework Directive; 4). Urban Waste Water Treatment Directive; 5). Drinking Water Directive; 6). Nitrates Directive.

October 4, 2016 the Verkhovna Rada of Ukraine adopted the Law of Ukraine "On amendments to some legislative acts of Ukraine concerning the implementation of integrated approaches to water management by basin principle", which introduced a number of amendments to the Water Code of Ukraine, aimed at the implementation of the Water Framework Directive of the European Union (2000/60/EC) in the practice of water management.

One of the key aspects of the adoption of the law was the adoption of hydrographic and hydroeconomic zoning of Ukraine's territory. Hydrographic zoning - division the territory of Ukraine for hydrographic unit that carried out for the development and implementation of river basin management plans. Hydroeconomic zoning - the distribution of hydrographic units for water management areas, carried out for the development of water management balances.

Article 13¹ of the Water Code of Ukraine defined that the basic hydrographic unit is the river basin district. In Ukraine was allocated 9 river basins districts: Dnipro river basin district; Dniester river basin district; Danube river basin district; Southern Bug river basin district; Don river basin district; Vistula river basin district; Crimea rivers basin district; Black Sea rivers basin district; Azov Sea rivers basin district. Within 4 river basin districts in Ukraine was allocated 13 sub-basin (Dnipro - 5 sub-basins, Danube - 4 sub-basins, Don - 2 sub-basins, Vistula - 2 sub-basins). In river basin districts and sub-basins was allocated 132 water management areas.

Approved zoning is the implementation of the Water Framework Directive EU 2000/60/EC in the management of water resources in Ukraine.

Keywords: hydrographic and hydroeconomic zoning, river basin district, sub-basin, water management area

Надійшла до редколегії 11.02.2017

Васенко А.Г.¹, Коробкова А.В.¹, Рыбалова О.В.²

¹Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем, Харьков

²Национальный университет гражданской защиты, Харьков

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД С УЧЕТОМ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

Ключевые слова: поверхностные воды, экологические нормативы, качество вод, река Оскол, Харьковская область

Постановка проблемы. Система экологического нормирования должна обеспечить нормативную основу достижения баланса между уровнями вредного воздействия на окружающую среду и ее способностями к восстановлению.

При разработке экологических нормативов необходимо применять ландшафтно-экологический подход, учитывающий географическое положение, динамику формирования и функционирования природных систем, их разнообразие и одновременно индивидуальную уникальность, устойчивость к климатическим изменениям, природным и антропогенным воздействиям и т.д.

Требование установления экологических нормативов состояния окружающей природной среды и антропогенных нагрузок изложено в статье 33 Закона Украины “Об охране окружающей природной среды” [1], где речь идет о санитарно-гигиеническом нормировании. Статьи 35 и 37 Водного Кодекса Украины [2] также предусматривают установление экологических нормативов качества водных объектов и дают их правильную трактовку (классификацию).

Несоответствие современной нормативной базы в области охраны окружающей природной среды в Украине обуславливают необходимость ее совершенствования и корректировки. В частности, разработку и усовершенствование нормативных документов в области экологических и природоохранных нормативов, в том числе и методики установления экологических нормативов.

Методика установления и использования экологических нормативов качества поверхностных вод суши и эстуариев Украины [3] до сих пор не утверждена и требует усовершенствования. Предлагаемая нами усовершенствованная Методика установления экологических нормативов качества поверхностных вод базируются на основных принципах и положениях Концепции экологического нормирования [4], Водного кодекса Украины [2], а также же учитывает принципы, заложенные в Водной Рамочной Директиве ЕС [5] и Рекомендациях международной организации сотрудничества и экономического развития для стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии (ВЕКЦА) [6].

Согласно Концепции [4], экологические нормативы подразделяются на: индивидуальные (для конкретных и уникальных объектов) и типовые; для современного состояния, перспективные и потенциально возможные (с учетом новейших технологий и тенденций), относительно стабильные (длительными) и оперативные (учитывающие ситуативные изменения).

Обязательными условиями достижения экологической безопасности водных экосистем является разработка и внедрение в хозяйственную практику комплекса региональных экологических нормативов, требований, правил, а также создание региональных геоинформационных систем поддержки принятия управленческих решений.

Впервые экологические нормативы качества воды в соответствии с

Концепцией [4] были установлены для р. Тетерев [7] и р. Рось [8].

В работе [7] на основе анализа опыта управления водными ресурсами в Украине и за рубежом сформулированы основные принципы внедрения в Украине комплексного планирования и управления в области использования, охраны и восстановления водных ресурсов. Приведены примеры практического применения методики комплексной оценки и экологического нормирования качества поверхностных вод как основы экологического менеджмента на примере бассейна р. Тетерев.

Критериальной основой определения экологических нормативов качества воды была выбрана экологическая классификация качества поверхностных вод, которая включает в свой состав три блока показателей: солевого состава, трофосапробиологических показателей, содержания и биологического действия специфических веществ [9].

Необходимо отметить, что установленные экологические нормативы имели определенные недостатки. Во-первых, проанализированы ретроспективные данные качественного состояния р. Рось только за 1979 и 1984 годы, для р. Теререв с 1962 по 1995 годы. Во-вторых, экологические нормативы были установлены на основании "Методики экологической оценки качества поверхностных вод по соответствующим критериям" [9], которая в настоящее время значительно усовершенствована с учетом требований Водной Рамочной Директивы Европейского Союза [10]. В-третьих, при их установлении не были учтены изменения гидрологических и климатических показателей и прогнозные модели состояния экосистемы, которые показывают изменения состояния экосистемы с учетом тенденций изменения антропогенной нагрузки и климата в данной физико-географической зоне.

Цель работы состоит в усовершенствовании метода определения экологических нормативов качества поверхностных вод и апробации данного метода для установления экологических нормативов для реки Оскол.

Задачи, решаемые в работе:

- провести анализ ретроспективных и современных данных о состоянии реки Оскол;
- предложить алгоритм определения экологических нормативов с учетом региональных и гидрологических особенностей, а также прогнозных моделей;
- рассмотреть возможность применения данного метода для реки Оскол;
- установить экологические нормативы для реки Оскол.

Река Оскол является наибольшим левым притоком реки Северский Донец и протекает на территории двух стран – России и Украины. Общая длина реки – 472 км, из них 290 км протекает на территории Харьковской области. Общая площадь водосбора – 14800 км², из них 3830 км² находится в Харьковской области. Классифицируется как средняя река.

Водный режим Оскола типичен для рек европейской территории: высокое половодье и сравнительно низкая межень. Средний многолетний объем стока на исследуемом участке составляет 11,53 км³/год, средний многолетний расход воды – 36,6 м³/с. Река зарегулирована Краснооскольским водохранилищем (полезный объем 477,6 млн.м³). Особенностью Оскола до зарегулирования была значительная изменчивость стока. После короткого наводнения большую часть года водность реки обычно была небольшой. Сейчас сток несколько выровнялся.

Бассейн реки на территории Харьковской области находится в двух географических зонах: лесостепной и степной. Бассейн имеет четко очерченные ландшафтные пределы бассейна, а также все основные элементы речной долины. Здесь нет крупных притоков и отсутствует влияние бассейнов малых рек и других

водотоков, при этом разработана классическая речная долина, в которой представлены террасы, приречной склон и овражно-балочная сеть.

Бассейн реки характеризуется наличием значительных площадей смытых или эродированных почв. В большей степени размываются земли, расположенные на высоком правобережье. Усиленная эрозия почвы на водосборе реки привела к сокращению длины их речной сети, заилению источников, повышенной миграции химических элементов из почвы и значительной аккумуляции донных отложений.

Определение экологических нормативов качества поверхностных вод актуально для бассейна выбранной реки, как и для Харьковской области в целом, как одного из наиболее антропогенно нагруженных районов Украины, в условиях низкой обеспеченности водными ресурсами.

Методика исследования. Под *экологическим нормативом* мы подразумеваем научно-обоснованные значения показателей (гидроморфологических, гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических, микробиологических, радиационных и др.) водных экосистем, которые отображают хорошее экологическое состояние водного объекта и цели водоохранной деятельности по улучшению или сохранению его экологического благополучия.

Под *экологическим благополучием экосистемы* – состояние экосистемы, которое характеризуется стабильностью ее структурных характеристик, постоянным функционированием и восстановлением (воспроизведением) основных компонентов, несмотря на влияние антропогенных и природных факторов.

В качестве критериальной основы определения экологических нормативов качества воды выбрана экологическая классификация качества поверхностных вод, представленная в усовершенствованной Методике [10].

Экологические нормативы должны соответствовать составу и свойствам воды в водных объектах, учитывать значения гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических, бактериологических, токсикологических показателей и других показателей, которые отражают особенности абиотической и биотической составляющих водных экосистем.

Экосистемы на территории Украины, по характеристикам абиотических параметров и биотических компонентов, достаточно разнообразны. Это обусловлено разнообразием ландшафтов, климатических характеристик, а также геолого-структурных и гидрогеологических условий на водосборных площадях бассейнов рек и озер. Природные процессы формирования качества воды на отдельных водотоках и водоемах, а также на различных их участках имеют свои особенности. Вследствие этого природные значения одних и тех же показателей качества воды в разных водных объектах, как правило, отличаются между собой [3,11].

В нашей работе рассматриваются допустимые экологические нормативы (*ЭНд*), превышение которых приведет к нарушению экологического благополучия экосистемы и *целевые экологические нормативы (ЭНц)*, как перспективные на достижение которых должна ориентироваться водоохранная стратегия.

Экологические нормативы (*ЭНд* и *ЭНц*) предлагается устанавливать отдельно для конкретных водных объектов, на основании обработки многолетних данных наблюдений по гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим данным с определением экологического индекса согласно усовершенствованной Методике экологической оценки качества поверхностных вод по соответствующим категориям, с учетом прогнозных моделей.

Количественные значения каждого *ЭНд* соответствуют наиболее стабильному значению показателя качества воды, преобладающему в диапазоне изменчивости его величин, наиболее полно и точно отвечают его природной характеристике при

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

условии сохранения стабильного экологического благополучия экосистемы, и при этом учитывает современное состояние водного объекта.

Значения *ЭНц* соответствует наилучшим значениям показателя в диапазоне изменчивости его величин и наиболее желаемым при водохозяйственной деятельности, и он достижим при условии осуществления определенных водоохранных мероприятий.

Экологические нормативы устанавливаются на основании анализа результатов обработки материалов ретроспективных гидрологических, гидрохимических, гидробиологических, эколого-токсикологических и радиэкологических экспедиционных исследований и режимных наблюдений. В этом состоит принципиальное отличие экологических нормативов качества поверхностных вод от нормативов безопасности водопользования (ПДК) отдельных вредных веществ [3,11].

Алгоритм установления значений экологических нормативов (ЭН) для конкретного водного объекта состоит из выполнения следующих последовательных этапов:

1) сбор, обработка, анализ исходных данных и усреднение величин каждого показателя экологического состояния водного объекта за выбранный период времени;

2) оценка экологического индекса (I_E) по соответствующим категориям по отдельным показателям;

3) расчет коэффициента водности на основе многолетних данных наблюдений по гидрологическим показателям;

4) выбор гидрологических периодов, из всего ряда наблюдений, для установления экологических нормативов с минимальными значениями экологического индекса (I_E) в условиях нормальной водности;

5) построение прогнозной модели экологического состояния поверхностных вод с учетом изменений гидрологических показателей, климата и уровня антропогенного воздействия;

6) установление значений допустимых экологических нормативов (*ЭНд*) для отдельных показателей качества воды на основе определения *среднего значения* данных показателей из ряда наблюдений в выбранные опорные гидрологические периоды и их прогнозных величин.

7) установление значений целевых экологических нормативов (*ЭНц*) для отдельных показателей качества воды на основе определения *минимальных значений* данных показателей из ряда наблюдений в выбранные опорные гидрологические периоды и их прогнозных величин.

8) установление категории качества поверхностных вод соответствующих значениям *ЭНд* и *ЭНц*.

1 этап. В качестве ретроспективных данных рассматривается информация, полученная за те годы наблюдений, которые соответствуют следующим общим условиям:

- являются наиболее репрезентативными с точки зрения отображения природного состояния в условиях минимальной антропогенной нагрузки;

- позволяют отследить изменения величин показателей качества воды во времени в связи с изменениями природных условий или антропогенной нагрузки;

- отражают специфические особенности процессов формирования качества воды, присущие конкретному водному объекту.

Далее проводится группировка и последующая статистическая обработка удовлетворяющих вышеперечисленным условиям данных.

2 этап. Экологическая оценка. Экологический индекс качества вод (I_E) рассчитывается [2]:

$$I_E = (I_X + I_B) / 2, \quad (1)$$

где

$$I_X = (I_C + I_{TC} + I_T) / 3, \quad (2)$$

где I_C – индекс показателей солевого состава; I_{TC} – индекс химических трофо-сапробиологических показателей; I_T – индекс специфических показателей токсичного и радиационного действия;

$$I_B = (I_T + I_M + I_{BX} + I_{BT}) / N, \quad (3)$$

где I_T – индекс гидробиологических показателей; I_M – индекс микробиологических показателей; I_{BX} – индекс показателей биохимических процессов; I_{BT} – индекс биотестовых показателей; N – общее количество блоков биологических показателей, которые рассматриваются.

Значения индексов экологической оценки трактуются на основе классификаций, по принципу, представленному в таблице 1.

3 этап. Расчет коэффициента водности на основе многолетних данных наблюдений по гидрологическим показателям. Коэффициент водности (K_B) рассчитывается по формуле:

$$K_B = Q_C / Q_{MH}, \quad (4)$$

где Q_C – средний расход воды за период, для которого выполняется оценка; Q_{MH} – среднемноголетний расход воды за аналогичный период (сезон) [11].

4 этап. Выбор гидрологических периодов для установления экологических нормативов осуществляется из всего ряда наблюдений с минимальными значениями экологического индекса (I_E). При этом необходимо соблюдение условия не превышения коэффициента водности, а именно $K_B \leq 1$.

Учет водности (K_B) необходим для исключения воздействия гидрологической составляющей на экологическое состояние водного объекта. С этой целью, выделяем годы с типичными наблюдаемыми концентрациями, присущими данному водному объекту с нормальными объемами стока и расходами воды.

5 этап. При построении прогнозной модели экологического состояния поверхностных вод используется метод Хольта-Уинтерса, для решения задачи прогнозирования временного ряда с учетом сезонности [12].

$$\begin{cases} \hat{Y}_{t+\tau} = (a_t + \tau b_t) c_{t-s+\tau} \\ a_t = \alpha_1 \frac{Y_t}{c_{t-s}} + (1 - \alpha_1)(a_{t-1} + b_{t-1}) \\ b_t = \alpha_2(a_t - a_{t-1}) + (1 - \alpha_2)b_{t-1} \\ c_t = \alpha_3 \frac{Y_t}{a_t} + (1 - \alpha_3)c_{t-s} \end{cases} \quad (5)$$

где $\hat{Y}_{t+\tau}$ – прогноз на τ шагов вперед, a_t – коэффициент уровня ряда, b_t – коэффициент пропорциональности, $c_{t-s+\tau}$ – сезонная составляющая с лагом в $s+\tau$ шагов, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – постоянные сглаживания.

Данный метод, является усовершенствованием метода экспоненциального сглаживания временного ряда. Метод Хольта-Уинтерса. Он успешно справляется как со среднесрочными, так и с долгосрочными прогнозами, поскольку способен определять микротренды (тренды, которые относятся к коротким периодам) в периоды времени, непосредственно предшествующие прогнозным, и экстраполировать эти тренды на будущее. Оптимальные параметры $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

подбирались путем минимизации среднеквадратичной ошибки прогноза распределения поля концентрации.

Использование прогнозных значений необходимо для уточнения значений экологического норматива, а также для правильного планирования водохозяйственной деятельности, в том числе и разработки научно-обоснованных природоохранных мероприятий, которые будут направлены на решение спрогнозированных проблем по соответствующим показателям.

6 этап. Установление значений *ЭНд* для отдельных показателей качества поверхностных вод проводится на основе фактических значений отдельных показателей в выбранные гидрологические периоды, с учетом прогнозных величин. При этом отбираются не менее 3х лет из всего ряда лет наблюдений и один год современного состояния (последние из последних 5 лет ряда наблюдений) с наилучшими показателями экологического индекса (*I_E*).

7 этап. Установление значений *ЭНц* для отдельных показателей качества воды проводится аналогично определению *ЭНд*. Но значение целевого экологического норматива (*ЭНц*) соответствует наилучшим значениям показателей.

8 этап. По соответствующим разработанным классификациям в методике каждому значению *ЭНд* и *ЭНц* присваиваются соответствующие категории качества поверхностных вод (табл. 1) для определения *основных показателей* ухудшения экологического состояния водного объекта.

Таблица 1. Классы и категории качества поверхностных вод Украины по экологической классификации [10]

Класс качества вод	I	II		III		IV	V
Категория качества вод	1	2	3	4	5	6	7
Название классов и категорий качеств вод по их состоянию	Отличные	Хорошие		Удовлетворительные		Плохие	Очень плохие
Название классов и категорий качеств вод по степени их чистоты (загрязненности)	Отличные	Очень хорошие	Хорошие	Удовлетворительные	Посредственные	Плохие	Очень плохие
Название классов и категорий качеств вод по степени их чистоты (загрязненности)	Очень чистые	Чистые		Загрязненные		Грязные	Очень грязные
Название классов и категорий качеств вод по степени их чистоты (загрязненности)	Очень чистые	Чистые	Достаточно чистые	Слабо загрязненные	Умеренно загрязненные	Грязные	Очень грязные

В случае отсутствия необходимого ряда наблюдений в качестве допустимого норматива (*ЭНд*) рекомендуется использовать разработанные нормативы для реки-аналога, находящихся в сходных физико-географических условиях, с учетом имеющегося ряда наблюдений. А разработка целевого норматива (*ЭНц*) может быть выполнена после необходимых дополнительных натурных исследований.

Экологические нормативы допустимые (*ЭНд*) могут быть использованы в качестве инструмента управления для ограничения воздействия на экосистему водоемов и предотвращения ухудшения экологического состояния бассейна реки в среднесрочной перспективе.

Экологические нормативы целевые (*ЭНц*) могут быть использованы для долгосрочного планирования водоохраной и хозяйственной деятельности с целью улучшения экологического состояния реки.

Результаты исследований. По проведенной оценке, экологическое состояние поверхностных вод бассейна реки Оскол в пункте г.Купянск с 1977 по 1991 года находилось между 3 категорией - «хорошее» («достаточно чистые воды») и 4 категорией - «удовлетворительное» («слабо загрязненные воды»). К настоящему моменту состояние несколько улучшилось – с 2002 года не наблюдается превышений 3 категории качества поверхностных вод (рис.1, табл.2).

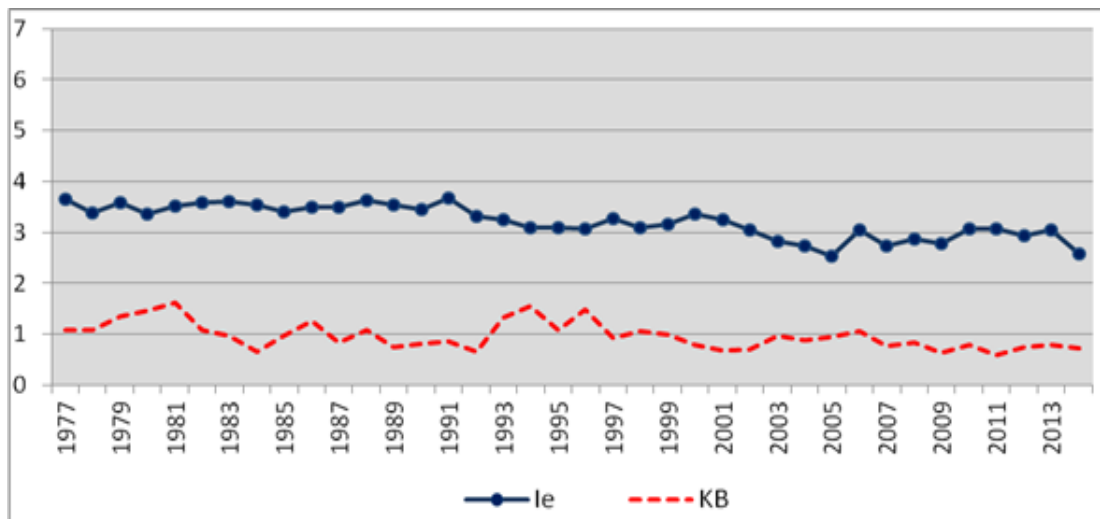


Рис. 1. Динамика изменений экологического индекса (Ie) и коэффициента водности (KB) в р. Оскол с 1977 по 2014 г.

Согласно усовершенствованной Методике по данным аналитического контроля качества поверхностных вод Харьковской области по средним показателям за период с 1977 по 2014 год был рассчитан экологический индекс с учетом коэффициента водности (табл. 2, рис.1).

По представленному алгоритму установлены экологические нормативы качества воды в р. Оскол (выше г. Купянск) (табл. 3). Наилучшие значения экологического индекса, при коэффициенте водности (KB) равным либо меньше 1, наблюдались в 2005, 2007, 2009 и 2014 годах (рис. 1 и табл. 2). Поэтому для определения экологических нормативов качества поверхностных вод были выбраны именно эти годы в качестве ориентировочных.

Обсуждение результатов. Анализ полученных результатов (табл. 2, табл. 3) свидетельствует о том, что экологические нормативы допустимые (ЭНд) по большинству показателей соответствуют 2 и 3 классу (2 – 4 категориям) качества поверхностных вод. Следует обратить внимание на то, что по показателям *фосфора фосфатов* и *азота нитратного* значения экологических нормативов соответствуют 4 классу (6 категории), по показателям *азота нитритного* – 3 классу (5 категории), а *сульфатам, нефтепродуктам, марганцу, меди, БПК-5 и индексу сапробности по Бантле-Букку (фитопланктон)* – 3 классу (4 категории).

Экологические нормативы целевые (ЭНц) по большинству показателей соответствуют 1 и 2 классу (1 – 3 категории) качества поверхностных вод. В данном случае по показателям *фосфора фосфатов* значения экологических нормативов соответствуют 3 классу (5 категории), а *сульфатов и азота нитратного* – 3 классу (4 категории).

Экологические нормативы, превышающие границу 3 категории качества поверхностных вод «хорошие» или «достаточно чистые» воды, могут рассматриваться как основные показатели ухудшения экологического состояния водного объекта (загрязнения) на данном участке. И комплекс природоохранных

Таблица 2. Оценка экологического состоянию р. Оскол по установленным экологическим индексам

Год	I _Б	I _Х	I _Е	Категория	Название категории по их состоянию	Название категории по степени их чистоты	КВ
1977	4.3	3.0	3.7	4	удовлетворительные	слабо загрязненные	1.07
1978	4.3	2.4	3.4	3	хорошие	достаточно чистые	1.07
1979	4.3	2.9	2.9	3	хорошие	достаточно чистые	1.33
1980	4.3	2.4	3.4	3	хорошие	достаточно чистые	1.45
1981	4.5	2.5	3.5	4	удовлетворительные	слабо загрязненные	1.61
1982	4.5	2.7	3.6	4	удовлетворительные	слабо загрязненные	1.08
1983	4.5	2.7	3.6	4	удовлетворительные	слабо загрязненные	0.97
1984	4.5	2.6	3.6	4	удовлетворительные	слабо загрязненные	0.66
1985	4.3	2.5	3.4	3	хорошие	слабо загрязненные	0.97
1986	4.3	2.7	3.5	4	удовлетворительные	слабо загрязненные	1.25
1987	4.3	2.7	3.5	4	удовлетворительные	слабо загрязненные	0.83
1988	4.3	2.9	3.6	4	удовлетворительные	слабо загрязненные	1.07
1989	4	3.1	3.5	4	удовлетворительные	слабо загрязненные	0.74
1990	4	2.9	3.5	4	удовлетворительные	слабо загрязненные	0.82
1991	5	2.4	3.7	4	удовлетворительные	слабо загрязненные	0.85
1992	4.2	2.4	3.3	3	хорошие	достаточно чистые	0.65
1993	3.67	2.8	3.2	3	хорошие	достаточно чистые	1.32
1994	3.67	2.5	3.1	3	хорошие	достаточно чистые	1.55
1995	3.7	2.5	3.1	3	хорошие	достаточно чистые	1.07
1996	3.7	2.4	3.1	3	хорошие	достаточно чистые	1.47
1997	4	2.5	3.3	3	хорошие	достаточно чистые	0.92
1998	4	2.2	3.1	3	хорошие	достаточно чистые	1.05
1999	4	2.3	3.2	3	хорошие	достаточно чистые	0.99
2000	4	2.7	3.4	3	хорошие	достаточно чистые	0.78
2001	4	2.5	3.2	3	хорошие	достаточно чистые	0.62
2002	3.5	2.6	3.0	3	хорошие	достаточно чистые	0.70
2003	3	2.7	2.8	3	хорошие	достаточно чистые	0.85
2004	3	2.5	2.7	3	хорошие	достаточно чистые	0.68
2005	2.5	2.6	2.5	3	хорошие	достаточно чистые	0.71
2006	3.5	2.6	3.1	3	хорошие	достаточно чистые	0.85
2007	2.67	2.8	2.7	3	хорошие	достаточно чистые	0.87
2008	2.67	3.1	2.9	3	хорошие	достаточно чистые	0.83
2009	2.67	2.9	2.8	3	хорошие	достаточно чистые	0.65

Год	I _Б	I _Х	I _Е	Категория	Название категории по их состоянию	Название категории по степени их чистоты	КВ
2010	3	3.1	3.1	3	хорошие	достаточно чистые	0.86
2011	3	3.2	3.1	3	хорошие	достаточно чистые	0.60
2012	3	2.9	2.9	3	хорошие	достаточно чистые	0.75
2013	3.33	2.8	3.1	3	хорошие	достаточно чистые	0.79
2014	2.33	2.8	2.6	3	хорошие	достаточно чистые	0.69

мероприятий необходимо разрабатывать в первую очередь для снижения концентраций именно этих показателей в водном объекте на данном участке.

Предложенные экологические нормативы допустимые (ЭНД) р. Оскол превышают ПДК рыбохозяйственного водопользования (табл. 4) по таким показателям: сульфаты – в 1.12 раза, азот нитритный – в 1.1 раза, фосфор фосфатов – в 1.5 раза, взвешенные вещества – в 20,4 раза, ХПК – в 1.31 раза, нефтепродукты – в 1.92 раза, марганец – в 8 раз, медь – в 3 раза (табл. 3).

Предложенные экологические нормативы целевые (ЭНц) р. Оскол не соответствуют ПДК для водных объектов рыбохозяйственного водопользования по таким показателям: сульфаты – в 1.03 раза, фосфор фосфатов – в 1.12 раза, взвешенные вещества – в 2,1 раза марганец – в 6 раз.

Предложенные экологические нормативы не превышают ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Таким образом, по ряду показателей требования экологических нормативов как допустимых так и целевых более мягкие по отношению к ПДК рыбохозяйственного водопользования, но полностью соответствуют ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Прогнозные гидрохимические показатели на 2025 год также превышают ПДК рыбохозяйственного водопользования: сульфаты – в 1,32 раз; фосфор фосфатов – в 2.37 раз; ХПК – в 1.15 раз; медь – в 7 раз; нефтепродукты – в 2.1 раза; марганец – в 5.9 раз, но ни один показатель не превышает ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

С помощью прогнозных моделей, к 2025 году предполагается значительные ухудшения по следующим показателям: *фосфору фосфатов* прогноз ухудшения – до 0,4 мг/дм³, что классифицируется как 5 класс (7 категория), *азота аммонийному* – до 0,36 мг/дм³, что классифицируется как 3 класс (4 категория) и *сульфатам* – до 132 мг/дм³, что классифицируется как 3 класс (5 категория).

В связи с этим для поддержания экологического благополучия на этом участке реки необходима разработка специальных водоохранных мероприятий.

В странах-членах Европейского Союза, в отличие от украинского экологического законодательства и практики управления водоохранной деятельностью, внедрен итеративный подход к управлению качеством поверхностных вод, предусматривающий установление общих целей, конкретных целевых показателей, согласованных и желаемых видов водопользования и функций, с учетом существующего и прогнозного качества вод и имеющихся финансовых ресурсов и технологических возможностей.

Предложенный подход к установлению экологических нормативов может служить переходом от санитарно-гигиенического нормирования к экологическому нормированию и соответствовать европейскому итеративному подходу к управлению качеством поверхностных вод [6].

Таблица 3. Экологические нормативы качества поверхностных вод бассейна реки Оскол

Показатель	2005	2007	2009	2014	Прогноз 2025	Энд	Класс (категория)	ЭНц	Класс (категория)
Минерализация, мг/дм ³	514	558	636	552	610	565	1(1)	514	1(1)
Сульфаты, мг/дм ³	103	107	114	113	132	110	3(4)	103	3(4)
Хлориды, мг/дм ³	43.1	51.9	64.8	43.5	44.6	50	1(1)	43.1	1(1)
Азот аммонийный, мг/дм ³	0.18	0.1	0.07	0.303	0.36	0.16	2(2)	0.07	1(1)
Азот нитритный, мг/дм ³	0.011	0.016	0.07	0.012	0.008	0.027	3(5)	0.008	2(3)
Азот нитратный, мг/дм ³	1.35	1.52	1.33	0.77	0.67	1.24	4(6)	0.67	3(4)
Фосфор фосфатов, мг/дм ³	0.220	0.214	0.193	0.3	0.4	0.23	4(6)	0.19	3(5)
Взвешенные вещества, мг/дм ³	7.08	3.34	9.5	3.25	0.52	5.1	2(2)	0.52	1(1)
Растворенный кислород, мг/дм ³	7.87	9.35	8.94	7.72	9.39	7.7	2(2)	8.4	1(1)
БПК-5, мг/дм ³	1.83	1.97	2.09	2.57	2.24	2.12	3(4)	1.83	2(3)
ХПК, мг/дм ³	15.0	16.9	31.3	19.8	17.3	20.7	2(3)	15	2(2)
РН б/р	7.77	8.33	8.28	7.9	7.88	8.1	2(3)	7.8	2(2)
СПАВ, мг/дм ³	0.033	0.007	0.011	0.013	0.014	0.016	2(3)	0.007	2(2)
Нефтепродукты, мг/дм ³	0.138	0.064	0.045	0.113	0.105	0.09	3(4)	0.04	2(3)
ПО, мг/дм ³	4.79	4.34	4.3	5.6	5.2	4.8	2(2)	4.3	2(2)
Железо общее, мг/дм ³	0.017	0.016	0.082	0.013	0.043	0.03	1(1)	0.01	1(1)
Марганец, мг/дм ³	0.08	0.08	0.06	0.14	0.059	0.08	3(4)	0.06	3(4)
Медь, мг/дм ³	0.002	0.003	0.002	0.004	0.007	0.003	3(4)	0.002	2(3)
Цинк, 2+ мг/дм ³	0.007	0.012	0.017	0.01	0.007	0.01	2(2)	0.007	1(1)
Индекс сапробности (фитопланктон)	1.86	2.09	2.01	2.32	2.23	2.11	3(4)	2.01	2(3)
Индекс сапробности (зоопланктон)	1.44	1.69	1.68	1.51	1.27	1.57	2(3)	1.27	2(2)

Таблица 4. Соответствие экологических нормативов и прогнозных гидрохимических показателей качества поверхностных вод р. Оскол требованиям рыбохозяйственного и хозяйственно-бытового водопользования

Наименование показателей	Концентрации загрязняющих веществ		ЭНд мг/дм ³	Кратность превышения ПДК _{кр}	ЭНц мг/дм ³	Кратность превышения ПДК _{кр}
	2014 год	Прогноз 2025 год				
	мг/дм ³	мг/дм ³				
Минерализация	553.8	609.8	565	0.56	514	0.51
Сульфаты	113.4	131.9	112	1.12	103	1.03
Хлориды	43.5	44.6	49.1	0.16	43.1	0.14
Азот аммонийный	0.303	0.36	0.18	0.46	0.07	0.18
Азот нитритный	0.012	0.008	0.022	1.1	0.008	0.4
Азот нитратный	0.77	0.67	1.21	0.13	0.67	0.07
Фосфор фосфатов	0.3	0.403	0.26	1.5	0.19	1.12
Взвешенные вещества	3.25	0.52	5.1	20.4	0.48	2.08
БПК-5	2.57	2.24	2.17	0.97	1.83	0.82
ХПК	19.75	17.3	19.6	1.31	14.9	0.99
СПАВ	0.013	0.014	0.016	0.16	0.007	0.07
Нефтепродукты	0.113	0.105	0.096	1.92	0.045	0.9
Железо общее	0.013	0.043	0.03	0.3	0.008	0.08
Марганец	0.14	0.059	0.08	8	0.012	1.2
Медь	0.0038	0.007	0.003	3	0	0
Цинк 2+	0.01	0.007	0.009	0.9	0.001	0.1

Выводы. Представленный алгоритм определения экологических нормативов на основании оценки экологического состояния бассейна с учетом изменений гидрологических показателей и региональных особенностей применим для обоснования значений как экологических нормативов допустимых (ЭНд), так и экологических нормативов целевых (ЭНц).

Экологические нормативы значения которых выходят за пределы значений 2 класса (3 категории) качества требуют более глубокого изучения. Такими на данном участке (выше г. Купянск) являются: допустимые экологические нормативы (ЭНд) по *фосфору фосфатов и азоту нитратному* соответствуют 4 классу (6 категории), по *азоту нитритному* соответствуют 3 классу (5 категории), *сульфатам, марганцу и индексу сапробности (фитопланктон)* – 3 классу (4 категории). Целевые экологические нормативы (ЭНц) по *фосфору фосфатов* – 3 классу (5 категории), по *сульфатам и азоту нитратному* – 3 классу (4 категории).

Предложенные экологические нормативы могут использоваться в качестве основных индикаторов экологической составляющей при разработке целевых показателей качества поверхностных вод при внедрении европейского итеративного подхода.

Список літератури

1. Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>. 2. Водний Кодекс України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр>. 3. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. [В.Д. Романенко та ін.] – К., 2001. – 48с. 4.

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

Концепція екологічного нормування. – К.: Мінекобезпеки України, 1997. – 20 с. **5.** *EU Water Framework Directive 2000/60/EC*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ab.gov.tr/files/SEPB/cevrefaslidokumanlar/2000_60_atsayilisucercevedirektifi.pdf. **6.** Task Force for the Implementation of the Environmental Action Programme for Central and Eastern Europe, Caucasus and Central Asia Regulatory Environmental Programme Implementation Network / Organisation for Economic Co-operation and Development / ENV/EPOC/EAP/ REPIN(2011)1/ FINAL 7 – p.53. **7.** Васенко О.Г. Комплексне планування та управління водними ресурсами. О.Г. Васенко, Г.А. Верніченко – Київ: Інст. географії НАН України, 2001. – 367 с. **8.** Романенко В.Д. Методологические предпосылки для установления и использования экологических нормативов качества поверхностных вод / В.Д. Романенко, В.Н. Жуковский, О.П. Оксик. // Гидробиол. журнал, Т. 35, № 3, 1999. – С. 3-14. **9.** Методика екологічної оцінки поверхневих вод за відповідними категоріями. – К.: Символ-Т, 1998. – 28 с. **10.** Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [Електронний ресурс]: проект / А.В. Гриценко, О.Г. Васенко, Г.А. Верніченко [та ін.] – Режим доступу: http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/metodika_2012_14_0.doc. **11.** Васенко О.Г. Загальні принципи визначення екологічних нормативів якості поверхневих вод // О.Г. Васенко, Г.В. Коробкова Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: VII Міжнародна наук.-практ. конф., 12-16 вересня 2011 р., м. Алушта, АР Крим, Україна: Зб.наук.ст. у 2-х т. – Т. 1, УкрНДІЕП. – Х.: Райдер, 2011. – с. 228-233. **12.** Winters P.R. Forecasting sales by exponentially weighted moving averages // Management Science. - 1960. - Vol. 6. - №3

Экологическое нормирование качества поверхностных вод с учетом региональных особенностей

Васенко А.Г., Коробкова А.В., Рыбалова О.В.

В работе дана оценка экологического состояния реки Оскол в Харьковской области, с учетом изменений гидрологических показателей, за период с 1977 по 2014 гг. Предложен алгоритм установления экологических нормативов качества поверхностных вод в соответствии с украинским законодательством и Водной Рамочной Директивой ЕС.

Установлено, что экологические нормативы допустимые (ЭНд) по большинству показателей соответствуют 2-4 категориям, согласно усовершенствованной Методике экологической оценки качества поверхностных вод по соответствующим категориям. Экологические нормативы целевые (ЭНц) по большинству показателей соответствуют 1-3 категориям.

Ключевые слова: поверхностные воды, экологические нормативы, качество вод, река Оскол, Харьковская область.

Екологічне нормування якості поверхневих вод з урахуванням регіональних особливостей

Васенко А.Г., Коробкова А.В., Рыбалова О.В.

В роботі подана оцінка екологічного стану річки Оскіл в Харківській області, з урахуванням змін гідрологічних показників, за період з 1977 по 2014 рр. Запропоновано алгоритм встановлення екологічних нормативів якості поверхневих вод відповідно до українського законодавства і Водної Рамкової Директиви ЄС.

Встановлено, що екологічні нормативи допустимі (ЕНд) за більшістю показників відповідають 2-4 категорій, згідно удосконаленої Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Екологічні нормативи цільові (ЕНц) за більшістю показників відповідають 1-3 категорій.

Ключові слова: поверхневі води, екологічні нормативи, якість вод, річка Оскіл, Харківська область.

Environmental regulation of surface water quality in view regional features

Vasenko A., Korobkova G., Rybalova O.

The paper assessed the ecological state of the river Oskol in the Kharkov region, taking into account changes in the hydrological indicators for the period from 1977 to 2014. Authors propose an algorithm for the establishment of environmental quality standards for surface waters in accordance with the Ukrainian laws and main clauses EU Water Framework Directive.

It was established that acceptable ecological norms (AEN) on the majority of indicators correspond to categories 2-4, according to an improved methodologies for environmental assessments of surface water

to the appropriate categories. Target ecological norms (TEN) for most of ingredients correspond 1-3 categories.

Analysis of obtained results, according to the improved methodologies of the environmental assessment of the quality of surface water to the appropriate categories, demonstrates that acceptable ecological norms (AEN) on the majority of the ingredients correspond to class 2 and 3 (2-4 categories).

It should be noted that on indicators of phosphorus, phosphate and nitrogen nitrate values environmental norms correspond the 4th class (Category 6), in terms of nitrite nitrogen - 3 class (category 5), and sulfates, petroleum, manganese, copper, BOD5 and index saprobity (phytoplankton) - class 3 (4 categories). These indicators require more in-depth analysis.

Target ecological norms (TEN) on the majority of the ingredients correspond the class 1 and 2 (categories 1-3), surface water quality. In this case, correspond class 3 (5 categories), and sulfates and nitrate nitrogen on indicators of phosphorus, phosphate values environmental standards - class 3 (4 categories).

Using forecasting models, in 2025 a significant deterioration is expected on the following parameters: phosphorus phosphates - 5 class (category 7), nitrogen ammoniynomu - Grade 3 (Category 4) and sulphate - Grade 3 (Category 5).

The proposed ecological norms can be used as the main indicators of the environmental component in the development of targeted surface water quality indicators in the implementation of the European iterative approach.

Keywords: surface water, environmental regulations, water quality, Oskol River, Kharkiv region.

Надійшла до редколегії 11.02.2017

УДК 627.142:543.117

Онищук В.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ СИСТЕМИ РІВНЯНЬ НАВ'Є – СТОКСА ДЛЯ ОЦІНКИ ГІДРОМОРФОЛОГІЧНОГО СТАНУ РУСЛО-ЗАПЛАВНОГО КОМПЛЕКСУ

Ключові слова: гідродинамічна система «потік-русло-заплава», рівняння Нав'є-Стокса, “заморожена” турбулентність, планові деформації поверхні заплави, гідроморфологічний стан русло-заплавного комплексу.

Актуальність проблеми. Актуальність вирішення даної проблеми полягає в тому, що процеси переформування заплави кардинально відрізняються від тих процесів, які відбуваються в руслі, а тим більше, що вони недостатньо досліджені на сьогоднішній день. Математичне моделювання мілкої плоскої течії часто пов'язано з розривами суцільного середовища у вигляді місцевих замкнених поверхонь, наявністю вирів з вертикальною і горизонтальною осями обертання, присутністю рослинності у вигляді трави, окремих дерев та кущів. Динамічна вісь заплавного потоку, як правило, не співпадає з динамічною віссю руслового, а це ускладнює їх взаємний системний розгляд. Заплавний потік у більшій мірі залежить від конфігурації долини.

Запропоновані нижче аналітичні рішення окремих задач дозволять уникнути цілого ряду обмежень стосовно отримання достатньо точного результату. Важливим аспектом при цьому є використання камеральних умов при виконанні комплексу обчислювальних робіт на противагу польовим спостереженням. Рівняння Нав'є–Стокса у даному дослідженні виступають методологічною основою системного розгляду взаємодії процесів русло-заплавного потоку при динамічній рівновазі руслового потоку в умовах відсутності динамічної рівноваги над поверхнею заплави. А тому важлива роль при проведенні аналітичних розв'язків відводиться задачі достатньо достовірного визначення руслоформувальної витрати субстрату

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

суцільного середовища як при відсутності, так і наявності незворотних руслових деформацій.

Аналіз попередніх досліджень. Раніше автором цієї статті було виконано розв'язування системи рівнянь Нав'є–Стокса для оцінки динамічної рівноваги системи «потік – русло» [1]. Що стосується числових методів розв'язання цих рівнянь з використанням різних методів апроксимації, то вони найбільш повно висвітлені в роботах [2,3].

Методика досліджень. Динамічна рівновага ГДС_{п-р} обумовлена проходженням руслоформувальної витрати води і транспортувальних наносів. При відсутності незворотних руслових деформацій проходження таких витрат, як правило, спостерігається у межах руслових бровок. Це дає змогу розглядати русло-заплавний потік в початкових умовах наближених до ламінарного режиму течії у центральному відсіку по поверхні руслового потоку у нерозривній їх єдності та окремо у бокових відсіках. останні періодично відгороджені від центрального відсіку ланцюгами розвинутих вертикальних макровирів вздовж ввігнутих берегів на фоні прояву динаміко-кінематичного ефекту. При розгляді рівнянь руху субстрату Нав'є–Стокса належить розвести дію силових факторів на їх індивідуальний рівень функціонування зі збереженням динамічної рівноваги системи і їх послідовну оцінку за умовами виконання конкретної задачі. З методичної точки зору це можна досягти шляхом стабілізації режиму турбулентності субстрату та його тиску за допомогою допоміжних (прототипних) рівнянь і шляхом їх сумісного розв'язування поетапне виокремлення агентів збурення, цебто тиску і його наслідку діяльності у вигляді змін форми деформації суцільного середовища. Цей підхід, який можна назвати “замороженою” турбулентністю, належить використовувати як для руслового потоку і заплавного у бокових відсіках, так і для їх придонних областей.

Виклад основного матеріалу досліджень. Система рівнянь Нав'є – Стокса для описання системи «руслоформувальний потік – русло-заплавний потік». Русло - заплавний потік розглядається в органічній єдності з русловим у відсіку над поверхнею в межах однорідних руслових бровок і на протигагу окремо у відсіках з правого і лівого берегів. Для вирішення поставленої задачі пропонується наступна система рівнянь у частинних похідних:

$$* \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho'} \nabla p + \left(\zeta + \frac{\nu}{3} \right) \delta \cdot \nabla \operatorname{div} \vec{v} ; \quad (1)$$

$$* \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho'} \nabla p ; \quad (2)$$

$$* \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho'} \nabla p + \nabla \vec{v}' ; \quad (3)$$

$$* \frac{\partial \vec{v}'}{\partial t} = -(\vec{v}' \cdot \nabla) \vec{v}' + \nu \Delta \vec{v}' - \frac{1}{\rho'} \nabla p + \zeta_{\Delta} \delta_{\Delta} \cdot \nabla \operatorname{div} \vec{v} ; \quad (4)$$

$$* \frac{\partial \vec{v}'}{\partial t} = -(\vec{v}' \cdot \nabla) \vec{v}' - \frac{1}{\rho'} \nabla p ; \quad (5)$$

$$* \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial B}{\partial t} \pm \frac{\partial q_s}{\partial t} ; \quad (6)$$

$$* \frac{\partial \omega}{\partial t} = \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t} ; \quad (7)$$

$$* \frac{\partial Q}{\partial t} = (2gI_0)^{0.5} \lambda_3^{-0.5} \frac{\partial B \partial h^{1.5}}{\partial t} ; \quad (8)$$

$$* \frac{\partial \omega}{\partial t} = \rho' g B_s I_n \frac{\partial v}{\partial t} ; \quad (9)$$

$$* \frac{\partial \delta_x^{0.5}}{\partial t} = \Delta h \frac{\partial h}{\partial t} ; \quad (10)$$

$$* \frac{\partial \delta_y^2}{\partial t} = 0.5(S_{x,\delta} / 2\pi h) \frac{\partial h}{\partial t} ; \quad (11)$$

$$* \frac{\partial \delta_z^2}{\partial t} = 0.5 \Delta H_n (S_{x,\delta} 2gh) \frac{\partial h}{\partial t} ; \quad (12)$$

$$* \frac{\partial h^{0.5}}{\partial t} = \Delta H_n . \quad (13)$$

де ∇ - оператор Гамільтона; Δ - оператор Лапласа; $\rho'_{\text{сер.зв}} = (\sum P_i \rho_i) / 100$ (де P_i – забезпеченість відповідного елемента потоку, %; ρ_i – середня щільність фракцій завислих наносів та густина відповідного об'єму рідини) або за формулою $\rho' = \rho(1 - s) + \rho_s s$ (де s – каламутність водного потоку), ρ' - віртуальна густина руслоформуванняльного потоку (вода разом з транспортувальними наносами - субстрат), кг/м^3 ; ρ - сумарний градієнт тиску (градієнти гідростатичного і гідродинамічного тисків, а також градієнт тиску атмосферного повітря по поверхні водного потоку - вітер), кгс/м^2 ; v - коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\text{м}^2/\text{с}$; ζ - «друга» (об'ємна) в'язкість водного потоку, яка придбана після його деформації, кгс/м^2 ; B і h - відповідно середні значення ширини поверху заплавного потоку і глибини, м ; $q_{s,i}$ – компонентна витрата транспортувальних наносів, кг/м^3 ; Q – витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$; $S_{x,\delta}$ - довжина хвилі деформації, яка домірна 1200 м ; $\omega = B h$ – площа живого перерізу заплавного потоку у відсіку, м^2 ; δ_i - величина переміщення структурних елементів водного потоку (макрівирів) в координатах x , y і z , м ; δ_Δ - величина переміщення структурних елементів водного потоку у придонній області (мікрівирів) по координатах x , y і z , м ; g – прискорення сили земного тяжіння, м/с^2 ; I_0 - поздовжній гідравлічний похил; I_n - поперечний гідравлічний похил; λ_3 - коефіцієнт загального гідравлічного тертя заплавної поверхні; $\Delta h_{x,\delta}$ – прирощення глибини потоку в результаті дії хвилі деформації на русловий потік, м ; ΔH_n - прирощення товщини перевалу в результаті дії хвилі деформації на заплавний потік, м ; v – середня швидкість заплавного потоку у відсіках, м/с .

В аналіз розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса до теперішнього часу входило коректне рішення задачі Коші, оскільки можливість його здійснення у значній мірі залежала від рівня турбулентності водних мас і відповідних змін чисел Рейнольдса, а також пов'язаних з цим інших критеріїв. Наведені вище рівняння складають повну (замкнену) систему для умов русло-заплавного потоку: рівняння (1) описує рух рідини в декартових координатах x , y і z у векторній формі; рівняння (2) стосується руху заплавного потоку над поверхнею руслового потоку у межах бровок; рівняння (3) стосується стабілізації режиму турбулентності руслового та заплавного в бокових відсіках потоків («заморожена» турбулентність) в координатах x , y і z ; рівняння (4) оцінює рівень турбулентності субстрату у придонній області руслового та заплавного в бокових відсіках потоків в координатах x , y і z ; рівняння (5) рекомендується для стабілізації режиму тиску заплавного потоку в бокових

відсіках (“заморожений” конвенційний рух субстрату) в координатах x , y і z ; рівняння (6) характеризує безперервно-дискретний характер руслових і заплавних процесів; рівняння (7) характеризує деформації дна русла та поверхні заплави у поздовжньому розрізі (оцінює поздовжню стійкість руслового та заплавного потоків); рівняння (8) відповідає пропускній здатності руслового та заплавного потоків; рівняння (9) визначає поперечну стійкість руслового та заплавного потоків; рівняння (10) описує переміщення структурних елементів заплавного потоку в умовах його деформації по осі x ; рівняння (11) характеризує переміщення структурних елементів заплавного потоку в умовах його деформації по осі y ; рівняння (12) оцінює переміщення структурних елементів заплавного потоку в умовах його деформації по осі z ; рівняння (13) характеризує просторову поздовжню стійкість поверхні заплави по поперечних заплавних перевалах..

Рівняння (2) пропонується для описання руху рідини від заплавного потоку над поверхнею руслового потоку у межах бровок русла. У дане рівняння не входить вектор поля масових сил, оскільки розглядається плоска задача, де відсутній вплив берегів (схилів долини). Бокові заплавні відсіки розглядаються як плоский русловий потік з наявністю придонної області. Оскільки заплавний потік у бокових відсіках може майже наполовину глибини складатися з придонної області, то його варто розглядати як тонку гнучку плиту на пружній основі. Така плита підпорядкована типу деформації по аналогії ейлерового стержня, тобто його деформація має форму пологої синусоїди, яка орієнтована у вертикальній площині. Рівняння (13) описує поздовжню деформацію плити у форматі розповсюдження хвилі деформації прийняту нами при довжині $S_{x,0} = 1200$ м. Детальний опис усіх інших рівнянь і характеристик наведені при розв’язуванні системи рівнянь для руслового потоку в роботі [1].

Для центрального відсіку заплавного потоку, розміщеного над поверхнею руслового потоку, розглядається двохвимірний плоский потік у площині XZ . В результаті сумісного розгляду рівнянь (2 і 3) отримуємо у розкритому вигляді наступні рівняння:

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} = 0; \quad (14)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0; \quad (15)$$

Аналітичне розв’язування системи рівнянь для модельного заплавного потоку, розміщеного над водною поверхнею між бровками русла (bankfull sage). Для вирішення поставленої задачі відібрана наступна система рівнянь:

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} = 0; \quad (16)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0; \quad (17)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t}; \quad (18)$$

Рівняння (18) додається до рівнянь (16,17), які після цього мають вигляд

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t} = 0; \quad (19)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t} = 0. \quad (20)$$

Наведені рівняння рішення при наступних крайових і початковій умовах: - швидкості течії на дні модельного русла мають співпадати зі швидкостями течії на вільній поверхні руслового потоку в умовах проходження руслоформування витрати води і транспортувальних наносів ($V_{н.зап} = V_{пов.р.п.}$). Це означає відсутність русло-заплавної придонної області між потоками. На бокових поверхнях швидкість течії на відмітках бровок $V_{н.зап}$ мають бути рівними відповідним швидкостям біля берегів (бровок) руслового потоку $V_{б.р.п} = 0,2$ м/с при початковій умові $V_{д.з.п} = 0,2$ м/с, по глибині модельного заплавного потоку. На його віртуально зовнішніх межах біля руслових бровок зосереджуються похідні вирові мезоструктури з вертикальною віссю обертання. Вони обумовлюють формування берегових валів та відповідного функціонування динаміко-кінематичного ефекту при заповненні заплави водою до глибини 120 см (це означає наявність розривів суцільного водного середовища, тобто початковою умовою є розрив неперервності течії у русло-заплавному потоці).

Після диференціювання і інтегрування наведених вище рівнянь, при крайових умовах від $V_{пов.р.п.}$ до $V_{пов.з.п.}$ та при початковій умові $\partial U'/\partial t = 0$, отримуємо наступні вирази:

$$V_{пов.р.п.х}^2 - V_{пов.з.п.х}^2 + \rho' g I_0 Q_{з.п.} = 0;$$

$$V_{пов.р.п.з}^2 - V_{пов.з.п.з}^2 = 0;$$

з яких відповідно знаходимо

$$I_{0ц.в} = \frac{V_{пов.з.п.х}^2 - V_{пов.р.п.х}^2}{\rho' g Q_{з.п.ц.в.}}; \quad (21)$$

$$V_{пов.з.п.з} = V_{пов.р.п.з}. \quad (22)$$

З формули (21) слідує, що гідравлічний поздовжній похил центрального заплавного відсіку дорівнює русловому.

Аналітичне розв'язування системи рівнянь для бокових відсіків заплавного потоку, з метою оцінки гідроморфологічного стану заплави. Ця задача виконується за допомогою наступної системи рівнянь [1, 4-6]:

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta_z \frac{\partial v_x}{\partial x} \delta_x \right) = 0; \quad (23)$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial y} \left(\zeta_z \frac{\partial v_y}{\partial y} \delta_y \right) = 0; \quad (24)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\zeta_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \delta_z \right) = 0; \quad (25)$$

$$* \frac{\partial \omega}{\partial t} = \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t}; \quad (26)$$

$$* \frac{\partial Q}{\partial t} = (2gI_0)^{0.5} \lambda_3^{-0.5} \frac{\partial B \partial h^{1.5}}{\partial t}; \quad (27)$$

$$* \frac{\partial \omega}{\partial t} = \rho' g B_{3.6} I_n \frac{\partial v}{\partial t}; \quad (28)$$

$$* \frac{\partial h^{0.5}}{\partial t} = \Delta H_n. \quad (29)$$

де $\zeta_3 = \zeta + 0,333\mu$ – загальна величина в'язкості субстрату.

Розрахункові рівняння (21-23) були уже отримані раніше для руслового потоку шляхом розв'язування рівнянь (1) разом з (3) [1], які по аналогії враховують дію масових сил стосовно віртуального стиснення (деформації) заплавного потоку у бокових відсіках шляхом розповсюдження хвилі деформації за довжиною звужувального або розширювального відсіків.

Спочатку підставляємо рівняння (26) у (23), яке у диференційній формі має вигляд

$$\left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta_3 \frac{\partial v_x}{\partial x} \delta_x \right) \right] \frac{dv}{dx} + \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t} \right) \frac{dQ}{dx} = 0; \quad (30)$$

В інтегрувальній формі дане рівняння виглядає наступним чином.

$$\int_0^{V_{0,p}} \left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta_3 \frac{\partial v_x}{\partial x} \delta_x \right) \right] \frac{dv}{dx} + \int_0^{Q_{0,p}} \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t} \right) \frac{dQ}{dx} = 0; \quad (31)$$

Після інтегрування, при меженних (крайових) умовах від 0 до $V_{0,p}$, $0/U'$, і від 0 до $Q_{0,p}$ з даного рівняння отримуємо наступний вираз:

$$-U'_{x,0,p} - V_{x,0,p}^2 + 0,333\zeta_3 \delta_x V_{x,0,p}^3 + \rho' g I_0 Q_{0,p} = 0.$$

Аналогічним чином виконуємо розв'язування рівнянь по координатах y і z , з яких маємо вирази

$$\begin{aligned} -U'_{y,0,p} - V_{y,0,p}^2 + 0,333\zeta_3 \delta_y V_{y,0,p}^3 - \omega_{0,p} + \rho' g I_0 Q_{0,p} &= 0; \\ -U'_{z,0,p} - V_{z,0,p}^2 + 0,333\zeta_3 \delta_z V_{z,0,p}^3 &= 0. \end{aligned}$$

З цих виразів отримуємо формули для визначення середнього гідравлічного поздовжнього похилу і прирощення площі живого перерізу потоку при стані динамічної рівноваги системи

$$I_{0,0,p} = \frac{U'_{x,0,p} + V_{x,0,p}^2 - 0,333\zeta_3 \delta_x V_{x,0,p}^3}{\rho' g Q_{0,p}}; \quad (32)$$

$$\Delta \omega_{0,p} = \rho' g I_0 Q_{0,p} - U'_{y,0,p} - V_{y,0,p}^2 + 0,333\zeta_3 \delta_y V_{y,0,p}^3; \quad (33)$$

Наступним кроком є підставлення рівняння (27) в (23), звідки отримуємо рівняння у диференційній формі наступного вигляду:

$$\left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta_3 \frac{\partial v_x}{\partial x} \delta_x \right) \right] \frac{dv}{dx} + \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{dQ}{dx} - \frac{(2gI_0)^{0.5}}{\lambda_3^{0.5}} \frac{\partial B \partial h^{1.5}}{\partial t} \frac{dQ}{dx} = 0; \quad (34)$$

Після інтегрування, при меженних умовах від 0 до $V_{\partial,p}$, $0/U'$, і від 0 до $Q_{\partial,p}$ отримуємо вираз

$$-U'_{x,\partial,p} - V^2_{x,\partial,p} + 0,333\zeta_3 \delta_x V^3_{x,\partial,p} - Q_{\partial,p} = 0.$$

Аналогічним чином виконуємо розв'язування рівнянь по координатах y і z , з яких маємо вирази

$$\begin{aligned} -U'_{y,\partial,p} - V^2_{y,\partial,p} + 0,333\zeta_3 \delta_y V^3_{y,\partial,p} - Q_{\partial,p} + 1,77I_0^{0,5} \lambda_3^{-0,5} B h_{\partial,p}^{2,5} &= 0; \\ -U'_{z,\partial,p} - V^2_{z,\partial,p} + 0,333\zeta_3 \delta_z V^3_{z,\partial,p} + 1,77I_0^{0,5} \lambda_3^{-0,5} h_{\partial,p}^{2,5} &= 0. \end{aligned}$$

З другого виразу отримуємо формулу для визначення прирощення акумулятивної витрати води на ширині заплавного потоку на ділянках між двома поперечними перевалами та з третього виразу значення коефіцієнта гідравлічного тертя

$$\Delta Q_{\partial,p} = -U'_{x,\partial,p} - V^2_{x,\partial,p} + 0,333\zeta_3 \delta_x V^3_{x,\partial,p}. \quad (35)$$

$$\frac{1}{\lambda_3^{0,5}} = \frac{U'_{z,\partial,p} + V^2_{z,\partial,p} - 0,333\zeta_3 \delta_z V^3_{z,\partial,p}}{1,77I_0^{0,5} h_{\partial,p}^{2,5}}. \quad (36)$$

Наступним етапом вирішення цієї задачі є підстановка рівняння (28) в (23-25), які в інтегральній формі мають вигляд

$$\int_0^{V_{\partial,p}} \left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta_3 \frac{\partial v_x}{\partial x} \delta_x \right) \right] \frac{dv}{dx} + \int_0^{V_{\partial,p}} \left[\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g B_{3,n} I_n \frac{\partial v}{\partial t} \right] \frac{dv}{dx} = 0; \quad (37)$$

$$\int_0^{V_{\partial,p}} \left[\frac{\partial U'_y}{\partial y} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} \left(\zeta_3 \frac{\partial v_y}{\partial y} \delta_y \right) \right] \frac{dv}{dy} + \int_0^{V_{\partial,p}} \left[\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g B_{3,n} I_n \frac{\partial v}{\partial t} \right] \frac{dv}{dy} = 0; \quad (38)$$

$$\int_0^{V_{\partial,p}} \left[\frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\zeta_3 \frac{\partial v_z}{\partial z} \delta_z \right) \right] \frac{dv}{dz} + \int_0^{V_{\partial,p}} \left[\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g B_{3,n} I_n \frac{\partial v}{\partial t} \right] \frac{dv}{dz} = 0. \quad (39)$$

В результаті інтегрування даних рівнянь у межах від 0 до $V_{\partial,p}$, отримуємо вирази

$$\begin{aligned} -U'_{x,3,n} - V^2_{x,3,n} + 0,333\zeta_3 \delta_x V^3_{x,3,n} + \rho' g B_{3,n} I_n V_{3,n} &= 0; \\ -U'_{y,3,n} - V^2_{y,3,n} + 0,333\zeta_3 \delta_y V^3_{y,3,n} - \omega_{3,n,\partial,p} + \rho' g B_{3,n} I_n V_{3,n} &= 0; \\ -U'_{z,3,n} - V^2_{z,3,n} + 0,333\zeta_3 \delta_z V^3_{z,3,n} &= 0. \end{aligned}$$

З другого виразу визначаємо поперечний похил потоку субстанції

$$I_{n,3,n,\partial,p} = \frac{U'_{y,3,n} + V^2_{y,3,n} - 0,333\zeta_3 \delta_y V^3_{y,3,n} + \Delta \omega_{3,n,\partial,p}}{\rho' g B_{3,n} V_{3,n,\partial,p}}. \quad (40)$$

Поздовжню стійкість поверхні заплави можна оцінити шляхом сумісного розв'язування рівнянь (29 і 23), які показані в інтегральному вигляді

$$\int_0^{Q_{\partial,p}} \left(\Delta H_n \frac{\partial B \partial h^{0,5}}{\partial t} - \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t} \right) \frac{dQ}{dx} = 0. \quad (41)$$

Після інтегрування у межах від 0 до $Q_{з.п.б.в}$ отримуємо вираз

$$-0.667\Delta H_n B_{з.п.б.в} h^{1.5} + \rho' g I_0 Q_{з.п.б.в} = 0,$$

звідки визначаємо величину прирощення відмітки поверхні заплави через 1200 м у вигляді поперечного пологого валу (по аналогії з перекатами в руслі)

$$\Delta H_n = \frac{\rho' g I_0 Q_{з.п.б.в}}{0.667 B_{з.п.б.в} h^{1.5}}. \quad (42)$$

Для визначення компонент швидкості течії розглянемо рівняння (23-25), які в інтегральній формі мають вигляд

$$\int_0^{V_{з.п.б.в}} \left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} \left(\zeta_z \frac{\partial v_x}{\partial x} \delta_x \right) \right] dv = 0; \quad (43)$$

$$\int_0^{V_{з.п.б.в}} \left[\frac{\partial U'_y}{\partial y} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} \left(\zeta_z \frac{\partial v_y}{\partial y} \delta_y \right) \right] dv = 0; \quad (44)$$

$$\int_0^{V_{з.п.б.в}} \left[\frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\zeta_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \delta_z \right) \right] dv = 0. \quad (45)$$

Після інтегрування першого рівняння, при меженних умовах від 0 до $V_{з.п.б.в}$ і від 0 до U' отримуємо

$$-U'_{x.з.п.б.в} - V_{x.з.п.б.в}^2 + 0,333\zeta_z \delta_x V_{x.з.п.б.в}^3 = 0.$$

Після спрощення даного виразу маємо

$$V_{x.з.п.б.в}^2 (0,333\zeta_z \delta_x V_{x.з.п.б.в} - 1) - U'_{x.з.п.б.в} = 0,$$

з якого можна визначити компоненту швидкості потоку по координаті x

$$V_{x.з.п.б.в} = \frac{1}{0,333\zeta_z \delta_x}. \quad (46)$$

Для двох інших компонент швидкості по координатах y і z отримуємо аналогічні формули

$$V_{y.з.п.б.в} = \frac{1}{0,333\zeta_z \delta_y}; \quad (47)$$

$$V_{z.з.п.б.в} = \frac{1}{0,333\zeta_z \delta_z}. \quad (48)$$

Таким чином, в результаті розв'язування системи рівнянь (23-29) були отримані розрахункові формули майже для всіх основних характеристик русло-заплавного потоку. Слід зауважити, що поставлена задача виконана для простої форми русло-заплавного комплексу, тобто коли бровки русла знаходяться майже на однакових відмітках. Там де в розрахункових формулах зустрічається коефіцієнт гідравлічного тертя λ_z , то для заплавного потоку його необхідно визначати як арифметичну суму ймовірно багатьох складових, які можуть бути пов'язані з

впливом зовнішніх і внутрішніх сил та елементів природного й антропогенного походження. Наприклад, наявність на території заплави будівель, кавальєрів ґрунту, транспортних комунікацій, опор ЛЕП, дамб обвалування, захисно-регулювальних споруд типу напівзагат тощо.

Аналітичне розв'язування системи рівнянь для оцінки деформацій поверхні заплави. З метою вирішення поставленої задачі відібрано наступні чотири рівняння:

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta_3 \frac{\partial v_x}{\partial x} \delta_x \right) = 0; \quad (49)$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial y} \left(\zeta_3 \frac{\partial v_y}{\partial y} \delta_y \right) = 0; \quad (50)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\zeta_3 \frac{\partial v_z}{\partial z} \delta_z \right) = 0. \quad (51)$$

$$* \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial B}{\partial t} \pm \frac{\partial q_s}{\partial t}. \quad (52)$$

Шляхом підставлення рівняння (52) в (49-51) отримуємо наступні рівняння в інтегральній формі:

$$\int_0^{V_{3,n}} \left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta_3 \frac{\partial v_x}{\partial x} \delta_x \right) \right] \frac{dv}{dx} + \int_0^{Q_{3,n}} \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{dQ}{dx} - \int_0^{h_{3,n}} \frac{\partial h}{\partial t} \frac{dh}{dx} - \int_0^{B_{3,n}} \frac{\partial B}{\partial t} \frac{dB}{dx} \mp \int_0^{q_{3,n}} \frac{\partial q_s}{\partial t} \frac{dq}{dx} = 0; \quad (53)$$

$$\int_0^{V_{3,n}} \left[\frac{\partial U'_y}{\partial y} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} \left(\zeta_3 \frac{\partial v_y}{\partial y} \delta_y \right) \right] \frac{dv}{dy} + \int_0^{Q_{3,n}} \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{dQ}{dy} - \int_0^{h_{3,n}} \frac{\partial h}{\partial t} \frac{dh}{dy} - \int_0^{B_{3,n}} \frac{\partial B}{\partial t} \frac{dB}{dy} \mp \int_0^{q_{3,n}} \frac{\partial q}{\partial t} \frac{dq}{dy} = 0; \quad (54)$$

$$\int_0^{V_{3,n}} \left[\frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\zeta_3 \frac{\partial v_z}{\partial z} \delta_z \right) \right] \frac{dv}{dz} + \int_0^{Q_{3,n}} \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{dQ}{dz} - \int_0^{h_{3,n}} \frac{\partial h}{\partial t} \frac{dh}{dz} - \int_0^{B_{3,n}} \frac{\partial B}{\partial t} \frac{dB}{dz} \mp \int_0^{q_{3,n}} \frac{\partial q_s}{\partial t} \frac{dq}{dz} = 0. \quad (55)$$

Після інтегрування даних рівнянь при меженних умовах від 0 до $V_{3,n}$, $0/U'$, $0/Q_{3,n}$, $0/h_{3,n}$, $0/B_{3,n}$ і від 0 до $q_{3,n}$ отримуємо вирази

$$\begin{aligned} -U'_{3,n,x} - V^2_{3,n,x} + 0,333\zeta_3 \delta_x V^3_{3,n,x} - Q_{3,n} \pm q_{3,n,x} &= 0; \\ -U'_{3,n,y} - V^2_{3,n,y} + 0,333\zeta_3 \delta_y V^3_{3,n,y} - Q_{3,n} + h_{3,n} + B_{3,n} \pm q_{3,n,y} &= 0; \\ -U'_{3,n,z} - V^2_{3,n,z} + 0,333\zeta_3 \delta_z V^3_{3,n,z} + h_{3,n} \pm q_{3,n,z} &= 0, \end{aligned}$$

з яких можна визначити витрату транзитних наносів і витрату поперечного переносу на криволінійних ділянках долини за наступними формулами:

$$\pm q_{3,n,\delta,x} = U'_{3,n,x} + V^2_{3,n,x} - 0,333\zeta_3 \delta_x V^3_{3,n,x} + Q_{3,n}; \quad (56)$$

$$\pm q_{3,n,\delta,y} = U'_{3,n,y} + V^2_{3,n,y} - 0,333\zeta_3 \delta_y V^3_{3,n,y} + Q_{3,n} - h_{3,n} - B_{3,n}; \quad (57)$$

$$\pm q_{3,n,\delta,z} = U'_{3,n,z} + V^2_{3,n,z} - 0,333\zeta_3 \delta_z V^3_{3,n,z} - h_{3,n}; \quad (58)$$

Загальна величина витрати транспортувальних наносів визначається арифметичною сумою компонент

$$G_{з.п.б.в} = q_{з.п.х} + q_{з.п.у} + q_{з.п.з} . \quad (59)$$

Оцінка розрахункових характеристик. Виконуємо диференціювання та інтегрування рівнянь (10 -12) у межах від 0 до $h_{з.п.б.вд}$ в результаті чого отримуємо вирази для визначення характеристик переміщення структурних елементів субстрату системи

$$\begin{aligned} -0,667\delta_{x\partial,p}^{1,5} + \Delta h h_{\partial,p} &= 0; \\ -0,333\delta_{y\partial,p}^3 + 0,5(S_{x,\partial} / 2\pi h)h_{\partial,p} &= 0; \\ -0,333\delta_{z\partial,p}^3 + 0,5\Delta H_n (S_{x,\partial} 2\pi h)h_{\partial,p} &= 0. \end{aligned}$$

Наведені вирази дозволяють визначити величини переміщення елементарних об'ємів субстрату за наступними формулами:

$$\delta_{x\partial,p} = (1,5\Delta h h_{\partial,p})^{0,667}; \quad (60)$$

$$\delta_{y\partial,p} = (1,5(S_{x,\partial} / 2\pi h)h_{\partial,p})^{0,333}; \quad (61)$$

$$\delta_{z\partial,p} = [1,5\Delta H_n (S_{x,\partial} 2\pi h)h_{\partial,p}]^{0,333}. \quad (62)$$

Для визначення “другої” (об’ємної) в’язкості водного потоку, яка придбана після його стискання, рекомендується скористатися емпіричною залежністю, яка наведена в монографії Л. Седова [4, с. 327]

$$\zeta_3 = \zeta + \frac{1}{3}\mu = \lambda_0 + \frac{2}{3}\mu + \frac{1}{3}\mu = \lambda_0 + \mu. \quad (63)$$

де λ_0 – коефіцієнт Ламе, який залежить від модуля пружності рідини або твердого тіла і моменту інерції у поперечному вимірі, що визначає жорсткість об’єкта EI . Сила стискання (градієнт тиску) водного потоку у межах русла викликає стоячу хвилю у вертикальній площині і зміщення мезовирів під впливом поперечного градієнту тиску в горизонтальній площині по синусоїдальній траєкторії у межах русло-заплавного комплексу. Залежність ζ від λ_0 для заплавного потоку в бокових відсіках можна виразити через висоту хвилі деформації $h_{х,\partial} = 2\pi h$, що відповідає коливанням моделі тонкої гнучкої плити на пружній основі і яка буде використана при визначенні основних характеристик заплавного потоку і його придонної області

$$\zeta_3 = 2\pi h + \mu. \quad (64)$$

де h – середня глибина заплавного потоку.

Аналітичне розв’язування системи рівнянь для оцінки характеристик придонної області. Управлінським параметром у придонній області заплавного потоку виступає градієнт тиску, який періодично змінюється (\pm) між заплавним і підземним фільтраційним потоками. Такий стан придонної області відповідає динамічній рівновазі системи «заплавний потік – придонна область – ґрунтовий потік» в цілому

Для вирішення поставленої задачі відбираються два із наведених вище основних рівнянь

$$\ast \frac{\partial \vec{v}'}{\partial t} = -(\vec{v}' \nabla) \vec{v}' + \nu \Delta \vec{v}' - \frac{1}{\rho'} \nabla p + \zeta_{\Delta} \delta_{\Delta} \nabla \operatorname{div} h ; \quad (65)$$

$$\ast \frac{\partial \vec{v}'}{\partial t} = -(\vec{v}' \nabla) \vec{v}' - \frac{1}{\rho'} \nabla p \quad (66)$$

Розкриті рівняння (65) разом з розкритим (66) у трьохвимірному просторі мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U'_x}{\partial t} = & -U'_x \frac{\partial U'_x}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_x}{\partial y} - U'_z \frac{\partial U'_x}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu \left(\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \frac{\partial U'_y}{\partial y} - \frac{2}{3} \delta_{x,\Delta} \frac{\partial U'_x}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta_{3,6,\Delta} \delta_{x,\Delta} \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_x}{\partial x} + \\ & + \frac{\partial U'_x}{\partial t} + U'_x \frac{\partial U'_x}{\partial x} + U'_y \frac{\partial U'_x}{\partial y} + U'_z \frac{\partial U'_x}{\partial z} + \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_x}{\partial x} \end{aligned} \quad (67)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U'_y}{\partial t} = & -U'_x \frac{\partial U'_y}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_y}{\partial y} - U'_z \frac{\partial U'_y}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu \left(\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial U'_z}{\partial z} - \frac{2}{3} \delta_{y,\Delta} \frac{\partial U'_y}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(\zeta_{3,6,\Delta} \delta_{y,\Delta} \frac{\partial h}{\partial y} \right) - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_y}{\partial y} + \\ & + \frac{\partial U'_y}{\partial t} + U'_x \frac{\partial U'_y}{\partial x} + \rho U'_y \frac{\partial U'_y}{\partial y} + U'_z \frac{\partial U'_y}{\partial z} + \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_y}{\partial y} \end{aligned} \quad (68)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U'_z}{\partial t} = & -U'_x \frac{\partial U'_z}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_z}{\partial y} - U'_z \frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[\nu \left(\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial U'_x}{\partial x} - \frac{2}{3} \delta_{z,\Delta} \frac{\partial U'_z}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left(\zeta_{3,6,\Delta} \delta_{z,\Delta} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_z}{\partial z} + \\ & + \frac{\partial U'_z}{\partial t} + U'_x \frac{\partial U'_z}{\partial x} + U'_y \frac{\partial U'_z}{\partial y} + U'_z \frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_z}{\partial z} \end{aligned} \quad (69)$$

Рівняння (66) включено у дану систему з метою стабілізації рівня турбулентності у придонній області, який залежить від зміни тиску. Після відповідних скорочень отримуємо наступні розрахункові рівняння:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\nu \left(\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \frac{\partial U'_y}{\partial y} - \frac{2}{3} \delta_{\Delta,x} \frac{\partial U'_x}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta_{3,6,\Delta} \frac{\partial h}{\partial x} \delta_{\Delta,x} \right) = 0 ; \quad (70)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[\nu \left(\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial U'_z}{\partial z} - \frac{2}{3} \delta_{\Delta,y} \frac{\partial U'_y}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(\zeta_{3,6,\Delta} \frac{\partial h}{\partial y} \delta_{\Delta,y} \right) = 0 . ; \quad (71)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[\nu \left(\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial U'_x}{\partial x} - \frac{2}{3} \delta_{\Delta,z} \frac{\partial U'_z}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left(\zeta_{3,6,\Delta} \frac{\partial h}{\partial z} \delta_{\Delta,z} \right) = 0 . \quad (72)$$

Отримані рівняння представляють однорідну стаціонарну систему.

Після диференціювання і інтегрування даних рівнянь, при меженних умовах від 0 до $U'_{\Delta \partial, p}$ і від 0 до $h_{\partial, p}$ отримуємо наступні вирази:

$$\begin{aligned} -0,333. \nu U'^3_{\Delta, x, \partial, p} + 0,222. \nu \delta_{\Delta, x} U'^3_{\Delta, x, \partial, p} - 0,333. \zeta_{3,6,\Delta} \delta_{\Delta, x} h^3_{\Delta, x, \partial, p} &= 0 ; \\ -0,333. \nu U'^3_{\Delta, y, \partial, p} + 0,222. \nu \delta_{\Delta, y} U'^3_{\Delta, y, \partial, p} - 0,333. \zeta_{3,6,\Delta} \delta_{\Delta, y} h^3_{\Delta, y, \partial, p} &= 0 ; \\ -0,333. \nu U'^3_{\Delta, z, \partial, p} + 0,222. \nu \delta_{\Delta, z} U'^3_{\Delta, z, \partial, p} - 0,333. \zeta_{3,6,\Delta} \delta_{\Delta, z} h^3_{\Delta, z, \partial, p} &= 0 . \end{aligned}$$

З цих виразів отримані наступні розрахункові формули для визначення величин пульсації субстрату в координатах x , y і z :

$$U'_{\Delta.x.\partial.p} = \left(\frac{0,333.\zeta_{3.6.\Delta} \delta_{x.\Delta} h^3_{\partial.p}}{0,333.v - 0,222.v \delta_{x.\Delta}} \right)^{0,333}; \quad (73)$$

$$U'_{\Delta.y.\partial.p} = \left(\frac{0,333.\zeta_{3.6.\Delta} \delta_{y.\Delta} h^3_{\partial.p}}{0,333.v - 0,222.v \delta_{y.\Delta}} \right)^{0,333}. \quad (74)$$

$$U'_{\Delta.z.\partial.p} = \left(\frac{0,333.\zeta_{3.6.\Delta} \delta_{z.\Delta} h^3_{\partial.p}}{0,333.v - 0,222.v \delta_{z.\Delta}} \right)^{0,333}. \quad (75)$$

де $\zeta_{3.6.\Delta} = \zeta_{3.3.6} + 0,333v = 2\pi h + \mu + 0,333v$ – загальна в'язкість субстрату у придонній області заплавного потоку; $\delta_{\Delta.x}$, $\delta_{\Delta.y}$ і $\delta_{\Delta.z}$ – відповідно товщина придонної області по координатах x , y і z , яку рекомендується назначати домірною подвоєній висоті виступів абсолютної шорсткості поверхні заплави $2\Delta_{сер.36}$. Товщина придонної області потоку δ_{Δ} може бути як досить малою, так і значною в залежності від рельєфу поверхні заплави, сформованого під впливом природних і антропогенних чинників,

Аналізуючи наведені вище формули (73-75) видно, що при дії хвилі деформації від навантаження водних мас у придонній області потоку інтенсивність пульсації субстрату різко збільшується у порівнянні з відсутністю дії такої сили. Цей аргумент є досить сильним стосовно забезпечення природного стану русло-заплавного комплексу річок і недопущення на них будь-якого спрямлення звивин (меандр) та порушення поверхні заплави. Оскільки при цьому буде спостерігатись значний транзит наносів на нижні ділянки річки (порушуватись динамічна рівноваги системи). Як видно з формул (73-75) швидкість пульсації однозначно залежить від глибини як руслового, так і заплавного потоків.

Для визначення компонент тиску у придонній області можемо використати рівняння (65), яке наведене у розкритому вигляді

$$\frac{\partial U'_x}{\partial t} = -U'_x \frac{\partial U'_x}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_x}{\partial y} - U'_z \frac{\partial U'_x}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[v \left(\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \frac{\partial U'_y}{\partial x} - \frac{2}{3} \delta_{x.\Delta} \frac{\partial U'_x}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta_{3.6.\Delta} \frac{\partial h}{\partial x} \delta_{\Delta.x} \right) - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_x}{\partial x}; \quad (76)$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial t} = -U'_x \frac{\partial U'_y}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_y}{\partial y} - U'_z \frac{\partial U'_y}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} \left[v \left(\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial U'_z}{\partial y} - \frac{2}{3} \delta_{y.\Delta} \frac{\partial U'_y}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(\zeta_{3.6.\Delta} \frac{\partial h}{\partial y} \delta_{\Delta.y} \right) - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_y}{\partial y}; \quad (77)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial t} = -U'_x \frac{\partial U'_z}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_z}{\partial y} - U'_z \frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[v \left(\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial U'_x}{\partial z} - \frac{2}{3} \delta_{z.\Delta} \frac{\partial U'_z}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left(\zeta_{3.6.\Delta} \frac{\partial h}{\partial z} \delta_{\Delta.z} \right) - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_z}{\partial z}. \quad (78)$$

які після диференціювання і інтегрування у межах від 0 до $U'_{\partial.p}$, $0/\rho_{\partial.p}$ і від 0 до $h_{\partial.p}$ та при початковій умові збереження стану динамічної рівноваги системи $\partial U'/\partial t|_{t \rightarrow 0}$ дають наступні вирази:

$$\begin{aligned} U'^2_{\Delta.x.\partial.p} - 0,333..v U'^3_{\Delta.x.\partial.p} + 0,222..v \delta_{x.\Delta} U'^3_{\Delta.x.\partial.p} + (1/\rho') p_{x.\partial.p} - 0,333.\zeta_{3.3.6.\Delta} \delta_{x.\Delta} h^3_{\partial.p} &= 0; \\ U'^2_{\Delta.y.\partial.p} - 0,333..v U'^3_{\Delta.y.\partial.p} + 0,222..v \delta_{y.\Delta} U'^3_{\Delta.y.\partial.p} + (1/\rho') p_{y.\partial.p} - 0,333.\zeta_{3.3.6.\Delta} \delta_{y.\Delta} h^3_{\partial.p} &= 0; \\ U'^2_{\Delta.z.\partial.p} - 0,333..v U'^3_{\Delta.z.\partial.p} + 0,222..v \delta_{z.\Delta} U'^3_{\Delta.z.\partial.p} + (1/\rho') p_{z.\partial.p} - 0,333.\zeta_{3.3.6.\Delta} \delta_{z.\Delta} h^3_{\partial.p} &= 0, \end{aligned}$$

з яких отримуємо розрахункові формули

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

$$p_{\Delta.x.\partial.p} = (0,333.\nu U'^3_{\Delta.x.\partial.p} - U'^2_{\Delta.x.\partial.p} - 0,222.\nu.\delta_{x.\Delta} U'^3_{\Delta.x.\partial.p} + 0,333.\zeta_{3.3.6.\Delta} \delta_{x.\Delta} h^3_{\partial.p}) \rho'; \quad (79)$$

$$p_{\Delta.y.\partial.p} = (0,333.\nu U'^3_{\Delta.y.\partial.p} - U'^2_{\Delta.y.\partial.p} - 0,222.\nu.\delta_{y.\Delta} U'^3_{\Delta.y.\partial.p} + 0,333.\zeta_{3.3.6.y.\Delta} \delta_{y.\Delta} h^3_{\partial.p}) \rho'; \quad (80)$$

$$p_{\Delta.z.\partial.p} = (0,333.\nu U'^3_{\Delta.z.\partial.p} - U'^2_{\Delta.z.\partial.p} - 0,222.\nu.\delta_{z.\Delta} U'^3_{\Delta.z.\partial.p} - 0,333.\zeta_{3.3.6.z.\Delta} \delta_{z.\Delta} h_{\partial.p}) \rho'. \quad (81)$$

Приклад розрахунку основних характеристик заплавного потоку для гідрологічного поста Сірет– м. Сторожинець. Вихідні дані для розрахунків. Для розв'язування системи рівнянь Нав'є – Стокса достатньо мати вихідну інформацію у наступному складі: профіль русло-заплавного комплексу на розрахунковій ділянці; характеристики шорсткості поверхні заплави, які необхідні для визначення $\lambda_{з.зап}$, $\delta_{\Delta.x}$, $\delta_{\Delta.y}$ і $\delta_{\Delta.z}$; значення поверхневих швидкостей в русловому потоці; ширину заплави по берегах річки; топографічну зйомку масштабу 1 : 200; середня ширина заплави з правого берега річки сягає $B_n = 800$ м на довжині ділянки $l_n = 10$ км, поверхня рівна, подекуди зустрічаються дерева і кущі, з луговою низькою рослинністю, абсолютну висоту виступів шорсткості поверхні можна прийняти рівною $\Delta_{сер} = 0,18$ м. Середня ширина лівої заплави $B_n = 400$ м з аналогічною шорсткістю поверхні. Середня ширина русла річки між бровками $B_6 = 45$ м. Бровки русла на однаковій висоті. Середня глибина затоплення русло-заплавного комплексу $h_{сер} = 0,5$ м (у межах прояву динаміко-кінематичного ефекту). Поздовжній похил заплави $l_{0.3} = 0,0013$. Середня поверхнева швидкість руслового потоку біля бровок $V_{пов.р.п.б} = 0,20$ м. Середні поверхневі швидкості руслового потоку через 7,5 м відповідно дорівнюють – 0,20, 1,40, 2,00, (2,20), 2,00, 1,40, 0,20 (м/с) [1]. Висота берегових валів домірна $h_{вал} = 0,15$ м. Слід зауважити, що відсіки періодично відділяються між собою мезовирами, які формуються ланцюгами вздовж ввігнутих берегів.

Розрахунок основних характеристик для центрального відсіку. Початкова умова $V_{дон.з.п.х} = V_{пов.р.п.х}$ (згідно розподілу поверхневих швидкостей руслового потоку по ширині русла в бровках), $V_{пов.з.п.х} = V_{пов.р.п.х}$ (згідно цієї формули у центральному відсіку при симетричному поперечному перерізі потоку маємо ламінарний режим та відповідно тотожність гідравлічних похилів). Середня глибина потоку у центральному відсіку $h_{сер} = 0,50$ м (глибина потоку приймається домірною вихідним даним). Витрата води в центральному відсіку русло-заплавного потоку складає

$$Q_{р-з.ц.в} = \sum_{i=1}^{n=6} q = 45 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Основні розрахункові характеристики: коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu = 0,131 \text{ кг/м}\cdot\text{с}$; коефіцієнт кінематичної в'язкості (відповідає середній температурі води 10°C) $\nu = 131 \text{ м}^2/\text{с}$; віртуальна густина субстрату $\rho' = 1050 \text{ кг/м}^3$ (відповідають середній температурі води 10°C) та висота хвилі деформації $h_{х.д} = 2\pi h = 3,14$ м; за цими даними $\zeta_{3.3.п.б.в} = 3,14 + 0.131 = 3,27 \text{ кг/м}\cdot\text{с}$.

Розрахунок основних характеристик для лівого відсіку заплавного потоку На першому етапі розрахунків визначаємо витрату води за формулою Шезі - Манінга $Q = 153 \text{ м}^3/\text{с}$ (при коефіцієнті шорсткості поверхні заплави $n_3 = 0,03$, $C = 30$ і $l_0 = 0,0013$). Середня швидкість при цій витраті води дорівнює $V_{сер} = 0,765 \text{ м/с}$. Спершу визначаємо ΔH_n за формулою (42), що відповідно дорівнює $\Delta H_n = 0,0022$ м. Приймаємо $\Delta h = 6,40$ м, при цьому маємо наступні значення переміщення субстрату: $\delta_x = 1,37$ м, $\delta_y = 6,58$ м, і $\delta_z = 2,69$ м. Наступним етапом є визначення

компонент швидкості переміщення субстрату - $V_x = 0,67$ м/с, $V_y = 0,14$ м/с, $V_z = 0,34$ м/с. На основі цих даних середня швидкість течії $V_{сер} = 0,764$ м/с. При такому значенні середньої швидкості потоку витрата води для лівого відсіку заплави складає $Q = 153$ м³/с. Компоненти середньої швидкості пульсації у придонній області заплавного потоку за розрахунками складають - $U'_{x,\Delta} = U'_{y,\Delta} = U'_{z,\Delta} = 0,17$ м/с (при $\delta_x = \delta_y = \delta_z = 0,1$ м), $U'_{сер} = 0,29$ м/с. Дані компоненти обраховані при загальній в'язкості субстрату у придонній області $\zeta_{зз.в.\Delta} = \zeta_{з.з.п.б.в} + 0,333v = 3,27 + 46,89 = 50$ кг/м·с. Компоненти тиску у придонній області - $p_{x\Delta} = p_{y\Delta} = p_{z\Delta} = 0,41$ кгс/м², $p_{\Delta з.п} = 0,71$ кгс/м², або 0,0007 Па.

За допомогою обчислених вище характеристик можна знайти решту основних, які для лівого відсіку заплави складають: - $I_0 = 0,001$. Потім визначаємо за новими даними поздовжнього похилу можливу висоту поперечного перевалу $\Delta H_n = 0,0018$ м. При цій величині ΔH_n необхідне коректування деяких даних. Нове значення $\delta_z = 2,51$ м дає нам $V_z = 0,36$ м/с, $V_{сер} = 0,77$ м/с, $Q = 155$ м³/с, $\lambda = 0,0034$, $\Delta Q = 0$ м³/с, $\Delta \omega_{\partial.p} = 0$ м², $I_n = 0,00052$. Витрата транспортувальних наносів у лівому відсіку заплавного потоку складає - $G_{\partial.p.n.з} = q_{x.\partial.p} + q_{y.\partial.p} + q_{z.\partial.p} = 155 - 245,33 - 0,33 = - 90,66$ кг/с. Таким чином, транзит наносів з меж лівого відсіку відсутній і лише зможе спостерігатись процес значної акумуляції наносів.

Розрахунок основних характеристик для правого відсіку заплавного потоку. Витрата води в цьому відсіку за формулою Шезі-Манінга $Q = 306$ м³/с (при коефіцієнті шорсткості поверхні заплави $n_3 = 0,03$, $C = 30$ і $I_0 = 0,0013$). Середня швидкість при цій витраті води дорівнює $V_{сер} = 0,765$ м/с. По аналогії з розрахунками характеристик лівого відсіку заплави визначаємо ΔH_n за формулою (42), що відповідно дорівнює $\Delta H_n = 0,0044$ м. Приймаємо $\Delta h = 2,96$ м, при цьому маємо наступні значення переміщення субстрату: $\delta_x = 1,30$ м, $\delta_y = 6,58$ м, і $\delta_z = 3,38$ м. Наступним етапом є визначення компонент швидкості переміщення субстрату - V_x .

$= 0,70$ м/с, $V_y = 0,14$ м/с, $V_z = 0,27$ м/с. На основі цих даних середня швидкість течії $V_{сер} = 0,763$ м/с. При такому значенні середньої швидкості потоку витрата води для правого відсіку заплави складає $Q = 305$ м³/с. Компоненти середньої швидкості пульсації у придонній області заплавного потоку за розрахунками складають - $U'_{x,\Delta} = U'_{y,\Delta} = U'_{z,\Delta} = 0,17$ м/с (при $\delta_x = \delta_y = \delta_z = 0,1$ м), $U'_{сер} = 0,29$ м/с. Дані компоненти обраховані при загальній в'язкості субстрату у придонній області $\zeta_{зз.в.\Delta} = \zeta_{з.з.п.б.в} + 0,333v = 3,27 + 46,89 = 50$ кг/м·с. Компоненти тиску у придонній області - $p_{x\Delta} = p_{y\Delta} = p_{z\Delta} = 0,41$ кгс/м², $p_{\Delta з.п} = 0,71$ кгс/м², або 0,0007 Па.

За допомогою обчислених вище характеристик можна знайти решту основних, які для правого відсіку заплави складають: - $I_0 = 0,00053$. Потім визначаємо за новими даними поздовжнього похилу можливу висоту поперечного перевалу $\Delta H_n = 0,0018$ м. При цій величині необхідна корегування деяких даних. Нове значення $\delta_z = 2,51$ м дає нам $V_z = 0,366$ м/с, $V_{сер} = 0,80$ м/с, $Q = 321$ м³/с, $\lambda = 0,0018$, $\Delta Q = 0$ м³/с, $\Delta \omega_{\partial.p} = 0$ м², $Q_{п.з} = 302,25 + 130 = 432,25$ м³/с, $I_n = 0,00025$. Витрата транспортувальних наносів у правому відсіку заплавного потоку складає - $G_{\partial.p.n.з} = q_{x.\partial.p} + q_{y.\partial.p} + q_{z.\partial.p} = 321 - 479,33 - 0,33 = - 158,66$ кг/с. Таким чином, транзит наносів з меж даного відсіку відсутній і лише зможе спостерігатись процес значної акумуляції наносів.

Загальна витрата води заплавного потоку домірна $Q_{з.п} = 155 + 45 + 321 = 521$ м³/с.

Висновки. Викладені матеріали стосовно розв'язування наведеної вище системи рівнянь Нав'є – Стокса і прикладу розрахунку основних характеристик заплавного потоку дають можливість сформулювати наступні науково-методичні положення:

1. Кінематика заплавного потоку в центральному відсіку, розміщеного над поверхнею руслового потоку, наближена за характером течії до ламінарного режиму.

2. Кінематика заплавного потоку в бокових відсіках характеризується плоскою задачею, де течія підпорядкована прояву динаміко-кінематичного ефекту, який додатково збурює субстрат потоку вировими структурами руслового походження. Значна акумулятивна прибавка витрат води у бокових відсіках на довжині ділянок між двома поперечними пологими перевалами пов'язана з впливом періодичних коливань потоку. На фоні резонансу частоти коливань відміток перевалів і частоти коливань пульсації субстрату у придонній області потоку по поверхні заплави між перевалами, в умовах стаціонарного гідравлічного режиму, відбувається періодична вертикальна або поперечно-вертикальна динаміка водних мас суцільного середовища.

3. Русловий потік при витратах води і транспортувальних наносів вищих від руслоформуєвальних значень розвантажується в боки долини і таким чином формуються тераси (при проходженні катастрофічних паводків).

Список літератури

1. *Онищук В.В.* Розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса для оцінки динамічної рівноваги системи «потік-русло» /В.В. Онищук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія 6 Наук. Збірник / Гол. Редактор В.К. Хільчевський. - К.: ВГП Обрії, 2016. - Т.4(43). - С. 6-24. 2. *Темам Р.* Уравнения Навье – Стокса. Теория и численный анализ /Р. Темам. – 2-е изд. М.: Мир, 1981. – 408 с. 3. Автореф. дис... канд. фіз.-мат. наук: 01.05.02 / В.М. Трушевський; НАН України. Ін-т приклад. проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України. — Львів, 2004. — 16 с. 4. *Седов Л.И.* Механика сплошной среды /Л.И. Седов.-Т.1. - М. Наука, 1983.- 528с. 5. *Дмитревский В.И.* Гидромеханика /В.И. Дмитревский. – М.: Изд-во «Морской транспорт», 1962. – 296 с. 6. *Войткунский Я.И.* Фаддеев Ю.И., Федяевский К.К. Гидромеханика. Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп./я.и. Войткунский, Ю.И. Фаддеев, К.К. Федяевский. – Л.: Судостроение, 1982. – 456 с.

Розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса для оцінки гідроморфологічного стану русло-заплавного комплексу

Онищук В. В.

На основі аналітичного розв'язування замкненої системи рівнянь Нав'є-Стокса виконана оцінка гідроморфологічного стану русло- заплавного комплексу. Для рівняння руху течії запропоновано додаткове рівняння, яке стабілізує досягнутий рівень турбулентності заплавного потоку. Аналогічна процедура запропонована для оцінки характеристик придонної області. За допомогою системи з тринадцяти рівнянь оцінені основні характеристики поздовжньої стійкості потоку, розвитку деформацій з оцінкою транспортувальної здатності водотоку та придонної області заплавного потоку. За отриманими розрахунковими формулами оцінено гідроморфологічний стан ділянки мандруючої річки в районі гідрологічного поста Сірет – Сторожинець (Чернівецька область). Установлено, що гідродинамічний тиск субстрату у придонній області наближений до помірного вакууму у порівнянні з русловим потоком, що вказує на наявність нейтрального шару між двома енергетичними потоками з різко відмінними потенціалами. На межі руслового і підруслового (фільтраційного) потоків має місце динамічна рівновага взаємного масообміну між водою і повітрям у вигляді продукування мікровирів і антимікровирів на фоні дії ефекту ежекції.

Ключові слова: гідродинамічна система «потік-русло-заплава», рівняння Нав'є-Стокса, “заморожена” турбулентність, планові деформації поверхні заплави, гідроморфологічний стан русло-заплавного комплексу.

Решение системы уравнений Навье - Стокса для оценки гидроморфологического состояния русло-пойменного комплекса

Онищук В. В.

На основе аналитического решения замкнутой системы уравнений Навье-Стокса выполнена оценка гидроморфологического состояния русло- пойменного комплекса. Для уравнения движения течения предложено дополнительное уравнение, которое стабилизирует достигнутый уровень турбулентности пойменного потока. Аналогичная процедура предложена для оценки характеристик придонной области. С помощью системы из тринадцати уравнений оценены основные характеристики продольной устойчивости потока, развития деформаций с оценкой транспортировочной способности водотока и придонной области пойменного потока. По полученным расчетным формулам дана оценка гидроморфологического состояния участка меандрирующей реки в районе гидрологического поста Сирет - Сторожинец (Черновицкая область). Установлено, что гидродинамическое давление субстрата в придонной области приближенно к умеренному вакууму по сравнению с русловым потоком, что указывает на наличие нейтрального слоя между двумя энергетическими потоками с резко отличными потенциалами. На границе руслового и подруслового (фильтрационного) потоков имеет место динамическое равновесие взаимного массообмена между водой и воздухом в виде выработки микровихров и антимикровихров на фоне действия эффекта эжекции в обоих направлениях.

Ключевые слова: гидродинамическая система «поток-русло-пойма», уравнения Навье-Стокса, "замороженная" турбулентность, плановые деформации поверхности поймы, гидроморфологическое состояние русло-пойменного комплекса.

Solving the system of Navier-Stokes equations for estimation of hydromorphological state flood - channel complex

Onischuk V.

Based on the analytical solution of closed system of Navier-Stokes equations the estimation hydromorphological condition flood - channel complex. For the equations of motion of the current proposed additional equation, which stabilizes the current level of turbulence flood flow. The same procedure proposed for assessing the characteristics of the bottom area. With the system of thirteen equations estimated basic characteristics of longitudinal stability of the flow of strains with an estimate of shipping capacity of the watercourse and the bottom field flood flow. According to the calculation formula assessed hydromorphological state area traveling near the river Surety hydrological post - Storozhynets (Chernivtsi region). Established that the hydrodynamic pressure in the bottom substrate area close to the vacuum moderate compared to the flow channel, which indicates the presence of a neutral layer between two energy flows dramatically different potentials. At the edge of the channel and filtration flows is a dynamic equilibrium relative mass exchange between water and air in the form of production microeddy and antimicroeddy and action against the background effect ejection. Kinematics flood flow in the central compartment located above the flow channel, close to the nature of laminar flow regime. Kinematics flood flow in the side compartments characterized by a flat object, which is subject to the current manifestation of the dynamical-kinematic effects, further divided the substrate flow channel structures Whirlpool origin. Much accumulative increase of water flow in the lateral compartment on the length of the two transverse flat passes linked to the influence of periodic oscillations of flow. Against the background of the resonance frequency of oscillation marks passes and oscillation frequency ripple in the bottom area of the substrate onto the surface of the floodplain between passes in a residential hydraulic regime is periodic vertical or transverse vertical dynamics of water masses continuum. The flow channel at a cost of shipping water and sediment from the higher values channel bed water flow channels unloaded in the sides of the valley, thus forming terraces (the passage of catastrophic floods)

Keywords: hydrodynamic system of "flow-channel-floodplain" Navier-Stokes equations, "frozen" turbulence, planned floodplain surface deformation hydromorphological condition of channel-floodplain complex.

Надійшла до редколегії 02.02.2017

УДК 551.482:627.142

*Ободовський Ю.О., Ободовський О.Г., Хільчевський В.К., Данько К.Ю.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

ВІДПОВІДНІСТЬ ЗАГАЛЬНОГО ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ТИПАМ РУСЕЛ РІЧОК ВЕРХНЬОЇ ЧАСТИНИ БАСЕЙНУ ТИСИ (В МЕЖАХ УКРАЇНИ)

Ключові слова: загальний гідроенергетичний потенціал, типи русел, репрезентативна ділянка, потужність потоку, зміна похилу на водозборі, водність річки

Вступ. В Україні з 63119 річок, до малих відносять 63029 [9], гідроенергоресурси яких є потенційним джерелом електроенергії. Найбільш перспективними в цьому контексті є річки Українських Карпат, які характеризуються значною водністю та сприятливими гідравлічними умовами (достатня водність і великі похили) [5,7]. Тому річки Українських Карпат є найбільш репрезентативним з огляду на апробацію комплексної методики встановлення гідроенергетичного потенціалу річок. Крім того, річки карпатського регіону мають надзвичайно важливий екологічний та природно-естетичний потенціал, що саме і змушує підходити комплексно до оцінки енергетичних ресурсів водотоків та майбутнього їх використання через розвиток малої гідроенергетики, як альтернативної. Використання гідроенергетичного потенціалу карпатських річок в басейні Тиси може в майбутньому вирішити проблему не лише забезпечення населення та господарських об'єктів електроенергією (шляхом малих ГЕС), але й її можливе експортування за межі України [6].

Вихідні матеріали. Для розрахунку загального гідроенергетичного потенціалу (ЗГП) річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) було залучено 24 річки (довжиною, як правило, понад 10 км), на яких були виділені 86 однорідних ділянок з яких для басейнів річок Чорна Тиса (35 ділянок), Біла Тиса (34 ділянки), Тиса (6 ділянок), Косівська (3 ділянки), Шопурка (8 ділянок) рис. 1. За цими ділянками були встановлені типи русел річок та проведений розрахунок ЗГП для вказаних річок.

На базі натурних експедиційних досліджень, відповідного картографічного матеріалу, космічних знімків визначені типи русел, які знаходяться в суббасейнах Чорної і Білої Тиси, Тиси до держкордону з Румунією, Шопурки, та Косівської. Результатом цих досліджень представлені, і на рис. 3 [4, 7].

Методичні положення. Встановлення загального гідроенергетичного потенціалу річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) виконувалось за схемою та алгоритмом [5].

Важливим з огляду на розуміння даної ідеї є визначення терміну «гідроенергетичний потенціал» (ГП) та його складових. У літературі є декілька підходів до його тлумачень [10, 11, 13]. В своїх дослідженнях ми виділяємо (за О.Г.Ободовським) 4 категорії гідроенергетичного потенціалу: загальний (природний теоретичний), екологічно обґрунтованих, технічно можливий та економічно обґрунтований гідроенергетичний потенціал [3,5,6].

Для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) була проведена оцінка типів русел [8]. Найбільш узагальнюючим і важливим показником, що характеризує гідроенергетичну потужність водотоку є загальний

гідроенергетичний потенціал (ЗГП), як характеристика повної теоретичної енергії річкового стоку. Для його визначення обчислюється потужність енергії стоку води.

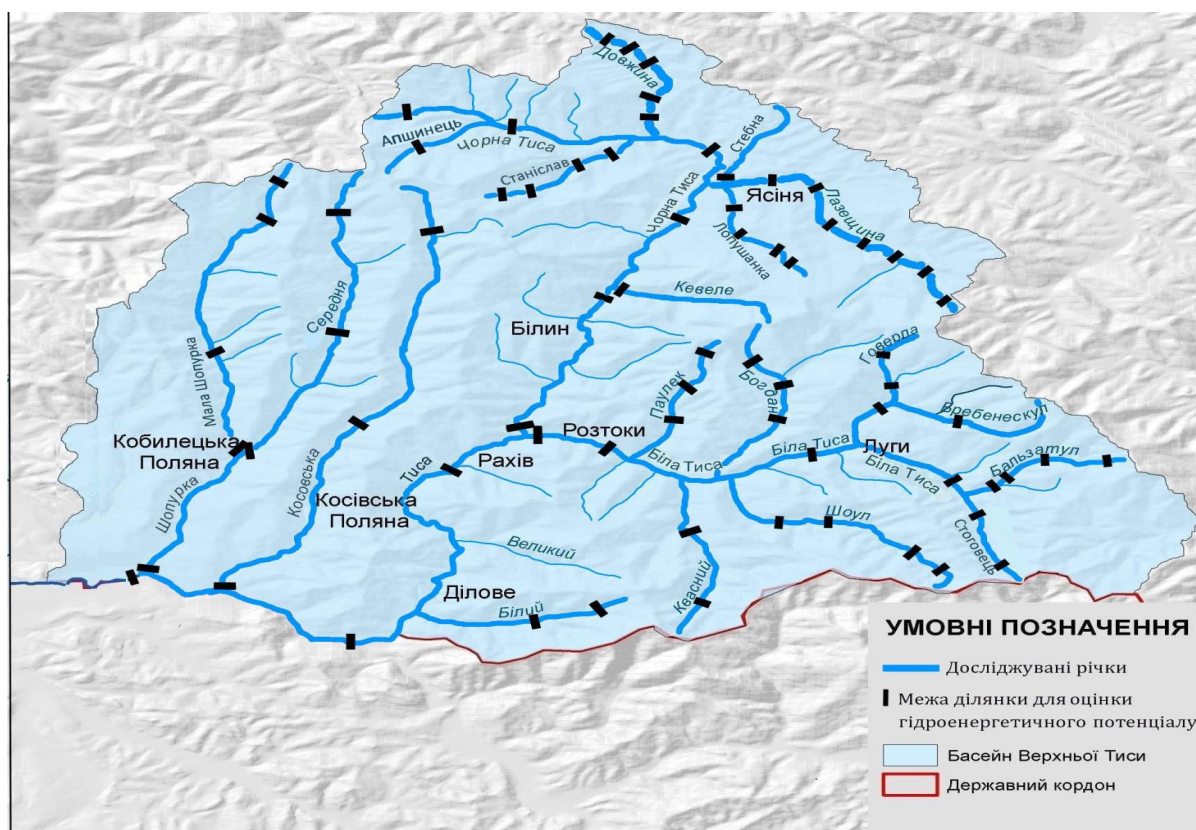


Рис 1. Ділянки річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) за якими розрахований загальний гідроенергетичний потенціал

На думку ряду авторів [10, 12] найбільш коректні та об'єктивні результати дає метод сумарного поділянкового обліку встановлення ЗГП. Його сутність полягає в тому, що проводиться оцінка загальної потужності всіх ділянок річки, які потенційно можна енергетично використати. Основними критеріями для вибору ділянок є наявність більш-менш однорідного похилу (наприклад, поріжно-водоспадні русла річок з похилом $I > 30\text{‰}$), або значна бокова приточність, яка змінює гідравлічні умови річки. Для кожної ділянки визначається її загальна потужність (N , кВт) [6].

Основні результати досліджень. Для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) встановлено, що найбільшою гідроенергетичною потужністю характеризуються річки басейну Білої Тиси де їх, енергетичний представляє 53926 кВт (що складає 25,3% від загального по вказаному водозбору Тиси) (рис. 2). Дещо меншою гідроенергетичною потужністю характеризуються басейни річок Чорна Тиса та Тиса, енергетичний потенціал водотоків яких являється 52714 кВт (24,7%) та 51561 кВт (24,2%) відповідно від загального енергетичного потенціалу. Басейн річки Шопурка має значно менші показники загального енергетичного потенціалу, який складає 37551 кВт (17,6%) від його загальної величини. Найменшу гідроенергетичну потужність має басейн річки Косівська, енергетичний потенціал водотоків становить лише 17295 кВт (8,1%) від загального (рис. 2) [2].

При оцінці загального енергетичного потенціалу вказаного водозбору варто використовувати оцінку типів русел (рис. 3), які також значною мірою обумовлюються зміною похилу за довжиною. А цей показник показово визначає гідроенергетичний потенціал річки.

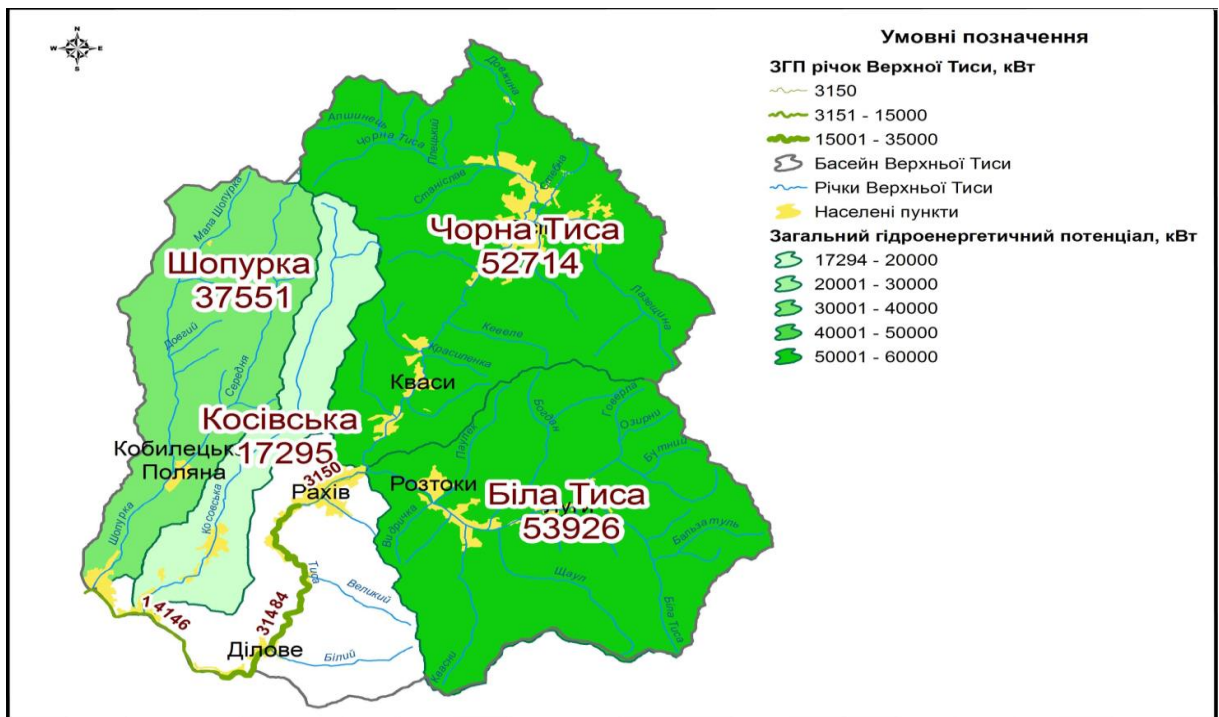


Рис. 2. Загальний гідроенергетичний потенціал річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) [2]

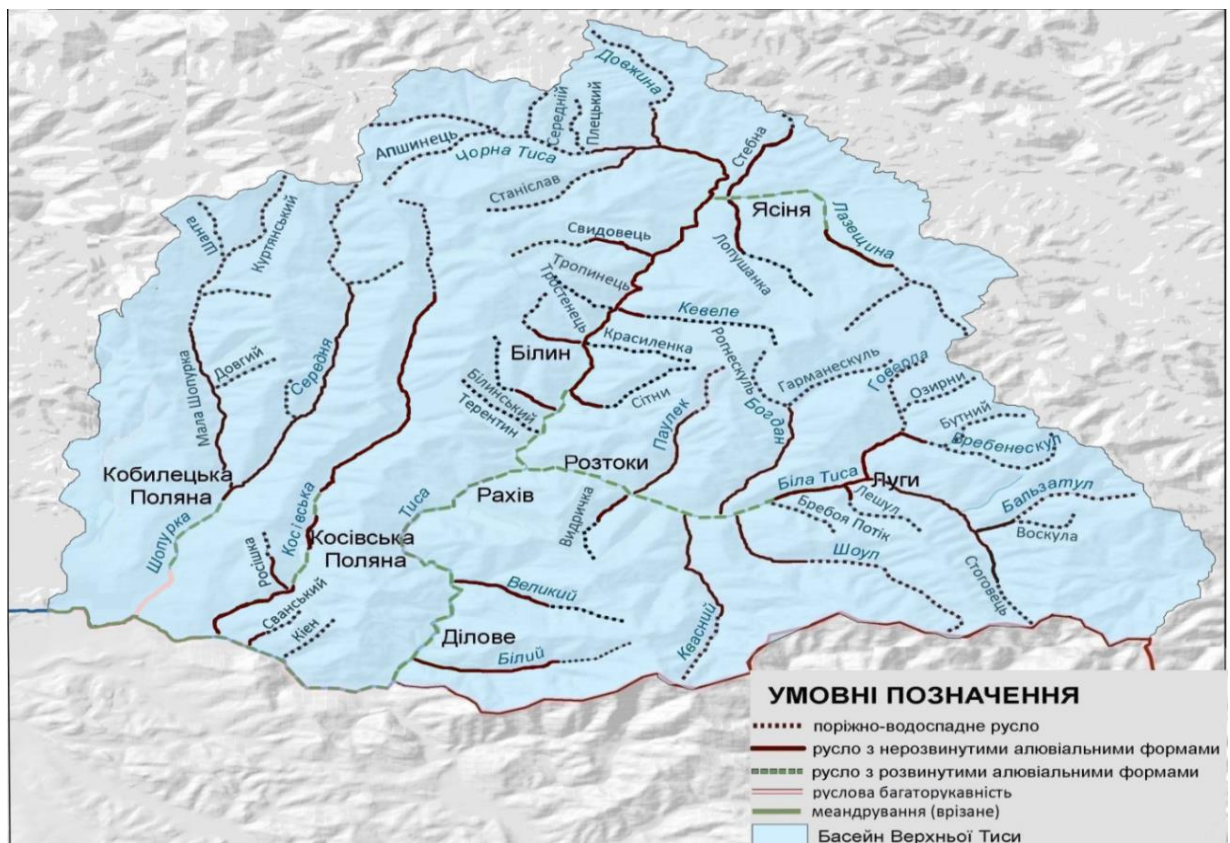


Рис. 3. Типи русел річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) [8]

Для 86 репрезентативних ділянок було виділено 4 типи русла: 1 - поріжно-водоспадне русло; 2 – русло з нерозвинутими алювіальними формами; 3 – русло з розвинутими алювіальними формами; 4 – меандрування (врізане) (рис. 3) [8]. Їх

відповідність до виділених ділянок, похили та загальний гідроенергетичний потенціал наведені в табл. 1. Варто відмітити, що руслова багаторукавність, яка розташована на річці Шопурка біля впадіння в річку Тиса займає незначну площу для однієї із ділянок при оцінці загального енергетичного потенціалу, тому цей тип русла не було враховано.

Аналізуючи дані таблиці 1 можна зробити висновок, що поріжно–водоспадні русла зустрічаються на 41 ділянці (47,7% від загальної протяжності русел річок досліджуваного басейну), русла з нерозвинутими алювіальними формами – на 37 ділянках (43,0%), русла з розвинутими алювіальними формами відповідно на 6 ділянках (7,0%), і меандрування (врізане) притаманно для 2 ділянок (2,3%).

Для річок басейну Чорної Тиси характерним є розповсюдження 21 ділянки з поріжно–водоспадним руслом, 12 ділянок з руслом з нерозвинутими алювіальними формами та 3 ділянок з розвинутими алювіальними формами (табл.1, рис.1, рис.3). Варто відмітити, що найбільше розповсюдження ділянок з поріжно–водоспадним руслом зустрічається для гірських районів і витоків річок басейну Чорної Тиси. Для них також притаманні і найбільші похили на вказаному водозборі значення яких досягають 242,2 % для р. Чорна Тиса та 281,8 % для р. Лазещина (табл. 1). Що стосується русел з нерозвинутими алювіальними формами, то вони розповсюджені переважно в середній і нижній течії річок Чорної Тиси. Похили тут зменшуються (максимальний показник 32,1% для р. Довжина), але водність збільшується за рахунок впадіння приток. Русла з розвинутими алювіальними формами притаманні лише для 2 ділянок на р. Лазещина. Похил на цих ділянках коливається від 3,7 % до 4,8 % (табл. 1, рис. 3).

За даними табл. 1 видно, що для річки Чорна Тиса найбільші значення загального енергетичного потенціалу характерні для русел з нерозвинутими алювіальними формами – 32425 кВт. Для поріжно–водоспадних русел він складає всього 3170 кВт.

Найбільші показники ЗГП характерні для поріжно–водоспадних русел, річка Станіслав – 1597 кВт. Що стосується річки Довжина, то для неї характерним є найбільше значення загального енергетичного потенціалу для поріжно–водоспадних русел – 904 кВт, русла з нерозвинутими алювіальними формами мають дещо меншу потужність потоку, що становить 789 кВт. Для р. Лазещина найбільше значення ЗГП притаманне для русел з розвинутими алювіальними формами – 2401 кВт, русла з нерозвинутими алювіальними формами мають 1691 кВт, найменше значення ЗГП притаманне для поріжно–водоспадних русел – 711 кВт. Для Лопушанки найбільші величини загального гідроенергетичного потенціалу характерні для русел з нерозвинутими алювіальними формами – 801 кВт, для поріжно – водоспадних русел значення ЗГП менше і становить – 222 кВт (табл. 1, рис. 2).

Для річок басейну Білої Тиси характерним є наявність 17 ділянок русел з нерозвинутими алювіальними формами, 15 ділянок з поріжно–водоспадними руслами і 2 ділянки з розвинутими алювіальними формами (рис.1, рис. 3). Варто відмітити, що найбільше розповсюдження русел з нерозвинутими алювіальними формами характерне в середніх течіях лівобережних і правобережних приток річки Біла Тиса [8]. Поріжно–водоспадні русла в свою чергу розташовані біля витоків і у найбільш високогірних районах річок басейну Білої Тиси і мають найбільші похили на р. Бальзатул 454,5% та на р. Паулек 359,0% (табл. 1).

Русла з розвинутими алювіальними формами мають найбільшу протяжність ділянок і розташовані на річці Біла Тиса в середній течії і до впадіння з річкою Чорна Тиса (рис. 3., табл. 1).

Таблиця 1. Співвідношення репрезентативних ділянокпри оцінці загального гідроенергетичного потенціалу до типів русел для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України), їх похили і ЗГП

Річка	Тип русла	Зміна похилу, ‰	Ділянки		E _{заг.} , кВт
			№		
1	2	3	4	5	
	Поріжно - водоспадне русло	242,2	1	380	
	Поріжно - водоспадне русло	36,0	2	2790	
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	8,4	3	5125	
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	4,3	4	4704	
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	2,4	5	3849	
Чорна Тиса	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	4,9	6	18747	
	Поріжно - водоспадне русло	40,6	1	2424	
	Поріжно - водоспадне русло	12,4	2	312	
	Поріжно - водоспадне русло	37,4	1	505	
	Поріжно - водоспадне русло	168,0	1	498	
	Поріжно - водоспадне русло	35,9	2	191	
Станіслав	Поріжно - водоспадне русло	42,0	3	755	
	Поріжно - водоспадне русло	13,3	4	153	
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	11,3	5	394	
	Поріжно - водоспадне русло	223,3	1	226	
	Поріжно - водоспадне русло	69,3	2	151	
	Поріжно - водоспадне русло	30,3	3	109	
Довжина	Поріжно - водоспадне русло	17,9	4	418	
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	32,1	5	295	
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	9,7	6	494	
	Поріжно - водоспадне русло	281,8	1	76	
	Поріжно - водоспадне русло	110,2	2	357	
	Поріжно - водоспадне русло	19,7	3	141	
Лазещина	Поріжно - водоспадне русло	16,9	4	137	
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	14,8	5	838	
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	8,9	6	853	
	Русло з розвинутими алювіальними формами	4,8	7	618	
	Русло з розвинутими алювіальними формами	3,7	8	1783	

1	2	3	4	5
Лопушанка	Поріжно - водоспадне русло	209,2	1	45
	Поріжно - водоспадне русло	100,0	2	25
	Поріжно - водоспадне русло	48,8	3	152
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	17,1	4	485
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	10,2	5	316
Стебна	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	20,3	1	812
Кевеле	Поріжно - водоспадне русло	103,7	1	3556
Біла Тиса	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	12,6	1	233
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	8,7	2	4177
	Русло з розвинутими алювіальними формами	3,4	3	12926
	Русло з розвинутими алювіальними формами	3,6	4	7200
	Поріжно - водоспадне русло	116,5	1	91
Стоговець	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	20,3	2	1395
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	8,4	3	546
	Поріжно - водоспадне русло	454,5	1	34
Бальзатул	Поріжно - водоспадне русло	102,0	2	1194
	Поріжно - водоспадне русло	57,1	3	903
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	16,1	4	225
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	13,6	5	567
	Поріжно - водоспадне русло	282,6	1	298
Говерла	Поріжно - водоспадне русло	92,5	2	638
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	15,9	3	983
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	12,8	4	2224
	Поріжно - водоспадне русло	133,9	1	2152
Бербенес-кул	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	31,9	2	1936
	Поріжно - водоспадне русло	230,8	1	159
Шаул	Поріжно - водоспадне русло	83,3	2	373
	Поріжно - водоспадне русло	42,0	3	1269
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	16,2	4	1114
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	13,6	5	2026

1	2	3	4	5
Богдан	Поріжно - водоспадне русло	227,0	1	726
	Поріжно - водоспадне русло	40,7	2	1033
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	17,2	3	790
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	12,1	4	2386
Квасний	Поріжно - водоспадне русло	217,0	1	846
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	15,1	2	2019
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	9,6	3	1319
	Поріжно - водоспадне русло	359,0	1	55
Паупек	Поріжно - водоспадне русло	104,6	2	520
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	17,9	3	389
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	24,6	4	1180
	Поріжно - водоспадне русло	353,2	1	264
Білий	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	53,8	2	996
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	15,4	3	1523
	Поріжно - водоспадне русло	99,3	1	975
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	13,8	2	7755
Косівська	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	6,5	3	8565
	Поріжно - водоспадне русло	175,1	1	3529
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	14,3	2	5720
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	8,0	3	7164
Мала Шопурка	Поріжно - водоспадне русло	204,1	1	549
	Поріжно - водоспадне русло	79,4	2	1594
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	8,7	3	5230
	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	6,2	4	4339
Шопурка	Русло з розвинутими алювіальними формами	2,1	1	9426
	Русло з розвинутими алювіальними формами	1,3	1	3150
	Меандрування (врізане)	1,2	2	31481
	Меандрування (врізане)	0,6	3	14146

Аналізуючи (табл.1, рис.2, рис.3), можна відмітити, що для самої Білої Тиси найбільші показники загального гідроенергетичного потенціалу характерні для русел з розвинутими алювіальними формами – 20126 кВт, а русла з нерозвинутими алювіальними формами мають набагато меншу потужність потоку, яка становить 4410 кВт. Для річок Стоговець та Говерла превалюючи значення ЗГП характерні для русел з нерозвинутими алювіальними формами – 1941 кВт та відповідно 3207 кВт; поріжно–водоспадні русла мають менші показники потужності потоку і становлять для р. Стоговець - 91 кВт, для р. Говерла – 936 кВт. Для річки Бальзатул найбільше значення ЗГП притаманне для поріжно–водоспадних русел – 2131 кВт. Набагато менші показники характерні для русел з нерозвинутими алювіальними формами – 792 кВт. Для річок Шаул та Богдан найбільше значення загального енергетичного потенціалу притаманне для русел з нерозвинутими алювіальними формами відповідно 3160 кВт та 3176 кВт. Що стосується поріжно–водоспадних русел, то показники потужності потоку дещо менші для вищевказаних річок і становлять 1801 кВт для р. Шаул та 1759 кВт для р. Богдан. Для річок Квасний та Паулек спостерігається подібна ситуація з превалюванням русел з нерозвинутими алювіальними формами, для яких характерні найбільші показники потужності потоку відповідно 3338 кВт та 1569 кВт. Поріжно–водоспадні русла мають менший загальний енергетичний потенціал для вищенаведених річок і становить відповідно 846 кВт для річки Квасний та 846 кВт для річки Паулек 575 кВт (табл. 1).

Для річок басейну Тиси (нижче злиття Чорної та Білої Тиси) характерним є розповсюдження 2 ділянок русел з нерозвинутими алювіальними формами та меандрування врізаного та по одній ділянці з поріжно–водоспадними руслами та руслами з розвинутими алювіальними формами (рис. 1, рис. 3). Варто відмітити, що для Тиси характерним є розповсюдження русел з розвинутими алювіальними формами та меандрування (врізаного) після впадіння річки Косівська. Що стосується р. Білий, то для неї характерними є поріжно–водоспадні русла біля витоку і русла з нерозвинутими алювіальними формами в середній і нижній течії. На останніх сконцентрований і найбільший гідроенергетичний потенціал (табл. 1, рис. 2).

Що стосується річки Тиса, то найбільші значення ЗГП характерні для русел з меандруванням (врізаним) - 45627 кВт, значно менші потужності потоку мають русла з нерозвинутими алювіальними формами – 3150 кВт (рис. 2, табл.1).

Для річки Косівська характерним є розповсюдження для 3 ділянок двох типів русел: поріжно–водоспадне, яке розташоване в найбільш високогірній її частині і русла з нерозвинутими алювіальними формами, яке займає превалюючи положення для вказаного водозбору. Варто зазначити, що русла з розвинутими алювіальними формами, на річці Косівська мають локальний характер і займають незначне положення на досліджуваних ділянках (рис. 1, рис. 3), тому вони не брались до розрахунків.

Для річки Косівська найбільші значення загального енергетичного потенціалу характерні для русел з нерозвинутими алювіальними формами – 16320 кВт, поріжно–водоспадні русла мають значно меншу потужність потоку відповідно 975 кВт (табл. 1).

Для річок басейну Шопурка характерним є наявність 4 ділянок для русел з нерозвинутими алювіальними формами, 3 ділянок з поріжно–водоспадними руслами та 1 ділянки для русел з розвинутими алювіальними формами (рис. 1, рис. 3). Поріжно–водоспадні русла характерні для високогірних районів річок Середня та Мала Шопурка. Що стосується русел з нерозвинутими алювіальними формами то вони розташовані в середній течії річок Середня і Мала Шопурка, а ж до впадіння в

річку Шопурка. Русла з розвинутими алювіальними формами характерні для річки Шопурка від злиття річок Середня і Мала Шопурка і до злиття з річкою Тиса.

Аналізуючи табл. 1 варто зазначити для річок Середня та Мала Шопурка найбільші значення загального енергетичного потенціалу характерні для русел з нерозвинутими алювіальними формами відповідно 12884 кВт та 9569 кВт, поріжно – водоспадні русла мають значно меншу потужність потоку відповідно 3529 кВт для річки Середня та 2143 кВт для річки Мала Шопурка. Що стосується річки Шопурка, то найбільші показники ЗГП характерні для русел з розвинутими алювіальними формами, що становлять 9426 кВт.

Для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) була проведена оцінка відповідності загального енергетичного потенціалу до типів русел, яка наведена рис. 4 та табл. 2. Аналізуючи їх, встановлено, що ЗГП характерним є превалювання русел з нерозвинутими алювіальними формами, які мають потужність потоку 36912 кВт (70%). Це пояснюється збільшенням водності річок вказаного басейну. Поріжно–водоспадні русла мають значно меншу потужність потоку – 13401 кВт (25,4%).

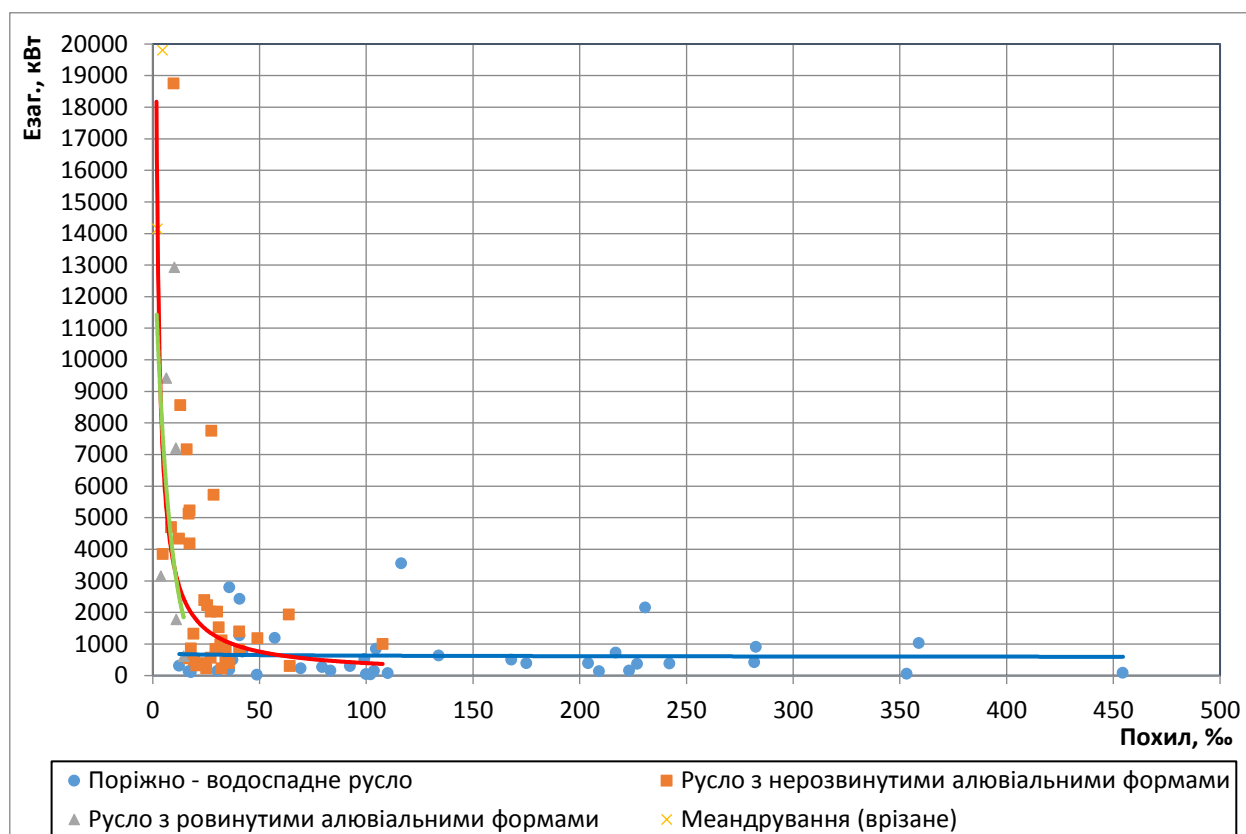


Рис. 4. Відповідність оцінки ЗГП до типів русел для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України)

Це можна пояснити в першу чергу їх малою водністю, оскільки цей тип русла розташований у високогірних районах вказаного водозбору. Русла з розвинутими алювіальними формами мають найменшу потужність водотоку, що складає 2401 кВт (4,6%). Це обумовлено достатньо короткими ділянками даного типу русла, а також відносно незначними їх похилами (табл. 1).

Для річок басейну Чорної Тиси, за даними табл. 2 та рис. 4 при оцінці загального енергетичного потенціалу характерна превалююча присутність русел з нерозвинутими алювіальними формами – 36912 кВт (70,0%), що пояснюється в першу чергу найбільшою протяжністю цього типу русла і значними похилами на

водозборі (табл. 1). Поріжно–водоспадні русла також мають значну потужність потоку – 13401 кВт (25,4%), що можна пояснити значними похилами на вказаному водозборі. Водність річок для цього типу русла незначна, оскільки розташована в найбільш високогірних районах вказаного водозбору. Що стосується русел з розвинутими алювіальними формами, то вони займають найменшу площу і потужність потоку – 2401 кВт (4,6%). Водність цього типу русла найбільша, особливо в місці впадіння Чорної і Білої Тиси, але похили стають значно меншими (рис. 3).

Таблиця 2. Відповідність оцінки ЗГП до типів русел для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України)

Показники	Номер та назва басейну (річки)					Разом
	1	2	3	4	5	
	Чорна Тиса	Біла Тиса	Тиса	Косівська	Шопурка	
Езаг, кВт	52714	53926	51561	17295	37551	213047
Е для поріжно-водоспідне русло	13401	10291	265	975	5672	30604
% від Езаг	25,4	19,1	0,5	5,6	15,1	14,4
Е для русел з нерозвинутими алювіальними формами	36912	23509	2519	16320	22453	101713
% від Езаг	70,0	43,6	4,9	94,4	59,8	47,7
Е для русел з розвинутими алювіальними формами	2401	20126	3150	0,0	9426	35103
% від Езаг	4,6	37,3	6,1	0,0	25,1	16,5
Е для меандрування (врізаного)	0,0	0,0	45627	0,0	0,0	45627
% від Езаг	0,0	0,0	88,5	0,0	0,0	21,4

Для річок басейну Білої Тиси, за даними рис. 4 та табл. 2 при оцінці загального енергетичного потенціалу характерна найбільша присутність русел з нерозвинутими алювіальними формами – 23509 кВт (43,6%), що пояснюється підвищеною водністю її приток і значними похилами водотоків вказаного водозбору (табл. 1). Русла з розвинутими алювіальними формами також мають значну потужність потоку – 20126 кВт (37,3 %), що обумовлено також значною водністю річок, хоча похили тут дещо зменшуються. Поріжно–водоспадні русла мають найменше розповсюдження і потужності потоку – 10291 кВт (19,1 %). Це відображає, в першу чергу, їх локальне розміщення в найбільш високогірних районах вказаного водозбору. Водність річок для цього типу русла є незначною, але їх похили найбільші, що і дає досить значну енергетичну потужність потоку (табл. 1)

Для річок басейну Тиси аналізуючи рис. 4 та табл. 2 при оцінці загального енергетичного потенціалу характерні найбільші його показники для меандрування (врізаного), що складає 45627 кВт (88,5%). Це обумовлено найбільшою водністю головної річки для всього досліджуваного басейну, але похили в свою чергу для цього типу русла є найменшими (табл. 1). Русла з розвинутими алювіальними формами та русла з нерозвинутими алювіальними формами (малі бокові притоки) мають значно меншу потужність потоку, яка складає відповідно 3150 кВт (6,1%) та 2519 кВт (4,9%). В свою чергу найменша потужність потоку характерна для поріжно–водоспадного типу русла - всього 265 кВт (0,5%), що можна пояснити його локальним розташуванням в високогірній частині річки Білий (рис. 1, рис. 3).

Результати, які наведені в рис. 4 та таблиці 2 для річок басейну Косівська при оцінці загального енергетичного потенціалу засвідчили, що найбільші значення притаманні для русел з нерозвинутими алювіальними формами і становлять 16320 кВт (94,4%), що пояснюється значною протяжністю цього типу русел на водозборі (близько 65%) та збільшенням водності від впадіння приток. Поріжно–водоспадні русла мають набагато меншу потужність потоку - 975 кВт (5,6%), що обумовлено локальним характером їх розповсюдження (в високогірних районах вказаного водозбору).

Для річок басейну Шопурки найбільші значення загального енергетичного потенціалу характерні для русел з нерозвинутими алювіальними формами - 22453 кВт (59,8%). Цьому сприяє значна протяжність цього типу русла на річках Середня та Мала Шопурка. Русла з розвинутими алювіальними формами мають значно меншу протяжність на самій Шопурці, яка складає 9426 кВт (25,1%). Найменші ж показники потужності потоку мають поріжно–водоспадні русла 5672 кВт (15,1%), що обумовлено незначною водністю та локальним розташуванням на річках Середня та Мала Шопурка (рис. 2, рис. 3).

Таким чином, для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) встановлені наступні показники потужності потоку: 1) поріжно–водоспадні русла - 30604 кВт (14,4%); 2) русла з не розвинутими алювіальними формами - 101713 кВт (47,7%); 3) русла з розвинутими алювіальними формами - 35103 кВт (16,5%); 4) меандрування (врізане) – 45627 кВт (21,4%) (табл. 2). Це добре підтверджується також відповідними зображеннями типів русел з їх гідроенергетичним потенціалом на рис. 4. З нього слідує, що русла з нерозвинутими алювіальними формами описують найбільший спектр потенціалу досліджуваних річок. Натомість, поріжно–водоспадні русла, мають доволі вузький спектр гідроенергетичного потенціалу і характеризується найменшими його значеннями для вказаних річок.

Висновки. Встановлено, що найбільшою гідроенергетичною потужністю для водозбору верхньої частини Тиси характеризуються річки басейну Білої Тиси, енергетичний потенціал водотоків якого представляє 53926 кВт (що складає 25,3% від загального по вказаному водозбору Тиси). Дещо меншою гідроенергетичною потужністю характеризуються басейни річок Чорна Тиса та Тиса, енергетичний потенціал водотоків яких являється 52714 кВт (24,7%) 52714 кВт та 51561 кВт (24,2%) відповідно від загального енергетичного потенціалу. Басейн річки Шопурка має значно менші показники загального енергетичного потенціалу, який складає 37551 кВт (17,6%) від його загальної величини. Найменшу гідроенергетичну потужність має басейн річки Косівська, енергетичний потенціал водотоків становить лише 17295 кВт 8,1% від загального.

Для русел річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) виявлені наступні показники потужності потоку: 1) поріжно–водоспадні русла - 30604 кВт (14,4%); 2) русла з не розвинутими алювіальними формами - 101713 кВт (47,7%); 3) русла з розвинутими алювіальними формами - 35103 кВт (16,5%); 4) меандрування (врізане) – 45627 кВт (21,4%). Це добре підтверджується відповідністю типів русел їх гідроенергетичному потенціалу. З нього слідує, що русла з нерозвинутими алювіальними формами описують найбільший спектр потенціалу досліджуваних річок. Натомість, поріжно–водоспадні русла, мають доволі вузький спектр гідроенергетичного потенціалу і характеризується найменшими його значеннями.

Список літератури

1. *Впровадження методики гідроморфологічної оцінки якості річок басейну Латориці для прийняття оптимальних водогосподарських управлінських рішень:* Закл. звіт. КНУ імені Тараса Шевченка. – К.:2008. - 163 с.- № др. 0108U007524. 2. *Гідроекологічна оцінка та прогноз енергетичного потенціалу річок Українських Карпат:* Закл. звіт. КНУ імені Тараса

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

Шевченка. – К.: 2015. – 319 с. – 14ББП050-01. **3. Ободовський О.Г.** Гідроєкологічна оцінка та прогноз енергетичного потенціалу річок Українських Карпат / О.Г. Ободовський – 36. Наук. праць у 3-х т. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. III. – С. 118-121. **4. Ободовський О.Г.** Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України). // О.Г.Ободовський / К.: Ніка-Центр. 2001. – 274 с. **5. Ободовський О.Г.** Коротка історія розвитку та сучасний стан малої гідроенергетики на рівнинних річках України / О.О. Ободовський, Е.Р. Рахматуліна, Л.М. Тимуляк. – Гідрологія, гідрохімія і гідроєкологія. - 2016. - Т.4 (43). – С. 94-106. **6. Ободовський О.Г.** Методика встановлення гідроенергетичного потенціалу річок (на прикладі річок Українських Карпат) / О.Г.Ободовський, К.Ю. Данько, О.О. Почаєвець, Ю.О. Ободовський. – Вісник Київського університету. Сер. Географія. – 2016. – Вип. 64. – С. 5-12. **7. Ободовський О.Г.** Руслові процеси річки Лімниця // О.Г. Ободовський, В.В. Онищук, В.В. Гребінь, З.В. Розлач, О.С. Коноваленко, М.В. Яцюк / К.: Ніка-Центр, 2010. – 256 с. **8. Ободовський Ю.О.** Гідроморфодинамічна оцінка типів русел річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) / Ю.О. Ободовський. – Фізична географія та геоморфологія. – 2016. - Вип. 2 (82). - С. 23-34. **9. Паламарчук М. М.** Водний фонд України. Довідковий посібник // М. М. Паламарчук, Н. Б. Закорчевна; за ред. В. М. Хорева, К. А. Алієва / К. – 2001. **10. Разработка методологического обеспечения** процесса автоматизированного вычисления гидроэнергетического потенциала рек с использованием геоинформационных систем / Н. В. Баденко, Н. С. Бакановичус, О. К. Воронкови др. – Инж.-строительный журнал. – 2013. – № 16. – С. 62-76. **11. Рудько Г. І.** Наукові засади екологічної оцінки та оптимального використання гідроресурсів Карпатського регіону / Г. І. Рудько, Л. М. Консевіч. – К.: Знання. – 1998. – 137 с. **12. Цепенда М. М.** Методичні особливості економіко-географічної оцінки гідроенергетичного потенціалу Середнього Придністров'я / М. М. Цепенда. – Наук. записки Вінницького держ. пед. ун-ту ім. М. Коцюбинського. Серія Географія. – 2009. – Вип. 18. – С. 211-219. **13. Энергетические ресурсы СССР :** Гидроэнергетические ресурсы / Авакян А. Б., Баранов В. А., Бернштейн Л. Б. и др., 1967.

Відповідність загального гідроенергетичного потенціалу типам русел річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України)

Ободовський Ю.О., Ободовський О.Г., Хильчевський В.К., Данько К.Ю.

Для 24 річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) за даними 86 репрезентативних ділянок найбільшою гідроенергетичною потужністю характеризуються річки басейну Білої Тиси 53926 кВт (що складає 25,3% від загального по вказаному водозбору Тиси). Деяко меншою гідроенергетичною потужністю характеризуються басейни річок Чорна Тиса та Тиса, енергетичний потенціал водотоків яких являється 52714 кВт (24,7%) та 51561 кВт (24,2%) відповідно від загального енергетичного потенціалу. Басейн річки Шопурка має значно менші показники загального енергетичного потенціалу, який складає 37551 кВт 17,6% від його загальної величини. Найменшу гідроенергетичну потужність має басейн річки Косівська, енергетичний потенціал водотоків становить лише 17295 кВт 8,1% від загального.

Для вказаного водозбору при оцінці загального енергетичного потенціалу використана оцінка типів русел, формування яких обумовлюються зокрема зміною похилу за довжиною. Цей показник також значною мірою визначає гідроенергетичний потенціал річки. Для річок вищенаведеного водозбору було виділено 4 типи русла: 1) поріжно – водоспадні русла зустрічаються на 41 ділянках (47,7% від загальної протяжності русел річок досліджуваного басейну); 2) русла з нерозвинутими алювіальними формами – на 37 ділянках (43,0%); 3) русла з розвинутими алювіальними формами відповідно на 6 ділянках (7,0%); 4) меандрування (врізане) притаманно для 2 ділянок (2,3%).

Ключові слова: загальний гідроенергетичний потенціал, типи русел, репрезентативна ділянка, потужність потоку, зміна похилу на водозборі, водність річки.

Соответствие общего гидроэнергетического потенциала типам русел рек верхней части бассейна Тисы (в пределах Украины)

Ободовский Ю.А., Ободовский А.Г., Хильчевский В.К., Данько К.Ю.

Для 24 рек верхней части бассейна Тисы (в пределах Украины) по данным 86 репрезентативных участков наибольшей гидроэнергетической мощностью характеризуются реки бассейна Белой Тисы 53926 кВт (что составляет 25,3% от общего по указанному водосбору Тисы). Несколько меньше гидроэнергетической мощностью характеризуются бассейны рек Черная Тиса и Тиса, энергетический потенциал водотоков которых является 52714 кВт (24,7%)

Hydrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolojiia. – 2017. – Т.1(44)

и 51561 кВт (24,2%) соответственно от общего энергетического потенциала. Бассейн реки Шопурка имеет значительно меньшие показатели общего энергетического потенциала, который составляет 37551 кВт 17,6% от его общей величины. Наименьшую гидроэнергетическую мощность имеет бассейн реки Косовская, энергетический потенциал водотоков составляет лишь 17295 кВт 8,1% от общего.

Для указанного водосбора при оценке общего энергетического потенциала использована оценка типов русел, формирование которых обуславливаются в частности изменением уклона по длине. Этот показатель также в значительной мере определяет гидроэнергетический потенциал реки. Для рек вышеприведенного водосбора было выделено 4 типа русла: 1) Порожно - водопадные русла встречаются на 41 участках (47,7% от общей протяженности русел рек исследуемого бассейна) 2) русла с неразвитыми аллювиальными формами - на 37 участках (43,0%); 3) русла с развитыми аллювиальными формами соответственно на 6 участках (7,0%); 4) меандрирование (врезное) характерно для 2 участков (2,3%).

Ключевые слова: общий гидроэнергетический потенциал, типы русел, репрезентативная участок, мощность потока, изменение уклона на водосборе, водность реки.

Conformity of the total hydropower potential with the types of beds of the rivers in upper basin of Tisza river (within Ukraine)

Obodovskyi Iu., Obodovskyi O., Khilchevskyi V., Danko K.

According to the data of 86 representative sites, among 24 rivers of upper basin of Tisza River (within Ukraine), the rivers of Bila Tisza basin have the largest hydropower capacity of 53926 kW (representing 25.3% of the total capacity of stated Tisza catchment area). The basins of Black Tisza and Tisza are characterized by slightly smaller hydropower capacity, the energy potential of watercourses of which is 52714 kW (24.7%) and 51,561 kW (24.2%) respectively of the total energy potential. The basin of Shopurka river has much lower rates of total energy potential which is 37,551 kW, 17.6% of its total value. The basin of Kosivska river has the smallest hydropower capacity, the energy potential of watercourses is only 17,295 kW, 8.1% of the total one.

In the course of assessment of the total power potential of mentioned water catchment area, the assessment of the types of river beds the formation of which is caused in particular by change in the slope in terms of length was applied. This figure also largely defines the hydropower potential of the river. 5 types of beds were identified for the rivers of mentioned water catchment area: 1) riffle-waterfall beds are seen at 41 sites (47.7% of the total length of the river beds of studied basin); 2) beds with undeveloped alluvial forms – at 37 sites (43.0%); 3) beds with developed alluvial forms respectively at 6 sites (7.0%); 4) meandering (embedded) beds are typical for 2 sites (2.3%).

Keywords: total hydropower potential, types of beds, representative site, flow capacity, change of slope in catchment area, water content of river.

Надійшла до редколегії 11.02.2017

УДК 556.114.6

Бабій П.О.¹, Гребінь В.В.², Хільчевський В.К.²

¹ – Басейнове управління водних ресурсів р. Рось

² – Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ХАРАКТЕРИСТИКА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВОДИ РІЧКИ РОСЬ (ЗА ДАНИМИ МОНІТОРИНГУ БАСЕЙНОВОГО УПРАВЛІННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ)

Ключові слова: річка Рось, гіdroхімічний режим, дослідження

Вступна частина. Рось належить до найбільших правобережних приток Дніпра, водозбір якої знаходиться у межах лісостепової зони України. Основними чинниками формування хімічного складу води р. Рось є рельєф місцевості, характер залягання і хімічний склад підстилаючих гірських порід. Оскільки річка знаходиться в зоні інтенсивного господарського користування, необхідно відзначити і значний вплив антропогенної складової на формування гіdroхімічного режиму і, як наслідок, на якість річкової води.

Передусім, це надмірна зарегульованість річок басейну, в межах якого налічується 2388 штучних водних об'єктів об'ємом 352,3 млн. м³, що практично дорівнює об'єму стоку року 95 % забезпеченості. На самій Росі розташовано 10 руслових водосховищ, а в межах басейну їх кількість становить 66 одиниць, об'ємом 150,58 млн.м³. Також в басейні обліковано 2322 ставки повним об'ємом 201,75 млн.м³. Більшість ставків, які інтенсивно використовуються для рибогосподарських потреб, перебуває у занедбаному стані. Вони замулені, заросли водною рослинністю. Більшість гіdroтехнічних споруд спроектовані без достатніх інженерних розрахунків, не відповідають сучасним вимогам та мають низьку пропускну спроможність, що перешкоджає регулюванню стоку [2].

На сучасному етапі басейн р. Рось характеризується як багатогалузевий господарський комплекс з високим рівнем освоєння території. Розвинуті сільськогосподарське виробництво (розорано понад 50 % площі басейну), харчова, легка, нафтохімічна промисловості. Загальна чисельність населення в басейні становить 830 тисяч чоловік (у т.ч. міське населення – 400 тисяч).

Лише протягом 2015 р. (за даними Держводагентства України) у поверхневі водні об'єкти басейну скинуто майже 40,0 млн. м³ зворотних (стічних) вод, з яких 19,8 млн. м³ скинуто без очищення (як нормативно чисті); 18,9 млн. м³ очищено на очисних спорудах до нормативно чистого стану; 1,3 млн. м³ скинуто у поверхневі водні об'єкти як недостатньо очищені або взагалі без очищення. Разом із стічними водами останніх двох категорій до р. Рось та її приток протягом минулого року надійшло 8,4 тис. т мінеральних солей (головних іонів), 8 т нітритів, 28 т азоту амонійного та 236 т нітратів, 22,8 т фосфатів, майже 2 т заліза, 0,5 т нафтопродуктів, а також 1,4 т СПАР.

З майже 40,0 млн. м³ зворотних (стічних) вод, скинутих у поверхневі водні об'єкти басейну, 15,7 млн. м³ (майже 40 %) припадає на м. Біла Церква, з них 15,0 млн. м³ очищено на очисних спорудах міста до нормативно чистого стану. З очисних споруд Білої Церкви до Росі за 2015 р. надійшло 5,7 тис. т мінеральних солей (68 % від загального скиду по басейну), 7 т нітритів (87,5 %), 24 т азоту амонійного (85,7

%), 189 т нітратів (80 %), 17,4 т фосфатів (76,3 %), 1,6 т заліза (80 %), 0,18 т нафтопродуктів (36 %), 1,3 т СПАР (92,9 %).

Метою роботи є просторово – часова оцінка хімічного складу води річки на основі моніторингових даних, наявних у Басейновому управлінні водних ресурсів (БУВР) р. Рось Держводагентства України.

Короткий огляд результатів попередніх досліджень. Перші дослідження хімічного складу води р. Рось відносяться до початку ХХ століття, коли на замовлення Російського товариства цукрозаводчиків було здійснено експедиційні дослідження з відбором проб та проаналізовано якість води річки та кількох її приток [7].

Гідрометслужба України здійснює моніторинг якості води річок басейну з кінця 30-х років минулого століття. Перші узагальнення отриманих даних здійснено в колективній роботі вчених колишнього Інституту гідрології та гідротехніки АН України [20], у довідниковому виданні за редакцією Б.М. Штейнгольца, який очолював (на той час) відділ гідрології Київської гідрометобсерваторії [18] та у монографії за редакцією колишнього завідуючого відділом гідрології Українського гідрометеорологічного інституту М.С. Каганера [19].

Гідрологічні та гідрохімічні експедиційні дослідження водотоків та штучних водойм басейну здійснювалися вченими Інституту гідробіології НАН України. Результати досліджень знайшли своє відображення у монографіях [4,8,9] та окремих статтях [10,11].

Організація в 1981 р. Богуславського гідролого-гідрохімічного стаціонару Київського національного університету імені Тараса Шевченка сприяла активізації досліджень якості води р. Рось та окремих її приток вченими кафедри гідрології та гідроекології університету. Результати досліджень знайшли своє відображення у низці захищених викладачами кафедри кандидатських та докторських дисертацій, монографічних виданнях, навчальних посібниках та окремих статтях [3,12,13,16,17,21]. Найбільш ґрунтовною серед них, на наш погляд, є монографічне видання авторського колективу за редакцією В.К.Хільчевського, що видано у 2009 р. Авторами досліджено комплекс природних та антропогенних причин, що призвели до погіршення гідроекологічного стану та якості води річки; оцінено стан водокористування в басейні, режим експлуатації водосховищ, розташованих на річці; вивчено гідрологічний та гідрохімічний режими водотоку [5].

Серед останніх публікацій слід відзначити колективне монографічне видання вчених Інституту водних проблем і меліорації НААН України та спеціалістів Басейнового управління водних ресурсів р. Рось [2], в якому висвітлено особливості природних умов, надано детальні відомості про водогосподарський комплекс басейну та проблеми його функціонування, наведено дані щодо гідрологічного режиму річки та якості води.

Характеристика створів моніторингу. З метою аналізу гідрохімічного режиму річки та її приток Басейновим управлінням водних ресурсів р. Рось здійснюється моніторинг вод. Основна мета здійснення моніторингу – проведення аналізу екологічного стану водних ресурсів басейну на основі багаторічної бази даних, прогнозування їх змін, розробка науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень та своєчасного впровадження заходів із запобігання негативним змінам стану водних ресурсів.

Відповідно до «Програми державного моніторингу довкілля в частині проведення Держводагентством України радіологічних і гідрохімічних спостережень за станом поверхневих вод у контрольних створах», затвердженої наказом Держводагентства України № 14 від 10.02.2015 р., із змінами, внесеними наказом

№ 90 від 31.08.2015р., у басейні річки Рось контроль за якістю поверхневих вод здійснюється в 11 створах моніторингу [1].

Створи моніторингу якості води р. Рось (БУВР):

- 278-й км від гирла - с. Кошів Тетіївського району Київської області, кордон Київської і Вінницької областей – щоквартальний моніторинг;
- 218-й км - с. Глибичка Білоцерківського району Київської області, питний водозабір м. Біла Церква – щомісячний моніторинг;
- 118-й км - м. Богуслав Богуславського району Київської області, питний водозабір міста: щомісячний моніторинг;
- 108-й км - м. Богуслав, гідропост, кордон Київської і Черкаської областей – щоквартальний моніторинг;
- 98-й км - с. Москаленки Богуславського району, кордон Київської і Черкаської областей – щоквартальний моніторинг;
- 94-й км - с. Виграїв (Виграївські дачі) Корсунь-Шевченківського району Черкаської області – щоквартальний моніторинг;
- 84-й км - смт Стеблів Корсунь-Шевченківського району, верхній б'єф водосховища Стеблівської ГЕС – щоквартальний моніторинг;
- 64-й км - м. Корсунь–Шевченківський, питний водозабір міста – щомісячний моніторинг;
- 12-й км - с. Хмільна Канівського району Черкаської області – щоквартальний моніторинг.

Створи моніторингу якості води р. Роставиця - лівої притоки р. Рось (БУВР):

- 71-й км від гирла - смт Ружин Ружинського району Житомирської області, 2 км нижче міста – щоквартальний моніторинг;
- 41-й км - с. Строків Попільнянського району Житомирської області, кордон Київської і Житомирської областей – щоквартальний моніторинг.

Басейнове управління водних ресурсів (БУВР) р. Рось відбирає проби у створах моніторингу, аналізує та узагальнює інформацію щодо якісного стану поверхневих вод по всьому басейну р. Рось.

Для аналізу якості води р. Рось використана інформація за трьома створами: 1). **верхній** - р. Рось - 218-й км, с. Глибичка Білоцерківського району, питний водозабір м. Біла Церква; 2). **середній** - р. Рось - 118-й км, м. Богуслав, питний водозабір міста; 3). **нижній** - р. Рось - 84-й км, смт Стеблів Корсунь-Шевченківського району, верхній б'єф водосховища Стеблівської ГЕС.

Верхній створ на р. Рось - с. Глибичка Білоцерківського району Київської області можна вважати «умовно чистим», виходячи з того, що він розташований вище місця скиду стічних вод Білої Церкви – головного забруднювача річки. Вихідні дані про хімічний склад води р. Рось по кожному пункту моніторингу було осереднено – як середні річні.

Виклад основного матеріалу. Хімічний склад води р. Рось характеризується закономірними змінами, які обумовлені фізико-географічними умовами басейну та антропогенним впливом. Гідрохімічний режим проявляється у вигляді багаторічних, сезонних і добових коливань концентрації компонентів хімічного складу та показників фізичних властивостей води, рівня забрудненості води, стоку розчинених мінеральних речовин тощо [5].

Мінералізація води (мінералізація води р. Рось визначається через сухий залишок). Аналіз отриманої інформації за трьома створами показав, що за період 1993 – 2016 рр. середня річна мінералізація води за довжиною річки змінювалася у межах 229-503 мг/дм³. Причому, коливання мінералізації води у створах моніторингу зростають вниз за течією: Рось - с. Глибичка (Біла Церква, 218-й км) - 303-399 мг/дм³

Hydrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia. – 2017. – Т.1(44)

(амплітуда 95 мг/дм³); Рось - м. Богуслав (118-й км) - 343-498 мг/дм³ (амплітуда 155 мг/дм³); Рось - смт Стеблів, водосховище (84-й км) - 229-503 мг/дм³ (амплітуда 274 мг/дм³) (рис.1).

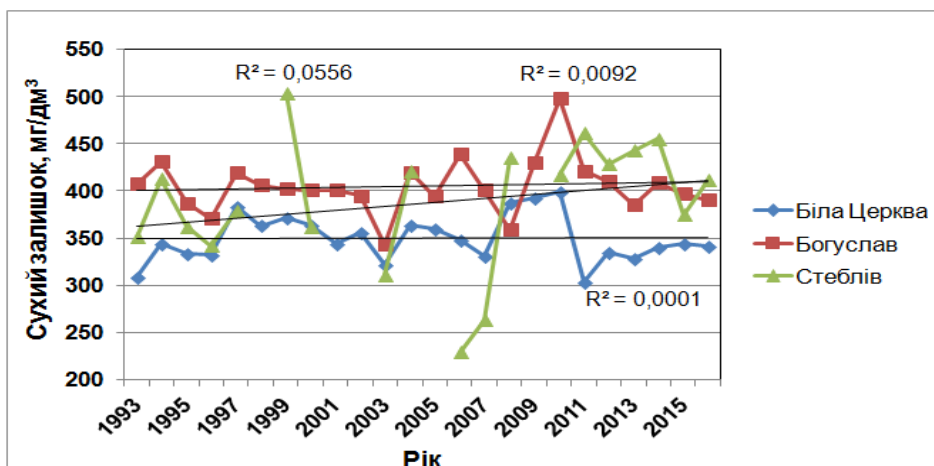


Рис.1. Динаміка середньої річної мінералізації води р. Рось у створах с. Глибичка (Біла Церква), м. Богуслав та смт Стеблів (водосховище) за період 1993 – 2016 рр., мг/дм³

За даним показником вода р. Рось належить до середньомінералізованих. Найсуттєвіші зміни середніх річних значень мінералізації води Росі за період спостережень характерні для Стеблівського водосховища (максимум у 2,2 рази перевищує мінімум). До того ж, впродовж останніх років спостерігається певна тенденція щодо збільшення величини мінералізації води у Стеблівському водосховищі, про що свідчить напрямок тренду (див. рис. 1). Можна припустити, що певну роль в цьому відіграє концентрування солей внаслідок випаровування з поверхні водойми, оскільки останні роки були достатньо теплими та посушливими. Впродовж року мінімальні значення мінералізації характерні для періодів підвищеної водності (весняного водопілля та дощових паводків), а максимальна мінералізація спостерігається під час літньо-осінньої та зимової межени, коли посилюється вплив на якість води підземної складової водного стоку [5].

Біогенні речовини, до яких, насамперед, належать сполуки азоту та фосфору беруть активну участь у життєдіяльності водних організмів, а після їхнього вімирання – надходять у воду. Вміст біогенних речовин у природних водах незначний, а їх режим залежить від температури води, яка впливає на інтенсивність життєдіяльності організмів і біохімічні процеси розкладання органічних речовин.

Мінеральні сполуки азоту. В природних водах азот перебуває у вигляді мінеральних (неорганічних) та різноманітних органічних сполук. В органічних сполуках азот перебуває, переважно, в складі білка тканин організмів і продуктів його розпаду. Внаслідок біохімічного розкладання залишків організмів відбувається процес переходу азоту зі складних органічних сполук у мінеральні форми (регенерація біогенних елементів). Водяна рослинність споживає мінеральні форми азоту.

Мінеральні сполуки азоту представлені амонійними (NH_4^+), нітритними (NO_2^-) та нітратними (NO_3^-) іонами. Зазначені іони взаємопов'язані, можуть переходити з одного в інший, і тому розглядаються разом.

Сполуки амонію (NH_4^+). Середньорічні концентрації амонію (NH_4^+) коливались за період 1993 – 2016 рр. в межах: від 0,21 до 0,68 мг/дм³ у створі Рось - с. Глибичка (м. Біла Церква, 218-й км); від 0,19 до 2,07 мг/дм³ - у створі Рось - м. Богуслав (118-й км); від 0,22 до 0,97 мг/дм³ - у створі Рось - смт Стеблів, водосховище (84-й км) (рис.

2). Існує певна тенденція до зростання концентрації іонів амонію у Стеблівському водосховищі. Пояснити її можна тим, що за умов низької водності водосховище стає практично непроточним. Така ситуація сприяє накопиченню у воді Стеблівського водосховища сполук азоту, що надходять з господарсько-побутовими стічними водами міст Біла Церква та Богуслав. Скид стічних вод останнього відбувається безпосередньо у Стеблівське водосховище.

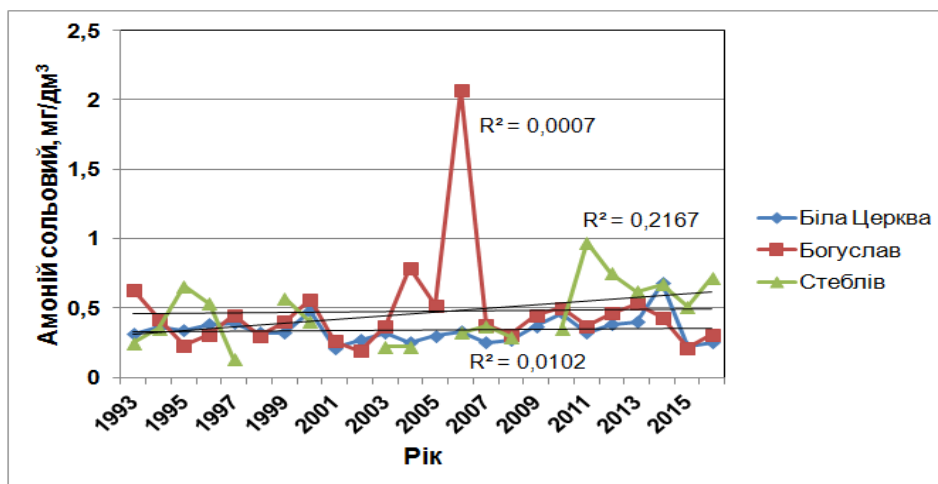


Рис. 2. Динаміка середньої річної концентрації амонію (NH_4^+) у воді р. Рось у створах с. Глибичка (м. Біла Церква), м. Богуслав та смт Стеблів (водосховище) за період 1993 – 2016 рр., мг/дм³

Середня багаторічна величина концентрації амонію у воді Росі зростає вниз за течією від с. Глибичка (м. Біла Церква) до м. Богуслава (з 0,34 до 0,48 мг/дм³) і практично не змінюється на наступному відрізку річки – від м. Богуслава до Стеблівського водосховища (від 0,48 до 0,47 мг/дм³). Середні річні концентрації амонію у воді річки не перевищують ГДК (2,5 мг/дм³), хоча впродовж холодного періоду року, при відмиранні водяних рослин, в окремих одиничних пробах фіксується перевищення ГДК.

Нітрити (NO_2^-). Середньорічні концентрації нітритів (NO_2^-) у воді Росі коливалися в межах: від 0,02 до 0,22 мг/дм³ - у створі с. Глибичка (м. Біла Церква, 218-й км); від 0,05 до 0,59 мг/дм³ - у створі м. Богуслав (118-й км); та від 0,01 до 0,11 мг/дм³ - смт Стеблів, водосховище (84-й км) - рис. 3.

Як і в попередньому випадку, одиничні концентрації нітритів досягали максимуму в створі м. Богуслава. Середня багаторічна величина концентрації нітритів у цьому створі (0,11 мг/дм³) вдвічі перевищує аналогічні показники у двох інших створах. Одиничні проби, відібрані в холодний період року, мають перевищення ГДК по концентрації нітритів, але в цілому його концентрації у воді річки Рось суттєво менші ГДК.

Аналіз багаторічної динаміки вказаного іона свідчить про доволі стійку тенденцію щодо зростання його концентрацій у воді р. Рось по всіх створах, що аналізуються.

Нітрати (NO_3^-). Середні річні концентрації нітратних іонів (NO_3^-) за вказаний період змінювалися в межах: від 0,4 до 2,92 мг/дм³ - у створі с. Глибичка (м. Біла Церква, 218-й км); від 2,53 до 5,16 мг/дм³ - у створі м. Богуслав (118-й км); від 0,10 до 3,41 мг/дм³ - у створі смт Стеблів, водосховище (84-й км). Зазначені цифри є суттєво меншими від значень ГДК для даного іону (ГДК - 45,0 мг/дм³).

Середня багаторічна величина концентрації нітратів, як і у попередньому випадку з нітритами, зростає вниз за течією від с. Глибичка до м. Богуслава (з 1,71 до 3,48 мг/дм³) і зменшується на наступному відрізку річки – від м. Богуслава до Стеблівського водосховища (від 3,48 до 1,91 мг/дм³).

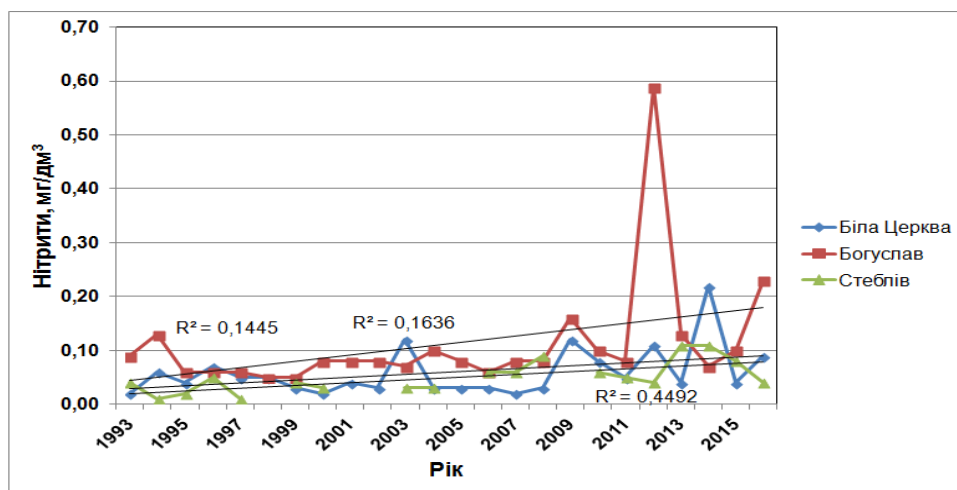


Рис. 3. Динаміка середньої річної концентрації нітритів (NO_2^-) у воді р. Рось у створах с. Глибичка (м. Біла Церква), м. Богуслав та смт Стеблів (водосховище) за період 1993 – 2016 рр., мг/дм³

Впродовж року максимальні концентрації нітратних іонів фіксуються протягом зимового періоду, що цілком логічно, оскільки в цей період року, при відмиранні водяної рослинності фіксуються і найвищі концентрації сольового амонію та нітритів, а нітрати є кінцевим продуктом у ланцюгу перетворень цих неорганічних сполук азоту в природних водах.

Багаторічна динаміка концентрацій нітратів у воді Росі протягом 1993–2016 рр. має різноспрямовані тренди в окремих створах (рис. 4).

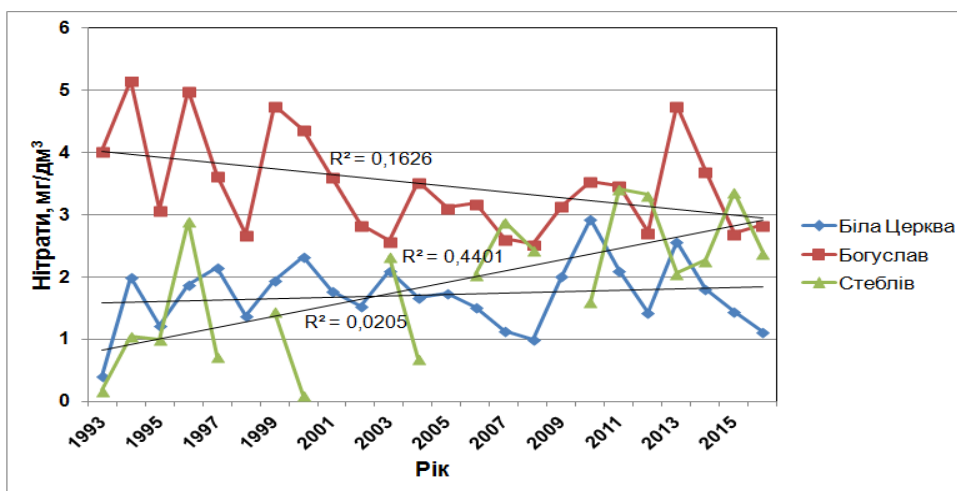


Рис. 4. Динаміка середньої річної концентрації нітратів (NO_3^-) у воді р. Рось у створах с. Глибичка (м. Біла Церква), м. Богуслав та смт Стеблів (водосховище) за період 1993 – 2016 рр., мг/дм³

Зокрема, у створі с. Глибичка (м. Біла Церква, 218-й км) середньорічні концентрації нітратів є відносно стабільними. У створі м. Богуслав (118-й км) маємо тенденцію до зменшення середніх річних концентрацій нітратних іонів. У воді Стеблівського водосховища (84-й км) спостерігається тренд до зростання концентрацій порівняно з 1990-ми рр.. Зменшення концентрацій нітратів у річковій воді у створі м. Богуслава можна пояснити поліпшенням ступеню очищення господарсько-побутових стічних вод міста Біла Церква, що розташовано вище. А зростання середньорічного вмісту нітратів у воді Стеблівського водосховища - застарілими технологіями очищення стічних вод на очисних спорудах м. Богуслава, що не можуть

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

забезпечити надійний ступінь очищення. Такі тенденції сприяють певному вирівнюванню концентрацій нітратних іонів по довжині річки.

Сполуки фосфору (фосфати – PO_4^{3-}). В природних водах розчинений фосфор міститься у вигляді неорганічних та органічних сполук. Обмін фосфору між його неорганічними та органічними формами відбувається при двох протилежних процесах – фотосинтезі та розкладанні органічної речовини. Фосфати активно споживаються фітопланктоном, фітобентосом і вищими водяними рослинами. У процесі життєдіяльності біоти й деструкції органічної речовини більшість фосфатів, використаних рослинами і тваринами, повертається у воду. Певна частина фосфору потрапляє на дно водойм із залишками організмів. Вміст фосфатів зазнає значних сезонних коливань, оскільки залежить від співвідношення інтенсивності процесів фотосинтезу і біохімічного окиснення органічних речовин.

Середні річні концентрації фосфатів у воді Росі у створах, що розглядаються, за період 1993 – 2016 рр. змінювалися наступним чином: в межах від 0,08 до 0,36 мг/дм³ – у створі с. Глибчка (м. Біла Церква, 218-й км); від 0,29 до 3,9 мг/дм³ – у створі м. Богуслав (118-й км); від 0,39 до 0,86 мг/дм³ – у створі смт Стеблів, водосховище (84-й км) – рис. 5. Виявлена тенденція щодо зростання концентрацій фосфатів від верхнього створу до нижнього.

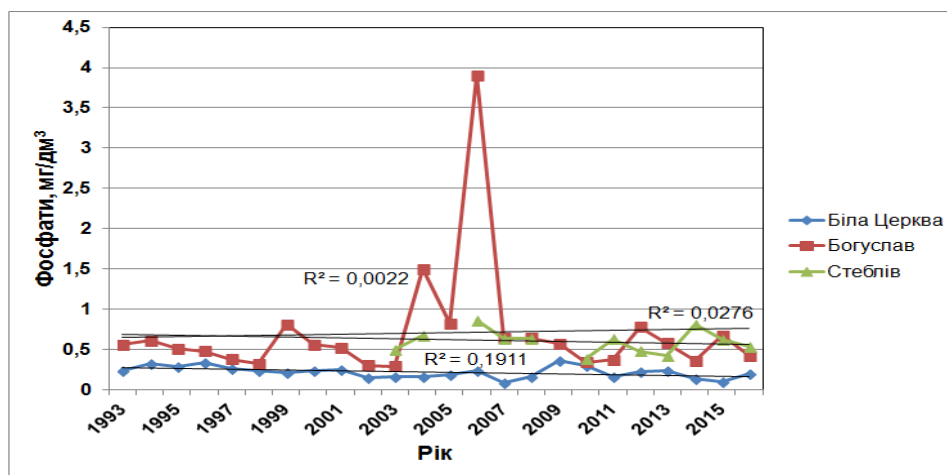


Рис. 5. Динаміка середньої річної концентрації фосфатів у воді р. Рось у створах с. Глибчка (м. Біла Церква), м. Богуслав та смт Стеблів (водосховище) за період 1993 – 2016 рр., мг/дм³

Це є цілком природно, оскільки вище вже було зазначено, що створ на р. Рось - с. Глибчка (м. Біла Церква, 218-й км) є, певною мірою, фоновим. Річкова вода у нижче розташованих створах відчуває доволі значний вплив скидів господарсько-побутових та промислових стічних вод, у яких містяться фосфати.

Не виявлено тенденцій до зростання, або зменшення середньорічних концентрацій фосфатів у вказаних вище створах., що підтверджується напрямком трендів.

Органічні речовини. Однією з найважливіших хімічних характеристик водного середовища, яка визначає її якість, є наявність у воді органічних речовин. Органічні речовини у водному середовищі існують у вигляді двох основних складових: одна частина, що входить до складу гідробіонтів; інша частина, що є продуктом життєдіяльності та розкладу відмерлих організмів. За походженням органічні речовини поділяються на такі: що надходять до водойм ззовні – з водозбірної площі (аллохтонні); що утворюються безпосередньо у самих водоймах (автохтонні). До першої групи належать переважно органічні речовини, що

вимиваються з ґрунтів торфовищ, лісового перегною тощо, а також ті, що надходять із господарсько-побутовими та промисловими стічними водами. Інша група органічних речовин, які утворюються безпосередньо у водоймі, зумовлюється безперервними та одночасними процесами утворення первинної органічної речовини та її розкладання.

Для кількісної оцінки вмісту органічної речовини у воді р. Рось використані показники хімічного споживання кисню (ХСК) та 5-ти добового біохімічного споживання кисню (БСК₅).

Середні річні показники *хімічного споживання кисню (ХСК)* за період 1993 – 2016 рр. змінювалися в межах від 22,1 до 35,9 мгО/дм³ - у створі с. Глибичка (м. Біла Церква, 218-й км); від 24,0 до 52,6 мгО/дм³ - у створі м. Богуслав (118-й км); від 26,0 до 45,0 мгО/дм³ - у створі смт Стеблів, водосховище (84-й км) – рис. 6. В цілому, для всіх створів спостерігається тенденція до незначного зростання значень ХСК за вказаний часовий період.

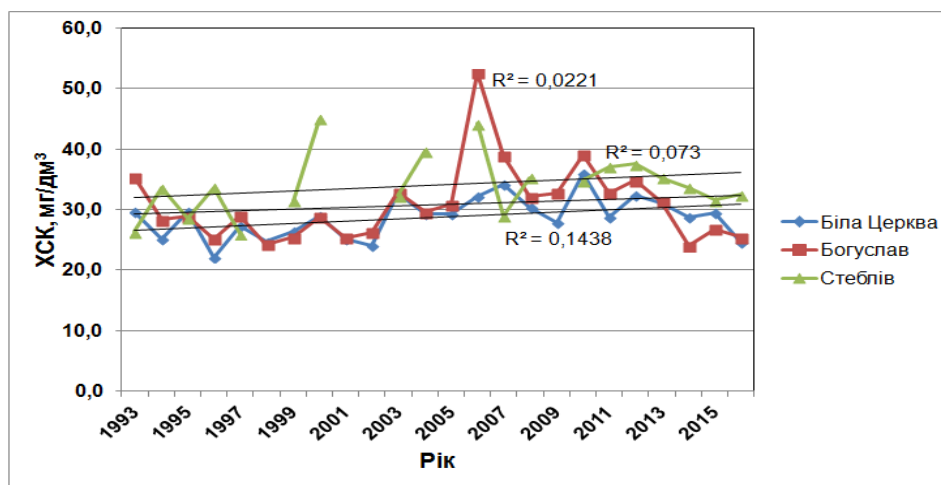


Рис. 6. Динаміка середнього річного значення показника ХСК у воді р. Рось у створах с. Глибичка (м. Біла Церква), м. Богуслав та смт Стеблів (водосховище) за період 1993 – 2016 рр., мгО/дм³

Середні багаторічні значення показника ХСК у воді р. Рось зростають вниз за течією від с. Глибичка (Біла Церква) до м. Богуслава (з 28,7 до 30,9 мгО/дм³) і далі на наступному відрізку річки – від м. Богуслава до Стеблівського водосховища (від 30,9 до 34,1 мгО/дм³). Стабільне перевищення значення ХСК порівняно з ГДК (ГДК = 15,0 мгО/дм³) фіксується на всіх створах та протягом всього року.

Показник *біохімічного споживання кисню (БСК₅)* у воді р. Рось характеризується значно меншими коливаннями, але і для нього є характерною тенденція до зростання, особливо у створах с. Глибичка (м. Біла Церква, 218-й км) та м. Богуслав (118-й км) – рис. 7.

Виявлені значення БСК₅ вказують на те, що води р. Рось належать до категорії полісапробних та мезосапробних вод. Для них є типовим відновний характер біохімічних процесів. Це свідчить про надходження у річкові води недостатньо очищених господарсько-побутових і промислових стічних вод.

Середні багаторічні значення БСК₅ зменшуються вниз за течією Росі від с. Глибичка (Біла Церква) до м. Богуслава (з 3,1 до 2,8 мгО₂/дм³) і далі на наступному відрізку річки – від м. Богуслава до Стеблівського водосховища - стабілізуються на значенні 2,8 мгО₂/дм³. Перевищення значення БСК₅ порівняно з ГДК (ГДК = 3,0 мгО₂/дм³) періодично фіксується у зазначених створах на р. Рось, як правило у меженний період водного режиму, коли послаблюється самоочисна здатність річки.

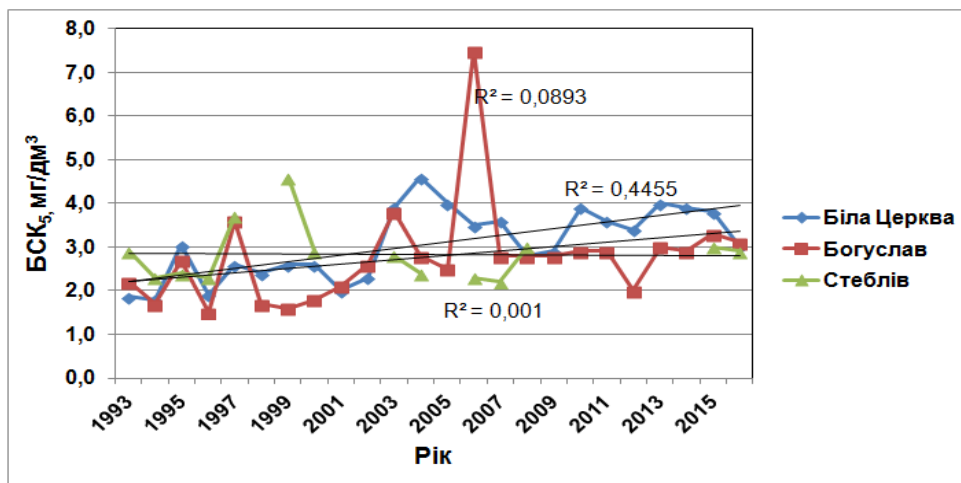


Рис. 7. Динаміка середнього річного значення показника БСК₅ у воді р. Рось у створах с. Глибичка (м. Біла Церква), м. Богуслав та смт Стеблів (водосховище) за період 1993 – 2016 рр., мгО₂/дм³

Кольоровість води є опосередкованим показником, який може характеризувати вміст органічних речовин. Кольоровість води спричинена вмістом у воді гумінових речовин і сполук трьохвалентного заліза. Ці речовини потрапляють у воду внаслідок вивітрювання гірських порід, хімічного та біохімічного розкладу решток рослин, з підземним стоком, скидами стічних вод.

Середні річні значення кольоровості води р. Рось за період 1993 – 2016 рр. змінювалися в межах від 16,3 до 80,9 град. - у створі с. Глибичка (м. Біла Церква, 218-й км); від 17,2 до 82,6 град. - у створі м. Богуслав (118-й км); від 25,8 до 55,3 град. - у створі смт Стеблів, водосховище (84-й км) – рис. 8.

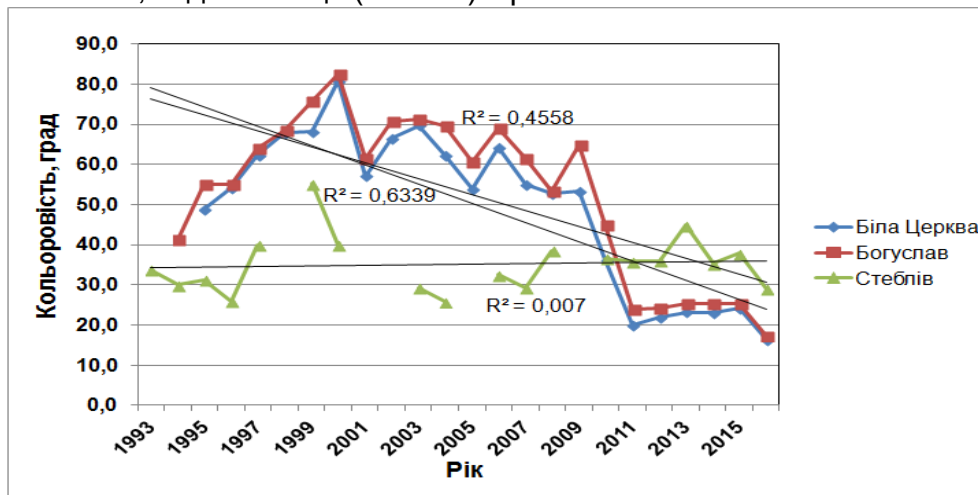


Рис. 8. Динаміка середнього річного значення показника кольоровості води р. Рось у створах с. Глибичка (м. Біла Церква), м. Богуслав та смт Стеблів (водосховище) за період 1993 – 2016 рр., градуси

В цілому, для створів с. Глибичка (м. Біла Церква, 218-й км) та м. Богуслав (118-й км) спостерігається тенденція до зменшення показника кольоровості води за вказаний період. Якщо у 1999 – 2000 рр. середні річні показники кольоровості води досягали максимальних значень – 55,3 – 82,6 град. по зазначених створах, то впродовж останніх п'яти років вони не перевищують 20,0 – 40,0 град. Цікавим є також той факт, що до 2010 р. показники кольоровості води у створах с. Глибичка (м. Біла Церква, 218-й км) та м. Богуслав (118-й км) значно перевищували аналогічні показники у створі смт Стеблів, водосховище (84-й км).

водосховище (84-й км). Впродовж останніх років ситуація змінилася на протилежну. При цьому, у Стеблівському водосховищі середнє багаторічне значення кольоровості води не зазнало змін. Зменшення показника кольоровості води у р. Рось впродовж останніх років, на нашу думку, обумовлено зменшенням обсягу надходження гумусових речовин з поверхні водозбору річки через зменшення величини поверхневого стоку.

За весь період, що аналізується, середня багаторічна величина кольоровості води є близькою за значенням у створах с. Глибичка (Біла Церква) та м. Богуслава (49,2 та 52,6 град., відповідно), а далі - на наступному відрізку річки – від м. Богуслава до Стеблівського водосховища – вона зменшується до значення 35,1 град.

Завислі речовини у воді є також опосередкованим показником, який характеризує вміст органічних речовин. Моніторингові дослідження БУВР р. Рось висвітлюють чітку тенденцію до зростання вмісту завислих речовин у річковій воді протягом 1993 – 2016 рр. Найбільше вона проявляється на Росі у створах с. Глибичка (м. Біла Церква, 218-й км) та м. Богуслав (118-й км) – рис. 9. При цьому, також синхронне зростання показників ХСК та БСК₅ у річковій воді може вказувати на те, що збільшення вмісту завислих речовин відбувається за рахунок органічної складової.

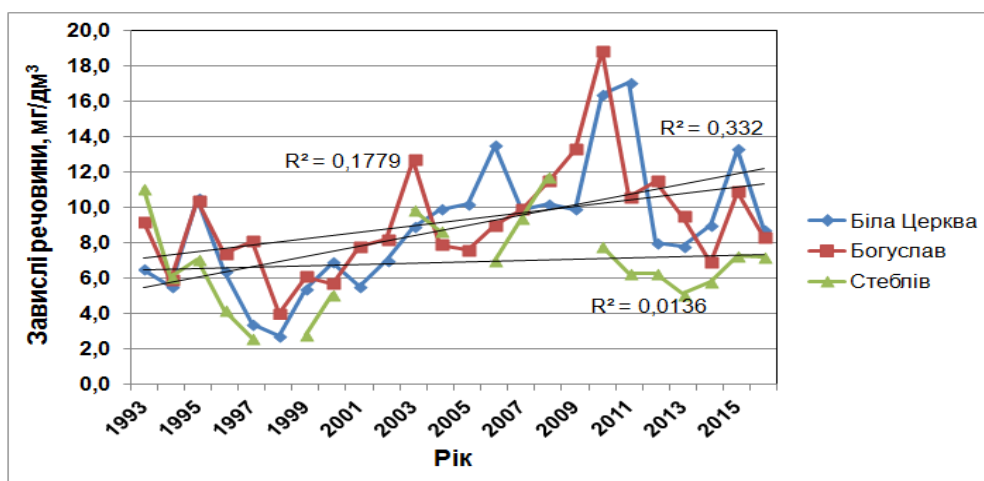


Рис. 9. Динаміка середньої річної концентрації завислих речовин у воді р. Рось у створах с. Глибичка (м. Біла Церква), м. Богуслав та смт Стеблів (водосховище) за період 1993 – 2016 рр., мг/дм³

Середні річні концентрації вмісту завислих речовин за період 1993 – 2016 рр. змінювалися в межах: від 2,7 до 17,1 мг/дм³ - у створі с. Глибичка (м. Біла Церква, 218-й км); від 4,0 до 18,9 мг/дм³ – у створі м. Богуслав (118-й км); від 2,6 до 11,8 мг/дм³ – у створі смт Стеблів, водосховище (84 км) – рис. 9.

Середня багаторічна величина вмісту завислих речовин дещо зростає вниз за течією - від с. Глибичка (Біла Церква) до м. Богуслава (з 8,9 до 9,2 мг/дм³), а далі - на наступному відрізку річки – від м. Богуслава до Стеблівського водосховища – зменшується до значення 6,9 мг/дм³.

Залізо загальне. До головних чинників, які визначають обсяги та інтенсивність надходження заліза в поверхневі водні об'єкти, слід віднести, насамперед, процеси хімічного вивітрювання гірських порід. Значна кількість розчинених сполук заліза надходить у води річок з підземним стоком, промисловими стічними водами, поверхнево-схиливим стоком та стоком з сільськогосподарських угідь.

Середні річні концентрації заліза загального у воді р. Рось за період 1993 – 2016 рр. змінювалися в межах від 0,08 до 0,41 мг/дм³ - у створі с. Глибичка (м. Біла Церква, 218-й км); від 0,08 до 0,37 мг/дм³ – у створі м. Богуслав (118-й км); від 0,08 до 0,50

мг/дм³ - у створі смт Стеблів, водосховище (84 км) – рис. 10. Для річкової води у створах с. Глибичка (Біла Церква) та м. Богуслав спостерігається тенденція до зменшення концентрації заліза загального за вказаний період, а для води Стеблівського водосховища – зворотна тенденція.

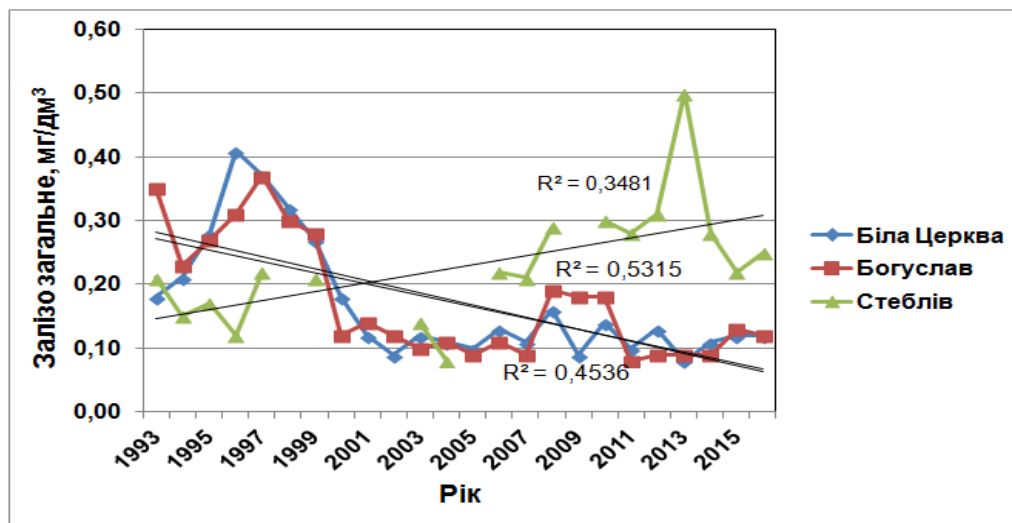


Рис. 10. Динаміка середньої річної концентрації заліза загального у воді р. Рось у створах с. Глибичка (м. Біла Церква), м. Богуслав та смт Стеблів (водосховище) за період 1993 – 2016 рр., мг/дм³

Середня багаторічна концентрація заліза загального у воді р. Рось є стабільною на відрізку річки від с. Глибичка (Біла Церква) до м. Богуслава (0,17 мг/дм³), а далі - на наступному відрізку річки – від м. Богуслава до Стеблівського водосховища – дещо збільшується до значення 0,23 мг/дм³.

Висновки. Синхронне зростання показників ХСК, БСК₅ та вмісту завислих речовин у воді р. Рось впродовж останніх років при відносно стабільних концентраціях неорганічних сполук азоту та фосфору зумовлено збільшенням вмісту органічних речовин у воді річки. На нашу думку, зростання вмісту органічних речовин у воді річки обумовлено комплексом чинників природного та антропогенного походження.

Природні чинники зростання вмісту органічних речовин - передусім, низька водність р. Рось. Починаючи з 2006 р. на річках басейну Росі спостерігається маловодна фаза стоку, при цьому водність річок становить 30–40 % від багаторічної норми. На фоні низької водності та зростаючих значень температури води, особливо в період літньо-осінньої межені, відбувається накопичення органічних речовин, особливо в руслових водосховищах і ставках. Відповідно, за високої температури відбуваються процеси їхнього розкладання (гниття) з виділенням токсичних речовин. Також за низької водності та при відсутності течії (через значну зарегульованість) відбувається інтенсивне заростання русел річок басейну Росі вищою водною рослинністю та, відповідно, їх замулення. Тривалий час на річках басейну формується невисоке весняне водопілля, що не забезпечує природного очищення русел.

При відсутності необхідних витрат води в річці не можуть у повному обсязі проходити процеси самоочищення. Підтримувати необхідну якість води на водозаборах питного водопостачання доводиться за рахунок здійснення штучних промивок водосховищ та підтримання розрахункових санітарних витрат на водних об'єктах в басейні р. Рось.

Ще одним з чинників, що сприяють потраплянню органічних речовин у водні об'єкти басейну Росі, є недостатня кількість заліснених та залужених прибережних захисних смуг, які є природним фільтром при потраплянні в русла річок забрудненого поверхневого стоку.

Антропогенні чинники зростання вмісту органічних речовин – передусім, скиди господарсько-побутових стічних вод. Найбільшим забруднювачем поверхневих вод в басейні Росі є житлово-комунальне господарство, яке скидає до 50 % усіх забруднених стічних вод. Треба відзначити також наявність неочищеного зливого стоку з поверхні міст і селищ. Зафіксовано випадки несанкціонованого підключення до мереж зливової каналізації користувачів, які скидали в неї неочищені господарсько-побутові стічні води.

Централізованим водопостачанням та каналізаційним відведенням стічних вод у басейні Росі забезпечено лише 25 % населення міст та селищ міського типу. По селах цей показник значно нижчий. Сільськогосподарські підприємства та присадибні господарства не здійснюють прямих скидів стічних вод у водні об'єкти, або ж повинні скидати лише очищені стічні води, наприклад у тваринництві. Однак, не маючи прямого, технологічно унормованого скидання використаних вод, вони часто здійснюють неконтрольовані скиди використаних та брудних вод до місцевих водойм і водотоків.

Забруднювальні речовини надходять також у водотоки у складі поверхнево-схилового стоку з сільгоспугідь, на які вносяться агрохімічні засоби, та за рахунок фільтрації в підземні водоносні горизонти, які дрениються річковою мережею.

Поєднання зазначених антропогенних чинників з природними зумовлює погіршення якості води р. Рось та її приток. Звичайно, що для детального аналізу якості води річки та її приток, чинників її формування потрібні додаткові наукові дослідження. Зокрема, бажано визначити вміст органічної речовини у воді річки прямими методами, а не через опосередковані показники ХСК та БСК₅. Потребує також аналізу на вміст мінеральних та органічних форм зависла речовина. Доцільно прослідкувати взаємозв'язок між вмістом фітопланктону та концентраціями сполук азоту і фосфору у воді.

Список літератури

1. Бабій П.О. Робота Басейнового управління водних ресурсів річки Рось з поліпшення якості води // Водне господарство України. – 2012. – Вип. 2. – С. 42-45
2. Бабій П.О., Вишневецький В.І., Шевчук С.А. Річка Рось та її використання. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2016. – 128 с.
3. Вплив господарської діяльності на гідрохімічний режим і якість води р. Рось / В.І. Пелешенко, Д.В. Закревський, В.К. Хільчевський та ін. // Вісн. Київського ун-ту, Географія. – 1985. - Вип. 27. – С. 37-44
4. Гідробіологія і гідрохімія річок правобережного Придніпров'я / В.В. Поліщук, В.С. Трав'янка, Г.Д. Коненко та ін. – К.: Наукова думка, 1978. – 270 с.
5. Гідроекологічний стан басейну річки Рось / [В.К. Хільчевський, С.М. Курило, С.С. Дубняк та ін.] / За ред. В.К. Хільчевського. – К.: Ніка-Центр, 2009. – 116 с.
6. Горєв Л.М., Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Гідрохімія України: Підручник. – К.: Вища школа, 1995. – 307 с.
7. Киркор Ф.Ф. Матеріали по вопросу о колебаниях состава речной воды. Химическое исследование воды реки Роси. 1904-1905 гг. / Труды Всероссийского общества сахарозаводчиков / Киев, Тип. Р.К. Лубковского. – 1907. – 164 с.
8. Коненко А.Д. Гидрохимическая характеристика малых рек УССР. К.: Изд-во АН УССР, 1952. – 172 с.
9. Коненко Г.Д. Гідрохімія ставків і малих водосховищ України. – К.: Наукова думка, 1971. – 311 с.
10. Линник П.М., Жежеря В.А., Іванченко Я.С. Роль розчинених органічних речовин у міграції металів у воді річки Рось // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2012. – Т. 1 (26). – С. 140-148
11. Морозова А.А. Оценка формирования гидрохимического режима р. Рось и р. Роська / А.А. Морозова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2005. – Т.8. – С. 41-45
12. Особливості гідрохімічного режиму р. Рось / В.К.Хільчевський, С.М.Курило, В.М.Савицький та ін. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2007. – Т.11. – С. 151-162
13. Оцінка річкової

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

мережі басейну Росі за типологією річок згідно Водної рамкової директиви Європейського Союзу / В.В. Гребін, В.К. Хільчевський, П.О. Бабій, М.Р. Забокрицька // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2015. – Т. 2 (37). – С. 23-33. **14.** Паламарчук М.М., Закорчевна Н.Б. Водний фонд України: Довідковий посібник. – 2-е вид., доп. – К.: Ніка-Центр, 2006. – 320 с. **15.** Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Загальна гідрохімія: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 384 с. **16.** Пелешенко В.І., Хільчевський В.К., Закревський Д.В. Дослідження гідрохімічних умов на Богуславському гідролого-гідрохімічному стаціонарі Київського // Вісн. Київського ун-ту, Географія. – 1988. – Вип. 30. – С. 47-54 **17.** Польові та лабораторні дослідження хімічного складу води річки Рось / [В.К. Хільчевський, В.М Савицький, О.А. Красова та ін.] / За ред. В.К. Хільчевського. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2012. – 143 с. **18.** Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т.6. Украина и Молдавия. Вып.2. Среднее и Нижнее Поднепровье: / [Под ред. Б.М. Штейнгольца]. - Л.: Гидрометеоиздат, 1964. - 256 с. **19.** Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. Вып.2. Среднее и Нижнее Поднепровье: / [Под ред. М.С.Каганера]. - Л.: Гидрометеоиздат, 1971. - 656 с. **20.** Справочник по водным ресурсам СССР. Т.8. Украинская ССР. Ч.2 / Под ред. М.С.Каганера. – К.: Изд-во АН УССР, 1955. – 657 с. **21.** Шевчук І.О., Зацаринна О.Д., Сукач Л.В. Екологічні проблеми річки Рось // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т. 4 (31). – С. 89-94.

Характеристика хімічного складу води річки Рось (за даними моніторингу басейнового управління водних ресурсів)

Бабій П.О, Гребін В.В., Хільчевський В.К.

Здійснено просторово – часову оцінку показників хімічного складу води річки Рось за даними моніторингу басейнового управління водних ресурсів за період 1993 – 2016 рр. Відзначено зростання вмісту органічних речовин у воді річки протягом останніх років, що зумовлено комплексом природних (маловодна фаза водності, відсутність близько десяти років значних водопіль, недостатня кількість залісених та залужених захисних смуг) та антропогенних (недостатньо очищені скиди господарсько-побутових стічних вод, надходження неочищеного зливого стоку з урбанізованих територій, низька забезпеченість населених пунктів в басейні каналізаційним відведенням стічних вод, надходження поверхнево - схилового стоку з сільгоспугідь) чинників.

Ключові слова: річка Рось, гідрохімічний режим, дослідження.

Характеристика химического состава воды реки Рось (по данным мониторинга бассейнового управления водных ресурсов)

Бабий П.А., Гребень В.В., Хильчевский В.К.

Проведена пространственно-временная оценка показателей химического состава воды реки Рось по данным мониторинга бассейнового управления водных ресурсов за период 1993 – 2016 гг. Отмечено возрастание содержания органических веществ в воде реки на протяжении последних лет, что обусловлено комплексом природных (маловодная фаза водности, отсутствие около десяти лет значительных половодий, недостаточное количество залесенных и залуженных защитных полос) и антропогенных (недостаточно очищенные сбросы хозяйственно-бытовых сточных вод, поступление неочищенного ливневого стока с урбанизированных территорий, низкая обеспеченность населенных пунктов в бассейне канализационным отводом сточных вод, поступление поверхностно – склонового стока с сельхозугодий) факторов.

Ключевые слова: река Рось, гидрохимический режим, исследования.

Characteristics of the water chemical composition in river Ros (according to the basin water resources management monitoring)

Babiy P., Grebin V., Khilchevskiy V.

Conducted the space-time assessment of the water chemical composition parameters in river Ros according to the basin water resources management monitoring for the period 1993 - 2016 years. The chemical composition of the water in river Ros is characterized by the regular changes, which are caused by physical and geographical conditions of the basin and anthropogenic influence. Analysis of the dynamics of individual components content shows a synchronous increase in rates COD, BOD₅, content of suspended substances in water at relatively stable concentrations of inorganic nitrogen and phosphorus. This could indicate that the increase of organic substances in the river water. The increase of organic substances caused by complex factors of natural and anthropogenic character.

Among the natural factors need to highlight the low water content of the river (since 2006 observed phase of the low flow of the river). Against the background of low water content and increased water temperature values (especially during the summer-autumn low water) is the accumulation of organic substances in river reservoir. The following processes of their decomposition leads to emission of toxic substances. Insufficient water exchange in reservoirs with low water content promotes to intensive overgrowing of the river bed of higher aquatic vegetation and their subsequent siltation.

An important anthropogenic factor of the increase of organic substances in the river water is discharges household wastewater. The biggest polluter of surface water in Ros basin is housing and communal services, which amounts to 50% of all polluting waste water in the basin. It is also necessary to take into account the presence of untreated storm runoff from urbanized areas.

Pollutants enters in the basin watercourses as part of the surface-slope runoff from agricultural land, in which introduce fertilizers, also by filtering into underground aquifers which drained by the river network.

The interconnection of described above anthropogenic factors with natural causes deterioration of water quality in river Ros and its tributaries.

Keywords: river Ros, hydrochemical regime, research.

Надійшла до редколегії 17.02.2017

УДК 556.114:546.56(282.247)

Скоблей М.П.¹, Линник П.М.², Жежеря В.А.²

¹Державна екологічна інспекція у Закарпатській області, м. Ужгород

²Інститут гідробіології НАН України, м. Київ

КОНЦЕНТРАЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У СКЛАДІ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН РІЧОК БАСЕЙНУ ТИСИ

Ключові слова: важкі метали; завислі речовини; річки басейну Тиси

Постановка та актуальність проблеми. Завислі речовини (ЗР) природних поверхневих вод – це складна суміш частинок мінерального й органічного походження, зокрема глинистих мінералів, карбонатів, алюмосилікатів, оксидів і гідроксидів феруму і мангану, детриту, фіто- і зоопланктону, бактерій та інших частинок, які знаходяться в завислому стані у стовпі води та затримуються на мембранному фільтрі з розміром пор 0,45 мкм при її пропусканні крізь нього [21, 25, 26, 29, 31]. При цьому не завжди враховуються колоїдно-дисперсні частинки, які характеризуються значно меншими розмірами, але можуть знаходитися серед ЗР. Високим вмістом оксидів і гідроксидів феруму у складі ЗР характеризуються річкові води, що дренують тундру, тайгу й тропічну зону [25].

Джерела походження ЗР у поверхневих водах характеризуються широким розмаїттям. До них відносяться, передусім, вітрове перемішування і скаламучування донних відкладів, ерозія берегів та примикаючих ґрунтів, відмирання фіто- й зоопланктону, деструкція органічних речовин, продукти життєдіяльності гідробіонтів, еоловий перенос тощо. Розрізняють теригенні (продукти розмиву ґрунтів, гірських порід), біогенні (фрагменти тіл і екскременти організмів), вулканогенні (уламковий матеріал вулканічних вивержень), хемогенні (продукти хімічних реакцій і процесів, що відбуваються у водних об'єктах), космогенні (космічний пил) та антропогенні (тверді частинки стічних вод металовидобувних і металообробних виробництв, вугільний пил, поверхнево-активні речовини тощо) завислі речовини [2, 17, 28].

У різнотипних водних об'єктах (річки, водосховища, озера, естуарії) ЗР відіграють важливу роль в міграції мікроелементів, головних йонів, природних органічних речовин, зокрема гумінових і фульвокислот, органічних мікрополutantів, оскільки вони можуть бути асоційовані з ними як за рахунок фізико-хімічної адсорбції

на їхній поверхні, так і асиміляції водоростями та бактеріями, що входять до складу ЗР [13, 21, 27, 31]. Ступінь фізико-хімічної адсорбції залежить від природи поверхні твердих частинок. Тонкодисперсні частинки, зазвичай, містять у своєму складі значно більші концентрації речовин, ніж грубодисперсні. Особливого значення набуває адсорбція гумусових кислот на поверхні ЗР, які покриваються тонкою плівкою та набувають негативного поверхневого заряду, завдяки якому позитивно заряджені йони важких металів залучаються з води за рахунок електростатичних сил та утворюють відповідні комплексні сполуки за участю карбоксильних і фенольних функціональних груп [13, 16, 31]. При цьому не слід виключати адсорбцію на ЗР вже наявних у воді гуматних і фульватних комплексних сполук металів. Високою адсорбційною здатністю характеризуються тонкодисперсні глинясті частинки, а також оксиди й гідроксиди алюмінію, феруму та мангану, що знаходяться у складі ЗР. Вони ж виступають також активними сорбентами для природних органічних сполук.

ЗР мінеральної природи істотно впливають на токсичність важких металів, знижуючи її для деяких організмів завдяки зменшенню концентрації у воді лабільної фракції як токсичної, до якої належать вільні (гідратовані) йони металів, їхні гідросокомплекси та слабо стійкі комплекси з органічними лігандами [16]. Водночас, припускається, що для інших організмів, наприклад, риб ЗР, забруднені важкими металами, можуть становити небезпеку для їхнього функціонування, оскільки в їхньому організмі вони можуть вивільнятися зі складу ЗР і проявляти токсичний вплив [9, 31].

Важливо зазначити безпосередній негативний вплив ЗР на розвиток біоти [8]. Високий їхній вміст зумовлює збільшення каламутності води і зниження її прозорості, а це заважає проникненню сонячної радіації та пригнічує фотосинтез. В результаті нівелюється певною мірою роль цього процесу як джерела кисню у воді. Тонкодисперсні частинки ЗР ускладнюють функціонування зябер у риб та викликають осмотичну дисфункцію.

Важливість дослідження ЗР зумовлена ще й тим, що вони виступають важливим компонентом водних систем не лише в транспортуванні різноманітних речовин, але й у їхньому концентруванні з води та накопиченні у донних відкладах поверхневих водних об'єктів за сприятливих для цього процесу умов.

Метою цієї роботи стало узагальнення результатів досліджень вмісту важких металів (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr) у складі ЗР р.Тиси та деяких її приток, що проводились протягом 2015–2016 рр.

Матеріали і методи досліджень. Проби води відбирались в поліетиленову посуду з поверхневого шару води (~ 0,5 м) щомісячно на різних ділянках р. Тиси (с. Ділове, м. Тячів, смт Солотвино, смт Вилок та м. Чоп) та її приток – річок Уж (с. Сторожниця), Уличка й Убля (державний кордон Україна-Словаччина), Латориця (с. Страж).

Для вилучення ЗР проби води пропускали крізь мембранні фільтри з діаметром пор 0,45 мкм. Потім фільтри із зависсю висушували до постійної маси. Масу ЗР визначали за різницею між масою висушеного фільтра із зависсю та масою самого фільтра перед його використанням для фільтрування проби води.

Сухі фільтри із ЗР піддавали двостадійній обробці, як це детально описано в [1, 3]. Необхідність такої обробки зумовлена тим, що повне вилучення металів зі складу ЗР не забезпечується як при підкисленні проб природної води до pH 2,0, так і при “мокрому спалюванні” в суміші концентрованих нітратної та сульфатної (HNO_3 і H_2SO_4) кислот (перша стадія обробки ЗР, що містяться на фільтрах) [3]. Навіть при знаходженні ЗР в розчині 0,1 моль/дм³ хлоридної кислоти (HCl) протягом 18 год ступінь вивільнення металів (Cu, Zn, Cd, Cr, Pb, Fe) досягав лише 28–95% [20].

Найменшою мірою вилучались ферум і хром, а найбільшою – плумбум. У нашому випадку повне вилучення металів досягалось лише після гідротермальної обробки ЗР в сильнолужному середовищі при нагріванні в сталевому автоклаві з фторопластовим тиглем у муфельній печі до 230°C протягом 4,5–5 год (друга стадія пробопідготовки). Останнім часом широко використовується мікрохвильова пробопідготовка ЗР, завдяки якій стає мінімальною можливість додаткового забруднення проб [12, 14, 19, 33, 34], хоча й лужна обробка ЗР не втратила свого значення [18].

Концентрацію досліджуваних металів визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії з електротермічною атомізацією з використанням спектрофотометра ContrAA700. Джерелом стабільного й інтенсивного випромінювання у зазначеному спектрофотометрі була ксенонова лампа, спектр випромінювання якої безперервний у спектральному діапазоні 190–900 нм. Детектор ССД-матричний з підвищеною УФ-чутливістю і високою квантовою ефективністю.

Результати досліджень та їхнє обговорення. Аналіз результатів визначення вмісту ЗР у досліджуваних річках басейну Тиси показав, що він порівняно невисокий як для гірських річок та характеризується незначними флуктуаціями протягом року (рис. 1). Звичайно, до уваги не брались періоди, коли каламутність води істотно зростала під час весняного водопілля або після інтенсивних опадів (про це йшлося раніше [6]). Найвірогідніше, це тонкодисперсні ЗР, що переносяться водним потоком, і через це вони схильні меншою мірою до седиментації порівняно з грубодисперсними твердими частинками.

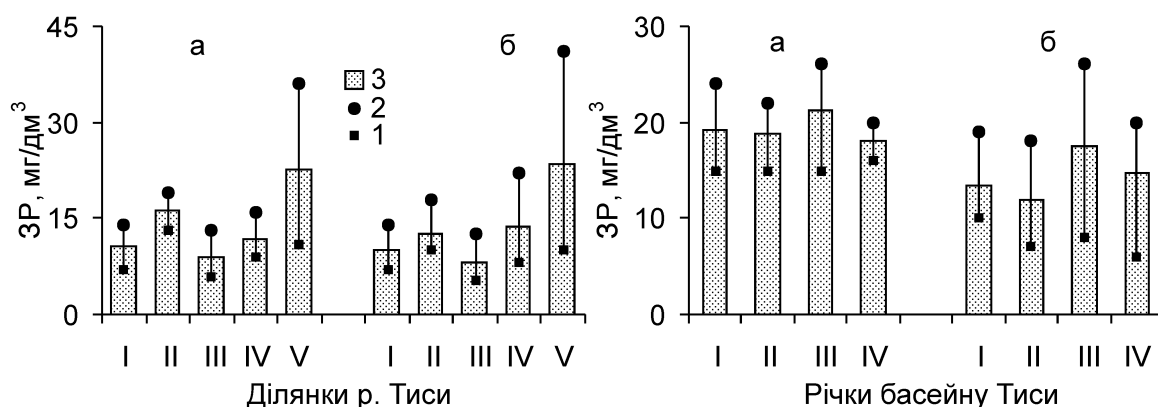


Рис. 1. Граничні (1, 2) та усереднені (3) величини вмісту ЗР у воді р. Тиси на різних її ділянках (I – с. Ділове, II – м. Тячів, III – смт Солотвино, IV – смт Вилок, V – м. Чоп) та деяких річок басейну Тиси (I – р. Уж, с. Сторожниця, II – р. Латориця, с. Страж, III – р. Уличка, IV – р. Убля) у 2015 (а) й 2016 (б) рр.

Результати визначення вмісту металів у складі ЗР р. Тиси наведено на рис. 2 і 3, а інших річок басейну Тиси, що досліджувалися нами, – на рис. 4 і 5. Вони переконують у тому, що інтервали коливань концентрацій доволі широкі практично для всіх металів. Характерно, що навіть за усередненими величинами концентрації металів у складі ЗР виявились порівняно високими. Для р. Тиси вони протягом 2015–2016 рр. становили: Cd – 2,5–21,5 мкг/г, Cu – 17,3–321, Pb – 13,3–238, Zn – 191–1169, Ni – 16,7–256, Cr 4,7–41,4 мкг/г. У воді інших річок вміст металів у складі ЗР був дещо нижчим. В р. Уж він знаходився в наступних межах (мкг/г): Cd – 10,1–

10,9, Cu – 18,8–45,9, Pb – 48,9–282, Zn – 222–288, Ni – 49,5–110, Cr – 19,8–62,0; в р. Латориці: Cd – 4,1–5,6, Cu – 27,0–95,5, Pb – 61,0–67,4, Zn – 131–218, Ni – 41,9–49,2, Cr – 10,0–49,9.

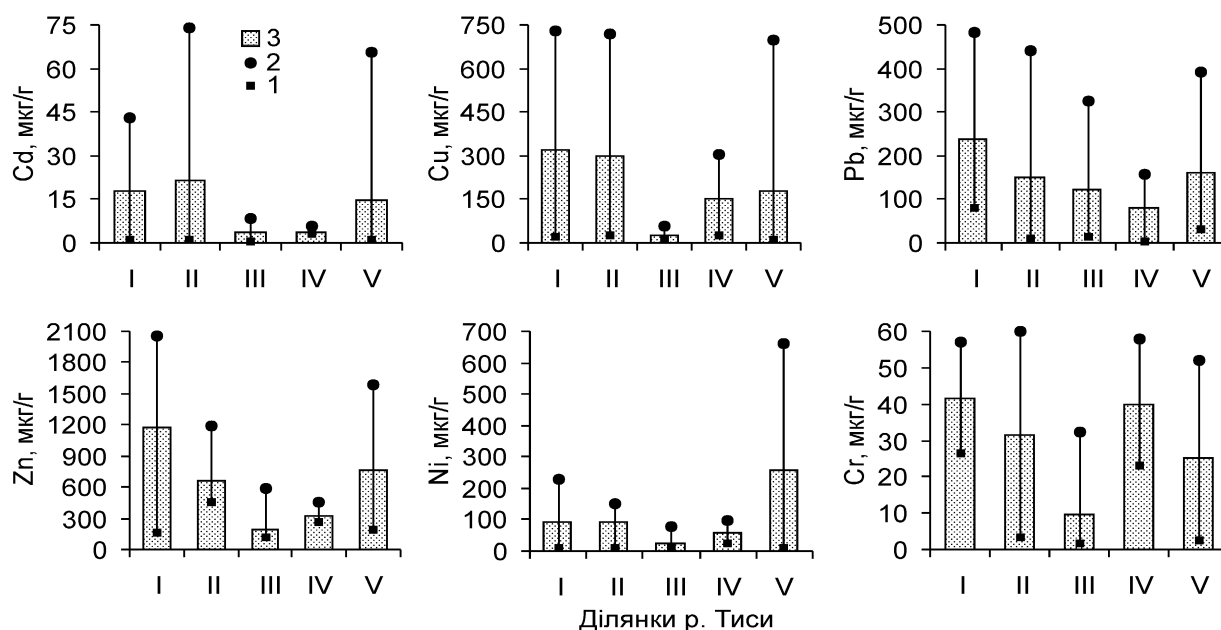


Рис. 2. Граничні (1, 2) та усереднені (3) концентрації металів у складі ЗР у воді р. Тиси на різних її ділянках, 2015 р. (Тут і на рис. 3: I – с. Ділове, II – м. Тячів, III – смт Солотвино, IV – смт Вилок, V – м. Чоп)

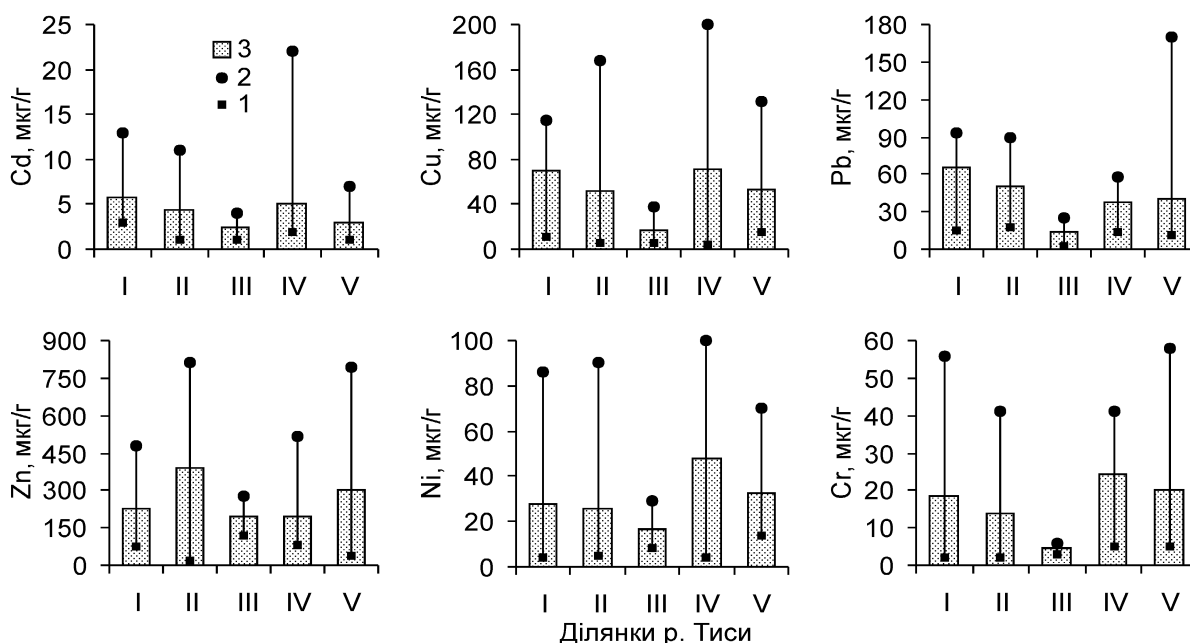


Рис. 3. Граничні (1, 2) та усереднені (3) концентрації металів у складі ЗР у воді р. Тиси на різних її ділянках, 2016 р.

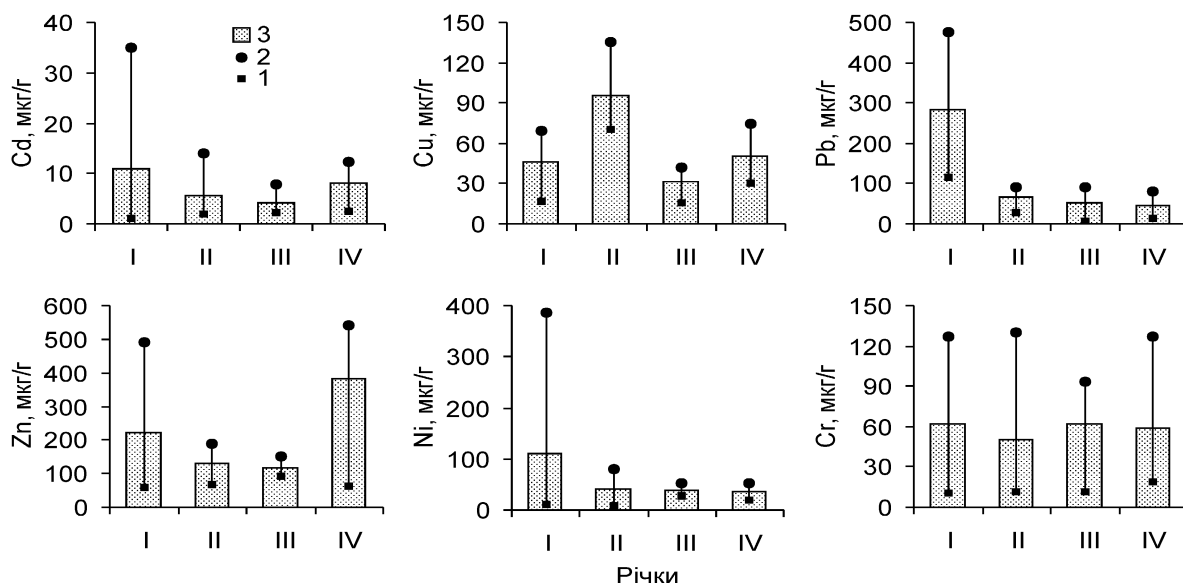


Рис. 4. Граничні (1, 2) та усереднені (3) концентрації металів у складі ЗР у воді річок басейну Тиси, 2015 р. (Тут і на рис. 5: I – р. Уж, с. Сторожниця, II – р. Латориця, с. Страж, III – р. Уличка, IV – р. Убля)

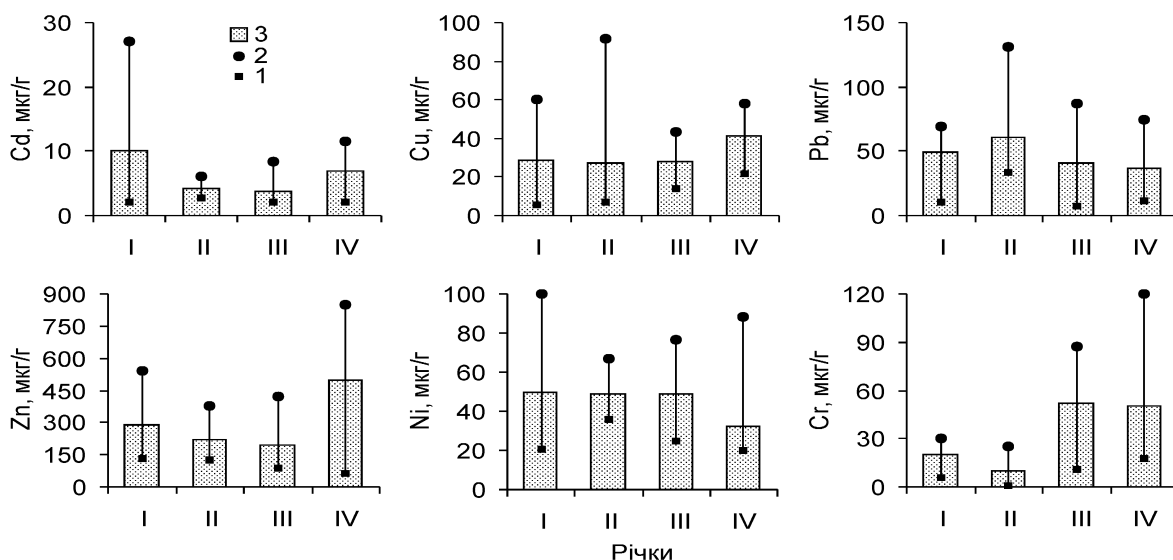


Рис. 5. Граничні (1, 2) та усереднені (3) концентрації металів у складі завислих речовин у воді річок басейну Тиси, 2016 р.

Високі значення концентрацій металів можна пояснити, з одного боку, за рахунок досягнення повноти їхнього вилучення зі складу ЗР у процесі двостадійної пробопідготовки останніх. З іншого боку, знаходить підтвердження наш висновок про те, що у воді домінувала тонкодисперсна фракція ЗР, яка характеризується високою адсорбційною ємністю щодо металів. Причому, як було показано в [32], чим менший розмір частинок, тим більше металів знаходиться у їхньому складі. Концентрації металів у складі ЗР як р. Тиси, так і річок її басейну виявились у 2015 р. дещо вищими, ніж у 2016 р., хоча вміст самих ЗР не зазнав таких помітних змін. Найбільшою мірою це стосується цинку, купруму та плюмбуму.

Нами узагальнено та залучено для порівняння аналогічні дані щодо вмісту важких металів у складі ЗР річок з інших регіонів (таблиця). Можна пересвідчитись, що концентрації металів, які переносяться із завислю в річках, наведених в таблиці, також високі, що можна розглядати як загальну закономірність.

Таблиця. Концентрації важких металів у складі завислих речовин річок з різних регіонів світу

Об'єкти досліджень	Роки досліджень	ЗР, мг/дм ³	Метали	М _{зав} , мкг/г	Літературні джерела
Річки світу	×	×	Cd Cu Pb Zn Ni Cr	0,5** 45–100** 25–100** 130–250** 50–90** 85–100**	[4, 17]
Те ж саме	×	×	Cu Pb Zn Ni Cr	34–172** 22–76** 130–346** 46–123** 79–260**	[29]
р. Тиса (Угорщина, Сербія)	2001	×	Cd Cu Pb Zn Ni Cr	<u>1,3–4,7</u> 3,3 <u>56–175</u> 125,7 <u>49–128</u> 88,7 <u>350–1150</u> 511,5 <u>48–66</u> 55,4 <u>50–99</u> 93,9	[15]
Притоки річки Тиси (Угорщина, Сербія)	2001	×	Cd Cu Pb Zn Ni Cr	0,4–5,8 40–190 28–140 175–550 20–53 50–80	[15]
р. Дунай	2002	×	Cd Cu Pb Zn Cr	3,2 328 236 1934 103	[33]
Те ж саме	2001	×	Cd Cu Pb Zn Ni Cr	<u><1,1–7,6</u> <1,1 <u>28,3–193,7</u> 52,7±12,3 <u>18,2–85,0</u> 34,6±8,3 <u>99–398</u> 166±32 <u>23,2–89,8</u> 47,3±10,7 <u>32,9–107,5</u> 62,3±12,0	[32]
Притоки річки Дунаю	2001	×	Cd Cu	<u><1,1–25,6</u> 1,6±5,3 <u>26,9–95,5</u> 46,0±31,3	[30]

Продовження табл.

Об'єкти досліджень	Роки досліджень	ЗР, мг/дм ³	Метали	М _{зав} , мкг/г	Літературні джерела
Притоки річки Дунаю	2001	×	Pb	<u>17,3–214,9</u> 42,3±60,9	[30]
			Zn	<u>87–2224</u> 260±473	
			Ni	<u>32,6–170,9</u> 55,4±42,3	
			Cr	<u>55,0–148,9</u> 76,0±36,2	
р. Рона (Франція)	2001–2003	4,7–2911,5	Cd	<u>0,31–1,14</u> 0,62	[22]
			Cu	<u>26,4–143</u> 51,8	
			Pb	<u>22,4–109</u> 47,2	
			Zn	<u>107–336</u> 188	
			Ni	<u>34,6–90,5</u> 48,2	
			Cr	<u>63,2–151</u> 93,2	
р. Одра (Польща)	1997–2000	<u>1,2–116</u> 28,9±18,9	Cd	<u>0,87–39,8</u> 8,51±6,18*	[14]
			Cu	<u>4,25–399</u> 100±65,9	
			Pb	<u>9,37–1614</u> 138±146	
			Zn	<u>111–31369</u> 2027±4113	
			Ni	<u>2,83–1287</u> 103±152	
			Cr	<u>8,94–351</u> 129±60,5	
р. Тигр (Ірак)	1993	×	Cd	н.в.–4,8	[7]
			Cu	6,51–64,0	
			Pb	9,1–265	
			Zn	274–5555	
			Ni	100–424	
Річки басейну р. Пірасікаба, Бразилія	2005	<u>19,2–172,5</u> 94,4	Cu	<u>50–98</u> 76,9	[18]
			Pb	<u>14–50</u> 34,8	
			Zn	<u>180–420</u> 274	
			Ni	<u>41–105</u> 71,9	
			Cr	<u>115–175</u> 142	

Примітка: ЗР – завислі речовини; над рискою – граничні величини, під рискою – усереднені значення; * середньоарифметичне значення ± стандартне відхилення; ** усереднені величини; н.в. – нижче межі визначення; × – відсутність інформації.

Так, наприклад, концентрація цинку у складі ЗР з р. Тиси на території Угорщини і Сербії знаходилась в межах 350–1150 мкг/г [15]. Порівняно високим виявився вміст зазначеного металу у складі ЗР у воді р. Дунаю та його приток – відповідно від 99 до 1934 та від 87 до 2224 мкг/г [30, 33]. Високі концентрації металів виявлено в р. Одрі на території Польщі [14]. В низці робіт [7, 11, 23, 33, 34] було встановлено, що концентрації деяких металів, зокрема Cr, Cu, Mn, Ni і Zn, у складі ЗР виявились значно більшими (інколи майже на порядок величин) за їхній вміст у донних відкладах поверхневих водних об'єктів.

Зазначене може бути зумовлене наступними причинами. По-перше, розмір суспендованих частинок набагато менший, ніж в донних відкладах, тому важкі метали мають тенденцію до адсорбції саме на їхній поверхні. По-друге, вміст органічних речовин у складі ЗР вищий, ніж у донних відкладах, і важкі метали, зазвичай, акумулюються в органічній речовині. По-третє, ЗР містять значно більше колоїдних частинок, ніж седименти, які також здатні до акумуляції важких металів, про що вже йшлося вище [34].

Аналогічна ситуація, тобто істотне перевищення концентрацій металів у складі ЗР порівняно з їхнім вмістом у донних відкладах, стосується й річок басейну Тиси. Так, за результатами попередніх досліджень вміст важких металів у донних відкладах річок Тиси, Латориці й Ужа знаходився в межах (мкг/г): 0,3–0,5 (Cd), 5,3–12,5 (Cu), 3,0–9,6 (Pb), 8,0–72,3 (Zn), 6,9–18,9 (Ni) і 1,2–6,1 (Cr).

Концентрації металів у ЗР досліджуваних річок виявились приблизно на порядок величин більшими, ніж величини їхнього вмісту у ґрунтах гумусового профілю національних природних парків Закарпаття, зокрема “Синевир”, “Ужанський” і “Зачарований край”, які приймаються за фонові значення у природно-заповідному фонді. Усереднені величини вмісту цинку в цих ґрунтах становили 22,6–30,0 мкг/г, купруму – 12,4–14,3, плюмбуму – 10,8–16,5 і кадмію – 1,56–1,82 мкг/г [5]. У зв'язку з цим на перспективу важливого значення набувають дослідження розміру завислих частинок та їхнього хімічного складу, включаючи органічні речовини, оскільки результати таких досліджень дали б можливість зрозуміти причини такого високого вмісту важких металів у їхньому складі.

Водночас, високі концентрації деяких важких металів, зокрема плюмбуму (261 мкг/г), купруму (161 мкг/г) і цинку (476 мкг/г) було виявлено також в донних відкладах р. Тиси поблизу впадіння р. Самош, що свідчить про їхнє антропогенне забруднення під час аварійних ситуацій, що сталися на металовидобувних підприємствах поблизу міст Бая-Маре та Бая-Борша в Румунії у 2000 р. [10, 24].

Висновки. Порівняно невисокі показники вмісту ЗР у воді досліджуваних річок басейну р. Тиси свідчать про домінування в них тонкодисперсної фракції, яка схильна до седиментації незначною мірою та характеризується високою адсорбційною ємністю щодо різноманітних речовин, у тому числі й важких металів. Концентрації важких металів у складі ЗР річок басейну Тиси характеризуються доволі високими величинами, що пояснюється, найвірогідніше, як фізико-хімічною адсорбцією, так і зв'язуванням у комплекси з органічними речовинами, які покривають завислі частинки тонкою плівкою. Вміст важких металів у складі ЗР значно більший (фактично на порядок величин), ніж у донних відкладах досліджуваних річок, що узгоджується також з результатами багаточисельних досліджень на інших водних об'єктах. Отже, для з'ясування причин високих концентрацій важких металів у складі ЗР виникає нагальна потреба у вивченні розподілу завислих частинок між різними за розміром фракціями ЗР та їхнього хімічного складу, зокрема в частині виявлення оксидів і гідроксидів алюмінію, феруму, марганцу та органічних речовин.

Список літератури

1. Жежеря В.А. Методические особенности пробоподготовки взвешенных веществ и донных отложений / В.А. Жежеря, П.Н. Линник, Т.П. Жежеря, М.П. Скоблей // Гидробиол. журн. – 2015. – Т. 51, № 6. – С. 95–114.
2. Зенин А.А. Гидрохимический словарь / А.А. Зенин, Н.В. Белоусова. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 240 с.
3. Линник П.М. Роль завислых речовин у міграції металів у річках басейну Тиси / П.М. Линник, М.П. Скоблей, В.А. Жежеря // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: Наук. збірник. – 2015. – Т. 4(39). – С. 13–23.
4. Савенко В.С. Химический состав взвешенных наносов рек мира / В.С. Савенко. – М.: ГЕОС, 2006. – 175 с.
5. Симканич О.І. Хімічний та радіоекологічний моніторинг важких металів і гамма-радіонуклідів у об'єктах довкілля Закарпаття / О.І. Симканич // Дис. ... канд. хім. наук (спеціальність 21.06.01). – Ужгород, 2016. – 194 с.
6. Скоблей М.П. Важкі метали у воді річки Тиси: вміст, форми знаходження та особливості міграції (за результатами моніторингових досліджень) / М.П. Скоблей, П.М. Линник // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: Наук. збірник. – 2014. – Т. 4(35). – С. 87–97.
7. Al-Lami A.A. Heavy metals in water, suspended particles and sediment of the upper-mid region of Tigris River, Iraq / A.A. Al-Lami, H.H. Al-Jaberi // Proceedings of International symposium on environmental pollution control and waste management, 7-10 January 2002, Tunis. – EPCOWM. – 2002. – P.97-102.
8. Bilotta G.S. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota / G.S. Bilotta, R.E. Brazier // Water Res. – 2008. – Vol. 42. – P. 2849–2861.
9. Farag A.M. Physiological changes and tissue metal accumulation in rainbow trout exposed to foodborne and waterborne metals / A.M. Farag, C.J. Boese, D.F. Woodward, H.L. Bergman // Environ. Toxicol. Chem. – 1994. – Vol 13, N 12. – P. 2021–2029.
10. Fleit E. Accumulative heavy metal patterns in the sediment and biotic compartments of the Tisza watershed / E. Fleit, G. Lakatos // Toxicology Letters. – 2003. – Vol. 140–141. – P. 323–332.
11. Fuchs S. Heavy metals in freshwater ecosystems introduced by urban rainwater runoff – monitoring of suspended solids, river sediments and biofilms / S. Fuchs, T. Haritopoulou, M. Schafer, M. Wilhelmi // War. Sci. Tech. – 1997. – Vol. 36, N 8-9. – P.277–282.
12. Geana E.I. Comparison of three digestion methods for heavy metals determination in soils and sediments materials by ICP-MS technique / E.I. Geana, A.M. Iordache, C. Voica, M. Culea, R.E. Ionete // Asian J. Chem. – 2011. – Vol. 23, N 12. – P. 5213–5216.
13. Hart B.T. Uptake of trace metals by sediments and suspended particulates: a review / B.T. Hart // Hydrobiologia. – 1982. – Vol. 91. – P. 299–313.
14. Helios-Rybicka E. Distribution of trace metals in the Odra River system: Water–suspended matter–sediments / E. Helios-Rybicka, E. Adamiec, U. Aleksander-Kwaterczak // Limnologica. – 2005. – Vol. 35. – P. 185–198.
15. Joint Danube Survey. Investigation of the Tisza River and its tributaries // ICPDR: Final Report. – 2002. – 118 p.
16. Kordel W. The importance of natural and organic material for environmental processes in water and soils / W. Kordel, M. Dasssenakis, J. Lintelmann, S. Padberg // Technical report, International Union of Pure and Applied Chemistry. – Pure Appl. Chem. – 1997. – Vol. 69. – P. 1571–1600.
17. Martin J.-M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers / J.-M. Martin, M. Meybeck // Mar. Chem. – 1979. – Vol. 7. – P. 173–206.
18. Mortatti J. Characteristics of heavy metals and their evaluation in suspended sediments from Piracicaba river basin (São Paulo, Brazil) / J. Mortatti, J.-L. Probst // Revista Brasileira de Geociências. – 2010. – Vol. 40, N 3. – P. 375–379.
19. Namieśnik J. The speciation and physico-chemical forms of metals in surface waters and sediments / J. Namieśnik, A. Rabajczyk // Chemical Speciation and Bioavailability. – 2010. – Vol. 22, N 1. – P. 1–24.
20. Nolting R.F. Minor and major elements in suspended matter in the Rhine and Meuse rivers and estuary / R.F. Nolting, B. Sundby, J.C. Duinker // Netherlands J. Sea Res. – 1989. – Vol. 23, N 3. – P. 255–261.
21. Ödman F. Validation of a field filtration technique for characterization of suspended particulate matter from freshwater. Part I. Major elements / F. Ödman, T. Ruth, Ch. Pontér // Applied Geochem. – 1999. – Vol. 14. – P. 301–317.
22. Ollivier P. Major and trace element partition and fluxes in the Rhône River / P. Ollivier, O. Radakovitch, B. Hamelin // Chem. Geol. – 2011. – Vol. 285. – P. 15–31.
23. Palanques A. Contamination of heavy metals in the suspended and surface sediment of the Gulf of Cadiz (Spain): the role of sources, currents, pathways and sinks / A. Palanques, J.I. Diaz, M. Farran // Oceanologica Acta. – 1995. – Vol. 18, N 4. – P. 469–477.
24. Sakan S. Distribution and fractionation of heavy metals in the Tisa (Tisza) River sediments / S. Sakan, I. Gržetić, D. Đorđević // Env. Sci. Pollut. Res. – 2007. – Vol. 14, N 4. – P. 229–236.
25. Savenko V.S. Chemical composition of sediment load carried by rivers / V.S. Savenko // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

Geochem. Inter. – 2007. – Vol. 45, N 8. – P. 816–824. **26.** Tombácz E. The role of reactive surface sites and complexation by humic acids in the interaction of clay mineral and iron oxide particles / E. Tombácz, Z. Libor, E. Illés, A. Majzik, E. Klumpp // Organic Geochem. – 2004. – Vol. 35. – P. 257–267. **27.** Town R.M. Size fractionation of trace metal species in freshwaters: implications for understanding their behaviour and fate / R.M. Town, M. Filella // Rev. Environ. Sci. Biotech. – 2002. – Vol. 1. – P. 277–297. **28.** Turner A. Suspended particles: their role in estuarine biogeochemical cycles / A. Turner, G.E. Millward // Estuar. Coast. Shelf Sci. – 2002. – Vol. 55. – P. 857–883. **29.** Viers J. Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: New insights from a new database / J. Viers, B. Dupré, J. Gaillardet // Sci. Total Environ. – 2009. – Vol. 407. – P. 853–868. **30.** Voitke P. Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of the river Danube / P. Voitke, J. Wellmütz, D. Helm et al. // Chemosphere. – 2003. – Vol. 51. – P. 633–642. **31.** Weltens R. Ecotoxicity of contaminated suspended solids for filter feeders (*Daphnia magna*) / R. Weltens, R. Goossens, S. Van Puymbroeck // Arch. Environ. Contam. Toxicol. – 2000. – Vol. 39. – P. 315–323. **32.** Yao Q. Characterization of the particle size fraction associated with heavy metals in suspended sediments of the Yellow river / Q. Yao, X. Wang, H. Jian, H. Chen, Zh. Yu // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2015. – Vol. 12. – P. 6725–6744. **33.** Yiğiterhan O. Trace metal composition of particulate matter of the Danube River and Turkish rivers draining into the Black Sea / O. Yiğiterhan, J.W. Murray // Mar. Chem. – 2008. – Vol. 111. – P. 63–76. **34.** Zhu G-W. Heavy-metal contents in suspended solids of Meiliang Bay, Taihu Lake and its environmental significances / G-W. Zhu, Q-Q. Chi, B-Q. Qin, W-M. Wang // J. Environ. Sci. – 2005. – Vol. 17, N 4. – P. 672–675.

Концентрації важких металів у складі завислих речовин річок басейну Тиси Скоблей М.П., Линник П.М., Жежеря В.А.

Узагальнено результати досліджень вмісту важких металів (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni і Cr) у складі завислих речовин деяких річок басейну річки Тиси (Тиса, Уж, Латориця, Уличка, Убля), що проводились протягом 2015-2016 рр. Виявлено доволі широкі інтервали концентрацій зазначених металів. Завислі речовини у воді р. Тиси на різних її ділянках містили у своєму складі (за усередненими величинами) Cd – 2,5–21,5 мкг/г, Cu – 17,3–321, Pb – 13,3–238, Zn – 191–1169, Ni – 16,7–256, Cr 4,7–41,4 мкг/г. В завислих речовинах приток р. Тиси концентрації металів були нижчими, ніж у самій р. Тисі. Так, в р. Уж вони становили (мкг/г): Cd – 10,1–10,9, Cu – 18,8–45,9, Pb – 48,9–282, Zn – 222–288, Ni – 49,5–110, Cr – 19,8–62,0; в р. Латориці: Cd – 4,1–5,6, Cu – 27,0–95,5, Pb – 61,0–67,4, Zn – 131–218, Ni – 41,9–49,2, Cr – 10,0–49,9. Оскільки вміст завислих речовин у воді досліджуваних річок був порівняно невисоким, тому високі концентрації металів у їхньому складі можуть бути пов'язані з домінуванням дрібнодисперсних частинок з високою адсорбційною здатністю щодо металів. Характерно також, що вміст металів у завислих речовинах значно більший (приблизно на порядок величин), ніж у донних відкладах.

Ключові слова: важкі метали; завислі речовини; річки басейну Тиси.

Концентрации тяжелых металлов в составе взвешенных веществ рек бассейна Тисы Скоблей М.П., Линник П.Н., Жежеря В.А.

Обобщены результаты исследований содержания тяжелых металлов (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni и Cr) в составе взвешенных веществ некоторых рек бассейна реки Тисы (Тиса, Уж, Латорица, Уличка, Убля), которые проводились в течение 2015-2016 гг. Обнаружены достаточно широкие интервалы концентраций указанных металлов. Взвешенные вещества в воде р. Тиса на различных ее участках содержали в своем составе (по усредненным величинам) Cd – 2,5–21,5 мкг/г, Cu – 17,3–321, Pb – 13,3–238, Zn – 191–1169, Ni – 16,7–256, Cr – 4,7–41,4 мкг/г. Во взвешенных веществах приток р. Тиса концентрации металлов были ниже, чем в самой р. Тиса. Так, в р. Уж они составляли (мкг/г): Cd – 10,1–10,9, Cu – 18,8–45,9, Pb – 48,9–282, Zn – 222–288, Ni – 49,5–110, Cr – 19,8–62,0; в р. Латорица: Cd – 4,1–5,6, Cu – 27,0–95,5, Pb – 61,0–67,4, Zn – 131–218, Ni – 41,9–49,2, Cr – 10,0–49,9. Поскольку содержание взвешенных веществ в воде исследуемых рек было сравнительно невысоким, поэтому столь высокие концентрации металлов в их составе могут быть связаны с доминированием мелкодисперсных частиц с высокой адсорбционной способностью к металлам. Характерно также, что содержание металлов во взвешенных веществах значительно больше (примерно на порядок величин), чем в донных отложениях.

Ключевые слова: тяжелые металлы; взвешенные вещества; реки бассейна Тисы.

Concentrations of heavy metals in the suspended solids of the Tisza river basin

Scobley M.P., Linnik P.M., Zhezherya V.A.

There were summarized the results of researches heavy metals (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni and Cr) concentration in suspended solids of some rivers of Tisza basin (Tisza, Uzh, Latoritsya, Ulichka, Ublya) during the 2015-2016. It was found fairly wide intervals of studied metal concentrations. Suspended solids in water of Tisza river on its various sections contained in their composition (with averaged values) Cd – 2,5–21,5 µg/g, Cu – 17,3–321, Pb – 13,3–238, Zn – 191–1169, Ni – 16,7–256, Cr 4,7–41,4 µg/g. Concentrations of metals in the suspended solids of the Tisza tributaries were lower than in the same Tisza river. So, in the Uzh river they were (µg/g) : Cd – 10,1–10,9, Cu – 18,8–45,9, Pb – 48,9–282, Zn – 222–288, Ni – 49 5–110, Cr – 19,8–62,0; in the Latoritsya: Cd – 4,1–5,6, Cu – 27,0–95,5, Pb – 61,0–67,4, Zn – 131–218, Ni – 41,9–49,2, Cr – 10,0–49,9. Since the suspended solids content in the water of the studied rivers was low, high concentrations of metals in their composition may be due to the dominance of fine particles with high adsorption capacity to metals. It is also characteristic that the metal content in suspended solids is much greater (approximately an order of magnitudes) than in the sediments According to the preliminary results of the studies the concentration of heavy metals in the sediments of Tisza, Latoritsy and Uzh Rivers was in the range (µg/g): 0,3–0,5 (Cd), 5,3–12,5 (Cu), 3,0–9,6 (Pb), 8,0–72,3 (Zn), 6,9–18,9 (Ni), and 1,2–6,1 (Cr). The content of metals in the suspended solids of the investigated rivers was (approximately an order of magnitude) greater than their background concentrations in soils. These results are also consistent with the results of numerous studies at other water bodies. To clarify the reasons for high concentrations of heavy metals in suspended solids, it is necessary to investigate the distribution of suspended particles between fractions with different size of suspended solids and their chemical composition.

Keywords: heavy metals; suspended solids; Tisza river basin

Надійшла до редколегії 24.02.2017

УДК 556.531.3/.4 + 556.551

Лузовіцька Ю.А., Осадча Н.М., Артеменко В.А.

Український гідрометеорологічний інститут, м. Київ

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ ФОРМУВАННЯ БІОГЕННОГО СКЛАДУ ВОДИ РІЧКИ ДЕСНА ЗА ДОПОМОГОЮ СУМАРНИХ ТА РІЗНИЦЕВИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ КРИВИХ

Ключові слова: біогенні елементи, точкові та дифузійні джерела забруднення, сумарні криві, різницеві інтегральні криві

Вступ. Евтрофікація, як одна з найважливіших проблем функціонування водних екосистем, потребує негайного вирішення. Вперше це явище було відзначено у середині ХХ ст. і з тих пір швидко набуло глобального характеру. Незважаючи на значні зусилля вчених різних країн, остаточно справитись із цим явищем до цих пір не вдалося.

Евтрофікація пов'язана із зростанням умісту у воді таких біогенних елементів (БЕ) як сполуки азоту і фосфору. Наявність достатньої кількості поживних елементів стимулює неконтрольоване зростання біологічної продуктивності водних об'єктів. У разі її десятикратного підвищення виникає так зване явище «цвітіння». Розкладання померлих решток значної маси гідробіонтів спричиняє активне витрачання кисню на їхнє окиснення, накопичення патогенної мікрофлори та специфічних токсинів. Внаслідок цього погіршуються органолептичні показники води та санітарний стан об'єкта, створюються умови для виникнення задухи. Вода у цілому стає непридатною для питного і господарського користування.

Азот належить до найбільш поширених на земній кулі елементів. Його основна частина зосереджена у атмосфері, у газовому складі якої масова частка азоту сягає близько 75%. Азот вкрай необхідний для живих організмів елемент, які у процесі життєдіяльності переводять його у складні органічні молекули (амінокислоти, білки,

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

нуклеїнові кислоти). Кругообіг азоту у природі являє собою динамічну систему, до якої входять вода, атмосфера і ґрунт. Здатність азоту існувати у 9 валентних станах зумовлює високу мобільність цього елементу у природі. У літосфері його вміст становить $1 \cdot 10^{-2}$ масових %, у ґрунтах - коливається від 1,5 т/га до 15 т/га. Вміст сполук азоту у водних об'єктах коливається від 0,3–0,7 мг/дм³ в оліготрофних; 0,7–1,3 у мезотрофних до 0,8–2,0 у евтрофних екосистемах.

Єдиним природним джерелом фосфору є вивержені та осадові породи земної кори (апатити і фосфорити), у складі яких сумарний вміст фосфору не перевищує 1%. Внаслідок контакту з континентальними водами фосфор зазнає розсіювання і переноситься в моря і океани. Вміст сполук фосфору у незабруднених водних об'єктах коливається у межах тисячні – соті частки мгР/дм³.

Постановка і актуальність проблеми. У водних об'єктах більшості країн уміст сполук азоту і фосфору значно перевищує їхні природні концентрації, що зумовлено інтенсифікацією культурного землеробства, ростом урбанізованих територій, значними обсягами скидів стічних вод очисних споруд.

Для розробки заходів з мінімізації забруднення принциповим є розуміння основних шляхів надходження біогенних елементів у водну екосистему.

Забруднювальні речовини надходять до водних об'єктів від зосереджених (точкових) та розподілених (дифузних) джерел. Перші з них мають постійну локалізацію, не залежать від зовнішніх умов, відзначаються відносно постійними кількісними характеристиками та переліком забруднювальних компонентів. Дифузне забруднення істотно залежить від водного стоку, а кількісні параметри варіюють протягом часу у широких межах.

Тривалий час основні водоохоронні заходи були націлені на зниження забруднення від точкових джерел, що супроводжувалось будівництвом очисних споруд, поглибленням ступеню очистки стічних вод. Не дивлячись на значні фінансові затрати, які були задіяні розвиненими країнами, вміст біогенних елементів у поверхневих водах суттєво обмежити не вдалося. Це було викликано впливом дифузних джерел, роль яких до цього часу недооцінювалась. Так, згідно 2-му Плану управління, розробленому міжнародною комісією із захисту басейну Дунаю, дифузні джерела зумовлюють 42% загального забруднення річки сполуками азоту та 28% - сполуками фосфору [8]. Для зменшення забруднення від дифузних джерел у ЄС системно поєднується використання законодавчих норм (зокрема, Директива з нітратів) з Кодексами найкращих практик. Нині країни ЄС приступили до розробки узагальнюючого Керівництва із стійкого сільськогосподарського виробництва.

В Україні до цього часу контроль над забрудненням поверхневих вод біогенними елементами в основному зосереджений на регулюванні впливу точкових джерел. Ступінь впливу дифузних джерел невідомий. Беручи до уваги значний розвиток сільськогосподарського сектору економіки, він, апіорі, може бути високимщо показано в роботі В.К.Хільчевського [7]. Крім того, зобов'язання, взяті країною при підписанні Угоди про асоціацію з ЄС, спонукають до активних дій у зазначеному напрямку.

Метою цієї роботи було проведення досліджень щодо встановлення наявності впливу дифузних джерел на забруднення поверхневих вод у басейні р. Десна, водні ресурси якої є важливим джерелом питного водозабезпечення м. Києва та супутніх міст.

Матеріали та методи досліджень. Вихідними даними слугували результати щоденних спостережень ПАТ «Київводоканал» у замикальному створі Десни поблизу с. Літки за вмістом мінеральних форм азоту, фосфору, силіцію, чисельності фітопланктону за період 1991–2011 рр. Дані про витрати води та вміст ортофосфатів у створі с. Літки, а також хімічний склад води у створі м. Чернігова

запозичені з бази даних мережі гідрометеорологічних спостережень ДСНС України. Вказана інформація має певні особливості. Якщо для витрат води забезпечуються щоденні дані, то частота відбору проб на хімічний склад не перевищує 1 разу на квартал. Це призводить до виникнення значних похибок під час проведення розрахунків хімічного стоку. Для подолання зазначеного недоліку нами була задіяна обробка наявних рядів спостережень методом кубічних сплайнів [2].

Роботу було сконцентровано на визначенні стоку біогенних елементів, дослідженні його динаміки та умов формування на середній та нижній частинах української ділянки басейну р. Десни за період 1991–2011 рр. Хімічний стік обчислювався на підставі щоденних даних про витрати води та вміст забруднюючих речовин за загальноприйнятим методом [1]. Крім цього, задіяно сумарні та подвійні інтегральні криві, різницеві-інтегральні криві, та графіки зв'язку між водним стоком та виносом біогенних елементів.

Результати та їх обговорення. Стік біогенних елементів. Для вивчення умов і чинників, що викликають забруднення води р. Десна, проведено кількісну оцінку стоку біогенних елементів на середній та нижній ділянках річки у створах м. Чернігів та с. Літки (рис. 1).

Серед біогенних елементів основну частку стоку становлять сполуки силіцію, частка яких у створі м. Чернігова та с. Літки близька за значенням та складає відповідно 85% та 87%.

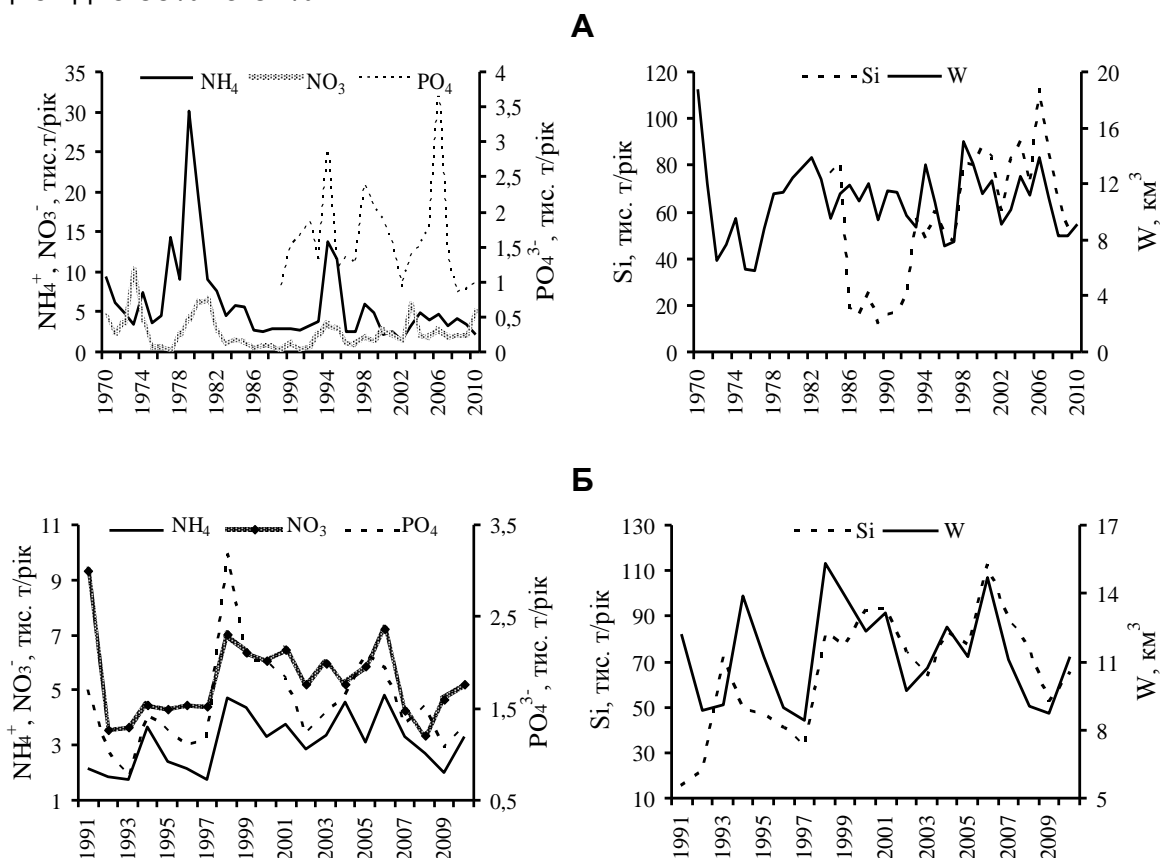


Рис. 1. Хронологічні криві водного стоку та стоку біогенних елементів р. Десна у створах А - м. Чернігів та Б - с. Літки

Порівняно із силіцієм значно меншу роль у виносі біогенних елементів відіграють сполуки азоту – 13% у створі м. Чернігова та 11% поблизу Літок. Незважаючи на те, що частка азоту в обох створах близька за значенням, у їхньому

виносі існує істотна відмінність. Так, на середній ділянці річки, у створі м. Чернігова домінує азот у формі амонійних сполук (69%). Цей факт пов'язаний з тим, що м. Чернігів – великий обласний центр з населенням близько 300 тис. чол. Як відомо, від життєдіяльності 1 особи протягом доби в стічні води надходить 7-8 г $N-NH_4^+$, що становить 2,7 кг $N-NH_4^+$ /рік. Отже, сумарно від м. Чернігова на рік може надходити > 800 т $N-NH_4^+$. На очисних спорудах міста застосовується другий, мікробіологічний, тип очищення. Ефективність цього методу дещо вища за 50%, тобто зі стічними водами міста орієнтовно може скидатися 300-400 т $N-NH_4^+$ /рік. Наведені дані переконливо підтверджуються даним державної статистичної звітності 2-ТП Водгосп. Стічні води м. Чернігова спочатку надходять до невеликої притоки р. Білоус, яка протікає поблизу міста. Екосистема зазначеної річки фактично приймає на себе більшу частину забруднення стічними водами, уміст амонійних сполук азоту у її водах утричі перевищує ГДК.

Останніми роками відзначається тенденція до зменшення частки виносу амонійних сполук азоту у створі м. Чернігова. Найвірогідніше, це пов'язано із започаткуванням доочищення стічних вод у біоствах.

У створі с. Літки основну частину сполук азоту представлено нітратною формою – >63%. Надходження $N-NO_3^-$ у річкові води більшою мірою пов'язано з їхнім зливом із поверхні водозбору від розподілених джерел. У сільськогосподарському виробництві широко застосовуються азотні добрива, які належать до легкорозчинних сполук. Недотримання норм і строків внесення, невідповідні умови зберігання добрив призводять до їх винесення атмосферними опадами у річкові системи.

Частка виносу мінерального фосфору найменша серед БЕ і становить 2 % на обох пунктах спостережень.

Визначення чинників формування виносу мінеральних сполук азоту та фосфору. Дослідження однорідності стоку БЕ було проведено з використанням сумарних кривих водного та хімічного стоку (рис. 2). Як видно з рис. 2 (а), водний стік на обох ділянках річки характеризується однорідністю, на кривих відсутні різкі відхилення та екстремуми.

Разом з тим сумарні криві хімічного стоку мають низку відхилень і такі відхилення найбільше проявляються у створі м. Чернігів. Цей факт свідчить про значний вплив антропогенного джерела. Слід зауважити, найбільший вплив м. Чернігова відзначався у 1980–1990 рр., коли активно функціонували всі галузі економіки. З розпадом СРСР у 1991 р. виробництво різко скоротилося, занепало сільське господарство, що призвело до істотного зменшення стоку сполук азоту. До теперішнього часу винос сполук азоту у створі м. Чернігів характеризується неоднорідністю і з об'ємом водного стоку практично не пов'язаний. Це свідчить про недостатнє очищення стічних вод міста, а також про наявність яскраво вираженого забруднення сполуками азоту від точкових джерел.

Сумарна крива виносу нітратного азоту поблизу Літок практично повторює аналогічну криву водного. Цей факт слугує підтвердженням формування стоку $N-NO_3^-$ за рахунок зливу із поверхні водозбору. Нітратні сполуки відзначаються високою розчинністю і легко вимиваються потоком води. Порівняно з нітратними сполуками сумарна крива стоку азоту у амонійній формі має яскраво виражене відхилення 1991–1998 рр. На нашу думку, це може бути пов'язано зі зменшенням обсягів стічних вод, скороченням населення та меншим споживанням протеїновмісних продуктів внаслідок економічної кризи, що відображено у даних Держкомстату України. Починаючи з 1998 р. сумарна крива стоку азоту амонійного наближається до лінії загального тренду, тобто значення впливу точкового джерела різко зменшилося.

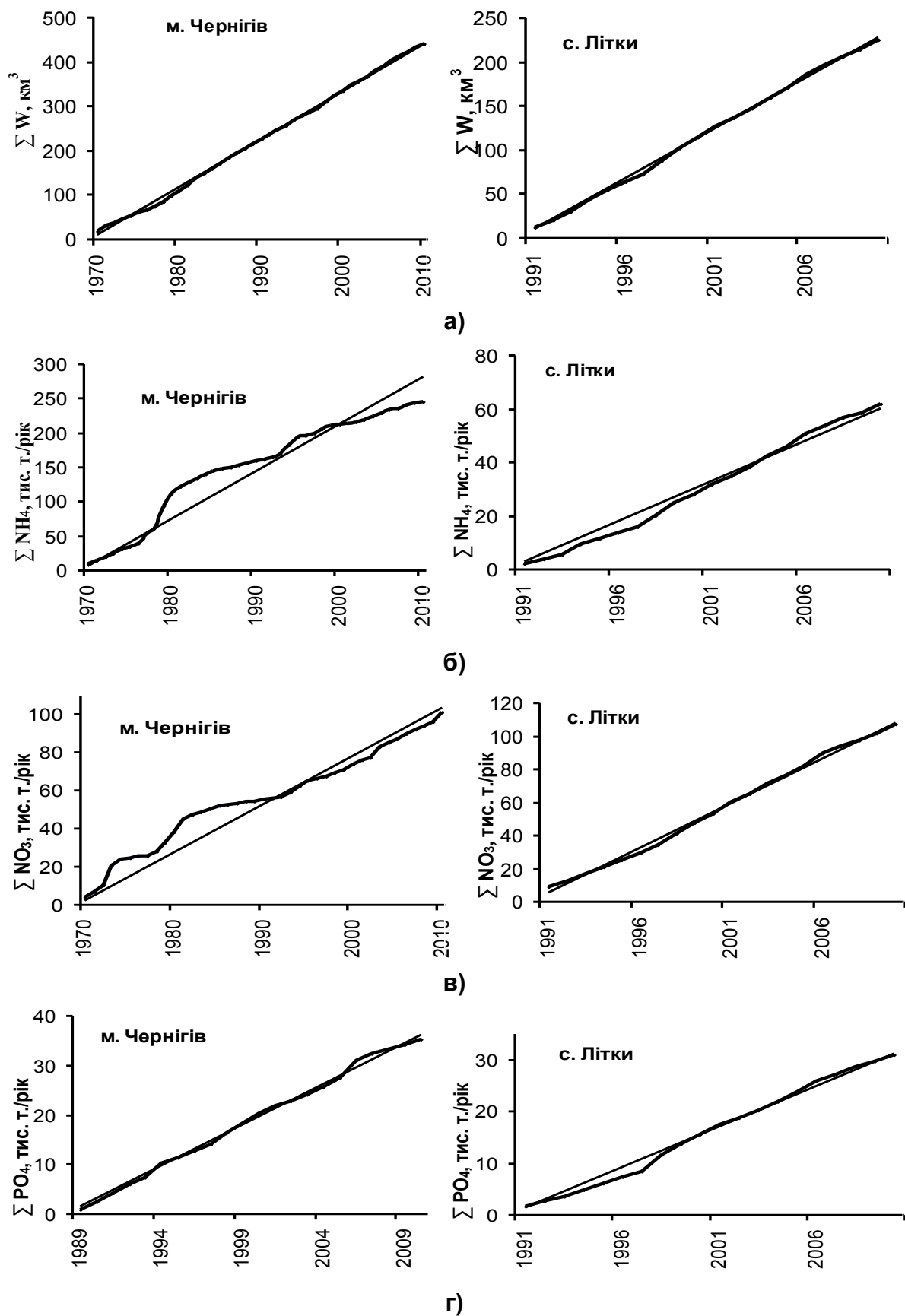


Рис. 2. Сумарні криві – р. Десна (м. Чернігів, с. Літки): а) водного стоку, б) стоку азоту амонійного, в) стоку азоту нітратного, г) стоку ортофосфатів

Отримані результати свідчать, що навантаження на водну екосистему р. Десни у нижній частині її басейну визначається переважно дією дифузних джерел.

Кількісне визначення впливу міст на хімічний стік виконується різними методами. Зокрема, у [3] наведено результати, отримані для 1998 р. балансовим методом. У нашому дослідженні для оцінки впливу м. Чернігова був використаний метод подвійної сумарної кривої хімічного та водного стоку (рис. 3).

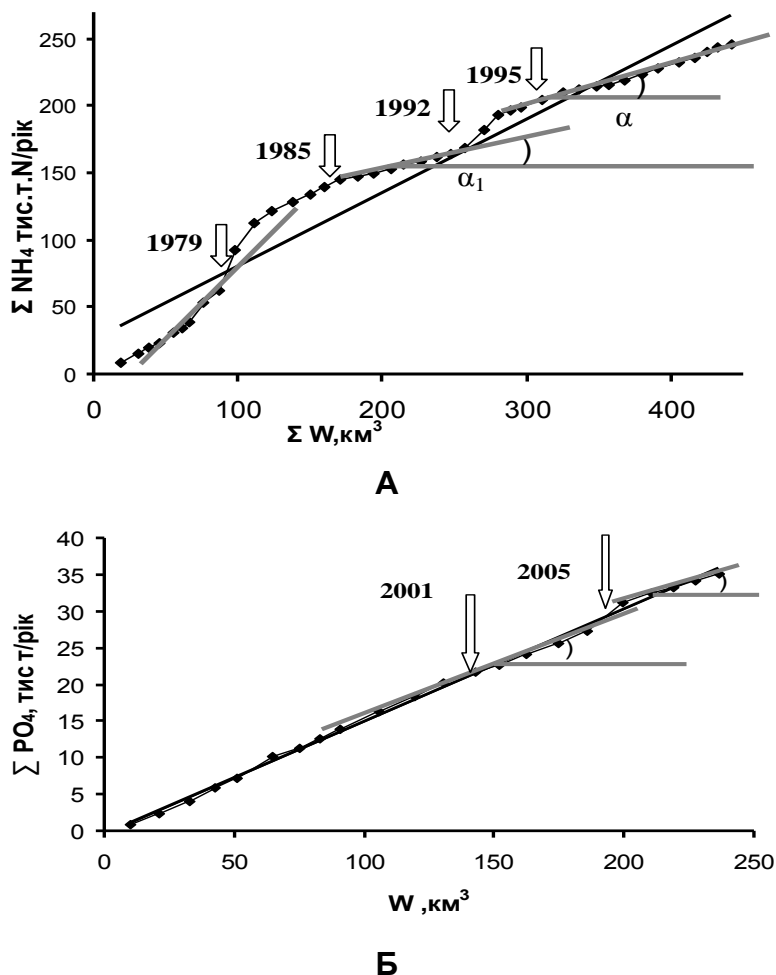


Рис. 3. Подвійна сумарна крива між виносом: А - амонію та водним стоком, Б - фосфору та водним стоком р. Десна, м. Чернігів

Середня за досліджуваний період зміна стоку біогенних елементів щодо водності обчислено на підставі вимірювання кута нахилу в початковій та кінцевій точці відхилення за формулою, наведеною у [5]:

$$Kn = \frac{tg\alpha}{tg\alpha_1}, \quad (1)$$

де Kn – середня за період зміна досліджуваної величини, α і α_1 – кути нахилу сумарної кривої у початковій та кінцевій точці відхилення. Вимірювання кутів нахилу виконано за допомогою програмного коду, розробленого у системі FreeMat.

З отриманих результатів випливає неоднорідність формування умов виносу амонію біля Чернігова. Цей висновок було зроблено на підставі наявності значних переломів на сумарній кривій. Перший значний перелом спостережено в 1979 р., коли величина його виносу досягла найбільшого за весь період спостережень значення. У цей же рік водний стік перевищив середнє багаторічне значення лише

на 4,6 %. Очевидно це було зумовлено надходженням значної кількості недостатньо очищених житлово-комунальних скидів стічних вод.

Друга група переломів була направлена в бік зменшення й спостерігалася в період 1985–1992 рр. Підставивши значення отриманих кутів нахилу кривої стоку амонійного азоту у формулу (1), отримали, що ступінь відхилення досягав 0,34 або 66%. Причини такого зменшення обговорювалися нами вище і зумовлені розпадом СРСР.

Третя група переломів спостерігалась протягом 1993 – 1994 рр., коли стік амонійного азоту знову зріс на фоні відповідного зростання водного стоку. З 1995 р. відзначається зменшення виносу амонійних сполук відповідно до попереднього періоду на 67%. За даними роботи [3] в багатоводному 1998 р. відносний вплив м. Чернігова на стік амонійного азоту становив 26,5%.

Подвійна сумарна крива стоку мінерального фосфору і водного стоку в створі м. Чернігова також носить неоднорідний характер, але порівняно з $N-NH_4^+$ має менші кути відхилень і характеризується двома переломними періодами. Перший з них період тривав з 2001 до 2005 (α_1) другий – з 2006 до 2010 (α). Звідси випливає що, $K_n = \tan(6^\circ) / \tan(9^\circ) = 0,11/0,165 = 0,66$

Отже, зменшення виносу фосфатів за останній період відбулось на 34%. Очевидно, це було зумовлено зменшенням скидів стічних вод та проведенням політики обмеження використання фосфоровмісних мийних засобів.

Визначення чинників формування виносу сполук силіцію. Сумарні криві стоку силіцію в середній та нижній частинах басейну р. Десна, відповідно створи м. Чернігів та с. Літки мають схожий характер (рис. 4).

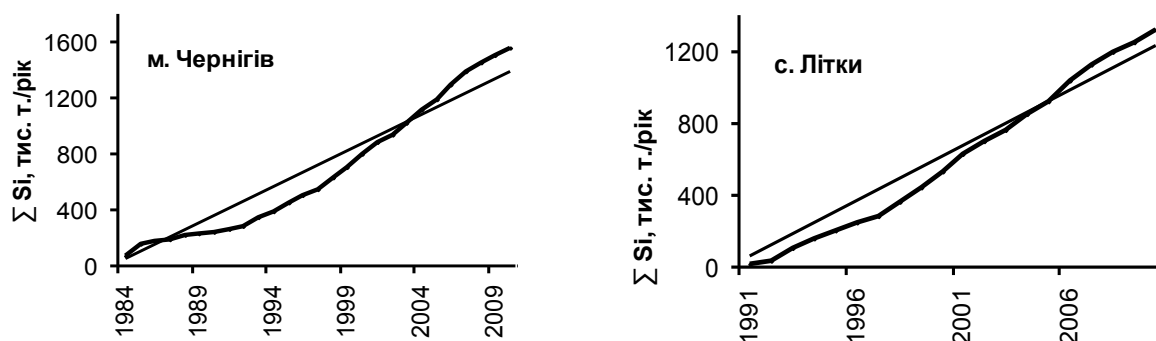


Рис. 4. Сумарні криві стоку силіцію на середній (м. Чернігів) та нижній (с. Літки) ділянках р. Десна

До початку 2000-х рр. в обох пунктах відзначалось суттєве відхилення від загального тренду. Силіцій належить до найпоширеніших елементів у природі, його вміст у воді не залежить від антропогенного впливу. На нашу думку, зменшення стоку силіцію до 2000 р. було зумовлено асиміляцією фітопланктоном. За даними авторів [6], основою альгофлори р. Десна є діатомові водорості. Цей вид водоростей відзначається наявністю кремнеземного панцира, на спорудження якого водорості споживають силіцій із води.

Після 2000-х рр. у воді р. Десна спостерігається збільшення концентрацій силіцію, що призвело до збільшення його загального стоку. Очевидно, що причиною стало зменшення кількості фітопланктону, що й підтверджується відповідною різницевою інтегральною кривою (рис. 5).

На розвиток та життєдіяльність діатомей впливає ряд чинників. Передусім, це температура та ступінь освітленості [9]. Оскільки температура води визначається

зональними кліматичними характеристиками, а її сезонний хід залежить від сезонного ходу температури повітря, цей чинник вважали стабільним.

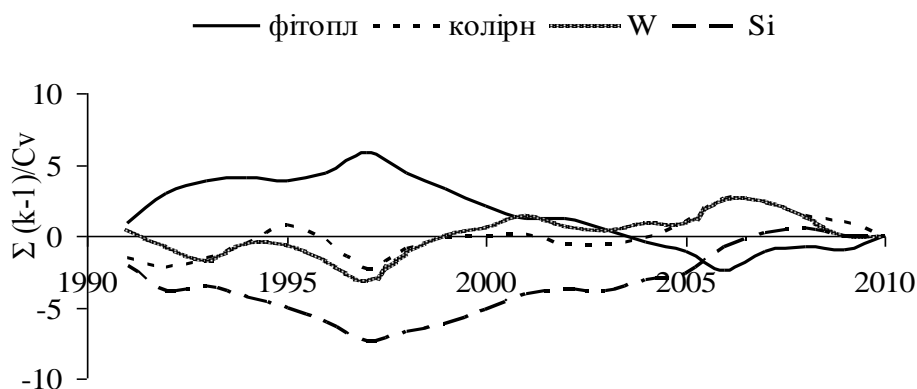


Рис. 5. Різницеві інтегральні криві коливань водності, стоку силіцію, колірності та чисельністю фітопланктону у воді р. Десна, с. Літки

Як видно з рис. 5, з 2000 р. спостерігається фаза зростання водного стоку. Басейн Десни розташований у гумідній зоні, містить заболочені території, з яких вимиваються органічні речовини гумусового походження. Останні мають жовто-коричневе забарвлення і надають воді колірності, в результаті чого зменшується її прозорість. Це перешкоджає проникненню у товщу води променів сонячного світла, від якого залежить процес фотосинтезу.

Взаємозв'язок відзначених параметрів чітко простежується на різницевих інтегральних кривих умісту сполук силіцію, водного стоку та колірності води.

На підтвердження висловленого припущення було побудовано подвійні сумарні криві між виносом силіцію і чисельністю фітопланктону, а також колірністю й фітопланктоном (рис. 6). Лінії перелому на обох графіках мають подібні обриси, з чого випливає, що надмірна колірність лімітує розвиток фітопланктону, наслідком чого є зростання виносу силіцію.

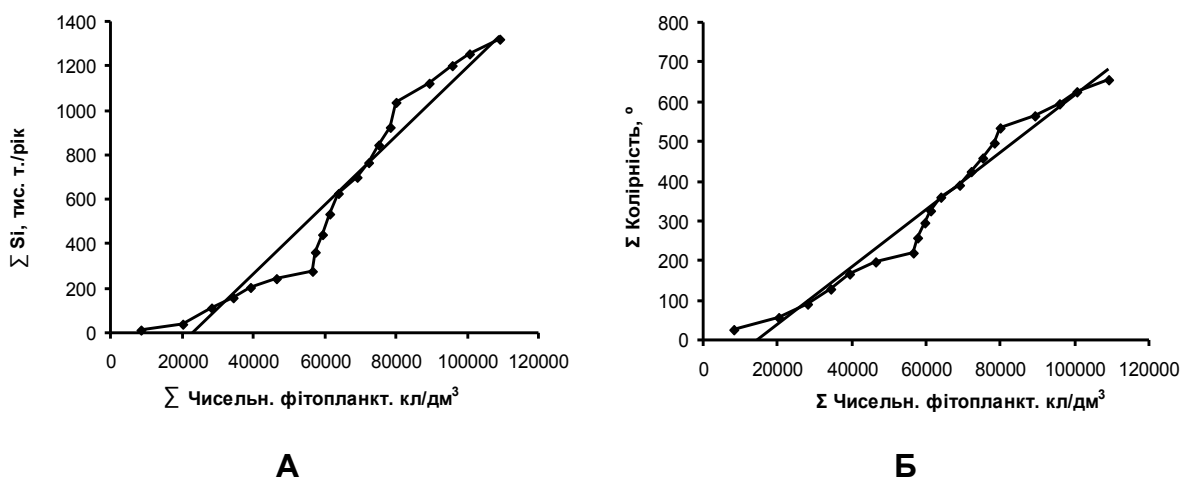


Рис. 6. Подвійна сумарна крива між (А) виносом силіцію і чисельністю фітопланктону та (Б) колірністю і чисельністю фітопланктону р. Десна, с. Літки

Висновки. На підставі розрахунку стоку біогенних елементів показано, що його основну частину складають сполуки силіцію, частка яких досягає 86%. Порівняно з силіцієм значно меншу роль відіграють сполуки азоту - 12 %, а частка фосфору найменша – 2%. У стоці азоту поблизу м. Чернігова домінують амонійні сполуки, що є ознакою надходження стічних вод і свідчить про значний вплив точкового

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

джерела. У нижній частині басейну річки (с. Літки) домінуюча частка сполук азоту представлена його нітратними формами, які через високу розчинність легко вимиваються з ґрунтового покриву і надходять у руслову мережу за рахунок дифузного змиву. У зв'язку з цим назріла термінова необхідність розробки методів оцінки надходження біогенних елементів від розподілених джерел.

Графічним методом виконано кількісну оцінку впливу точкового джерела м. Чернігова на стік сполук азоту і фосфору за весь період спостережень. Зазначено, що у створі м. Чернігова з 1995 р. зафіксовано зменшення виносу амонійних сполук відповідно до попереднього періоду на 67%. З 2006 р. по 2010 р. відзначено зменшення виносу сполук фосфору мінерального на 34%.

Сумарні криві стоку силіцію характеризуються тривалим відхиленням від основного тренду, протягом 1988–2004 рр. як на середній ділянці річки, так і в її пониззі. У цей період відзначено тісну кореляцію виносу силіцію з кількістю фітопланктону. З початку 2000-х стік силіцію варіював відповідно до змін водного стоку. Причиною стало зростання колірності води на фоні збільшення водності річки з наступним пригніченням розвитку фітопланктону через зменшення прозорості води.

Отримані результати показали доцільність та практичність застосування методів сумарної, подвійної сумарної та різницевої інтегральної кривої для дослідження навантаження річки забруднювальними речовинами. Беручи до уваги, що біогенний стік Десни формує 35% стоку NO_3^- , 25% стоку PO_4^{3-} від їх загального виносу з водами р. Дніпро у Чорне море [3], можна говорити про глобальні наслідки надлишку біогенних речовин у воді досліджуваної річки.

Список літератури

1. *Алекин О.А.* Сток растворенных веществ с территории СССР / О. А. Алекин, Л. В. Бражникова – М. : Наука, 1964. – 144 с.
2. *Каханер Д.* Численные методы и программное обеспечению / Д. Каханер, К. Моулер, С. Нэш. - М.: Мир, 2001. - 575 с.
3. *Лузовіцька Ю. А.* Винос біогенних елементів з басейну річки Десни / Ю. А. Лузовіцька, Н.М. Осадча, В.І. Осадчий // Зб. наук. пр. УкрНДГМІ. – 2011. – Вип. 261. – С. 117–138.
4. *Методика екологічної оцінки* якості поверхневих вод за відповідними категоріями; під ред. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіук О.П [та інші.] – Київ, 1998. – 28 с.
5. *Рождественский А.В.* Статистические методы в гидрологии / А.В. Рождественский, А.И. Чеботарев. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 422 с.
6. *Усов А.Е.* Экологические риски, возникающие вследствие сброса загрязненных вод г. Чернигова в водотоки / А.Е. Усов, С.А. Афанасьев, Л.В. Гулейкова и др // Гидробиол. журн.– 2008. – Т. 44, №1. –С. 45–59.
7. *Хільчевський В.К.* Роль агрохімічних засобів у формуванні якості вод басейну Дніпра / В.К. Хільчевський – К.: ВПЦ “Київський університет”, 1996. – 222 с.
8. *Management Plans for the Danube River Basin* published 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
9. *Poulsen N.* Biosilica formation in diatoms: Characterization of native silaffin-2 and its role in silica morphogenesis (англ.) / N. Poulsen, M. Sumper, N. Kröger / PNAS. — 2003. — Vol. 100, no. 21. — P. 12075—12080.

Аналіз чинників формування біогенного складу води річки Десна за допомогою сумарних та різницевих інтегральних кривих

Лузовіцька Ю.А., Осадча Н.М., Артеменко В.А.

Оцінка екологічної якості води р. Десна та її основних приток показала значний ступінь забруднення біогенними елементами та евтрофованості вод. Виявлено неоднорідність забруднення за довжиною річки.

Визначено кількісні параметри виносу біогенних елементів з водним стоком р. Десни. Показано, що основну частку стоку досліджених параметрів складають сполуки силіцію, частка яких у середньому становить 86%. Азот формує 12% стоку біогенних елементів. На середній ділянці річки стік азоту обумовлений його амонійною формою, тоді як на нижній ділянці він в основному представлений нітратними сполуками. На середній ділянці більшою мірою проявляється вплив точкового джерела, дія якого з просуванням до гирла зменшується. У нижній частині басейну р. Десни винос азоту обумовлений переважно дією розподілених джерел.

Графічним методом виконано кількісну оцінку впливу точкового джерела м. Чернігів на забруднення вод р. Десни біогенними елементами. Зроблено висновок про доцільність застосування графічних методів для дослідження навантаження річкових вод забруднювальними речовинами.

Ключові слова: біогенні елементи, точкові та дифузійні джерела забруднення, сумарні криві, різниці інтегральні криві.

Анализ факторов формирования биогенного состава воды реки Десна с помощью суммарных и разностных интегральных кривых

Лузовицкая Ю.А., Осадчая Н.Н., Артеменко В. А.

Оценка экологического качества воды р. Десны и ее основных притоков показала значительную степень загрязнения биогенными элементами и эвтрофности вод. Обнаружено неоднородность загрязнения по длине реки.

Определены количественные параметры выноса биогенных элементов с водным стоком р. Десны. Показано, что основную долю стока исследованных параметров составляют соединения силиция, доля которого в среднем составляет 86 %. Азот формирует 12 % стока биогенных элементов. На среднем участке реки сток азота обусловлен его аммонийной формой, тогда как на нижнем участке - нитратными соединениями.

На среднем участке в большей степени проявляется влияние точечного источника, действие которого с продвижением к устью уменьшается. В нижней части бассейна р. Десны вынос азота обусловлен преимущественным действием распределенных источников.

Графическим методом выполнено количественную оценку влияния точечного источника г. Чернигова на загрязнение вод р. Десны биогенными элементами. Сделан вывод о целесообразности применения графических методов для исследования нагрузки речных вод загрязняющими веществами.

Ключевые слова: биогенные элементы, точечные и диффузные источники загрязнения, суммарные и разностные интегральные кривые.

Analysis of the factors of formation of the biogenic composition of the Desna River water by means of the total curves and difference integral curves

Luzovitska Yu. A., Osadcha N. M., Armenko V. A.

According to the ecological quality assessment of the Desna River and its main tributaries the water there is significantly polluted. The water pollution along the river is inhomogeneous.

The chemical discharge of nutrients in the lowest point of the Desna River was calculated by processing daily data of the Public Joint Stock Company "Kyivvodocanal" and monitoring data of the state Emergency Service of Ukraine for years 1991–2011.

Silicon compounds account for 86% of the nutrient discharges. Nitrogen forms 12% of the nutrients load; the part of phosphorus is the smallest - 2 %. In the middle part of the river the nitrogen discharge is presented by its ammonium form because of the waste water impact of the city of Chernihiv. While in the lower part of the river nitrate compounds dominate in connection with diffusive leaching.

The homogeneity of the nutrient flow is researched using double mass curve between the water and chemical flow. The largest deviation for nitrogen in ammonium and nitrate forms was found near the city of Chernihiv. This fact indicates the anthropogenic impacts in the middle part of the river.

The nitrate nitrogen load in the lower part near the village Litky is balanced with the water runoff indicating a natural process.

The point sources have the main influence in the middle part of the river while the diffuse sources have a bigger impact in its lower part. The quantitative assessment of the point source impact of the city of Chernihiv on the Desna River water pollution by the nutrients was performed by a graphic method, in particular, using a double mass curve between the chemical and water runoff. On the basis of angles of inclination at the points of fracture the percentage of an increase of nutrient flow was established. In the middle part near the city of Chernihiv a decreasing of an ammonium flow by 67% was fixed compared to the previous period in 1995. The reduction of phosphorus flow by 34% was seen from the 2006 to 2010. It was found that a phytoplankton number was the limiting factor of a silicon flow. Based on the residual mass curve the decrease of a phytoplankton number was discovered since the early 1990. It was caused by increasing a water chromaticity in the high flow period because of organic compound leaching.

The conclusion on the expediency of the graphic methods using for the research of the river water pollution was made.

Keywords: nutrients point and diffuse sources of pollution, total curves, difference integral curves.

Надійшла до редколегії 07.02.2017

Лета В.В.

Ужгородський національний університет, Ужгород

ГІДРОХІМІЧНИЙ СТАН РІЧКИ ТИСА НА ДІЛЯНЦІ УКРАЇНСЬКО-РУМУНСЬКОГО КОРДОНУ

Ключові слова: *гідрохімічний стан, річка, показник, забруднення.*

Вступ. Річки є важливою складовою природного середовища та відіграють значну роль у життєдіяльності суспільства. Поверхневі води рік використовують для водопостачання, гідроенергетичного освоєння, а також для скидання в них сільськогосподарських та промислових стоків. Роль річок зростає зі збільшенням кількості населених пунктів уздовж течії, а відтак і промислових об'єктів, що скидають в них зворотні води. Українсько-румунська ділянка річки Тиса зазнає прямого антропогенного впливу від господарських об'єктів уздовж русла та опосередкованого – вплив приток Вішеу (румунська річка), Кісва та Шопурка. Маючи також міжнародний статус як річка, яка в межах 64 км слугує кордоном, потребує детального вивчення динаміки показників хімічного стану вод, що дозволить формувати екологічну політику в межах даного регіону та продовжувати міжнародну співпрацю між Україною та іншими країнами басейну Тиси.

Аналіз попередніх наукових досліджень. Екологічний стан водотоків Закарпатської області проаналізовано в багатьох працях науковців, проте найчастіше увага прикута до верхів'я Тиси. Гідрохімічна оцінка поверхневих вод басейну Тиси подана у роботі «Гідрохімія України» Горєва Л. М., Пелешенка В. І. та Хільчевського В. К. [2]. Дослідженням екологічного стану та напрямків міжнародного співробітництва в межах українсько-румунської ділянки річки Тиси в свій час займалися Ярошевич О.Є., Афанасьєв С.О., Осійський Е.Й., Гамор Ф.Д., Чіпак В.П. та ін. [1, 3, 4, 6, 10].

Наведена в статті оцінка стану поверхневих вод річки Тиса в межах українсько-румунського кордону включає комплекс показників за період 2006-2016 років з наведеними середніми значеннями за кожен рік. Для подання гідрохімічної характеристики вод вибрано наступні пункти моніторингу, які є показовими для усіх хімічних та фізико-хімічних елементів якості. В окремих населених пунктах є декілька точок спостереження, тому в їх назвах вказано відстань від гирла річки Тиса:

1. с. Ділове, держкордон Україна-Румунія;
2. 939 км, с. Ділове, нижче впадіння р. Вішеу;
3. с. Луг, нижче впадіння р. Вішеу;
4. 927 км, смт. Великий Бичків, автоматична гідрометеорологічна станція;
5. 912 км, смт. Солотвино, кордон з Румунією;
6. смт. Солотвино, держкордон Україна-Румунія;
7. м. Тячів, держкордон Україна-Румунія.

Оцінка якості поверхневих вод у вибраних створах проведена згідно стандартів Водної рамкової директиви ЄС та вимог Міжнародної комісії з захисту річки Дунай (МКЗРД) [7-9]. Для унаочнення прийнято класифікувати екологічний стан поверхневих вод наступним чином:

- "відмінний" – I-ий клас якості;
- "добрий стан" – II-ий клас якості;
- "задовільний стан" – III-ій клас якості;
- "поганий стан" – IV-ий клас якості;

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

"дуже поганий стан" – V-ий клас якості [8].

Характеристику гідрохімічного стану вод доцільно почати з аналізу загальних хімічних і фізичних показників, серед яких завислі речовини, запах, прозорість, показник рН. Щодо вмісту завислих речовин (частинки мулу, гідроксиди заліза, органічні колоїди), то майже на всій протяжності кордону показник не перевищує нормоване значення 15 мг/дм³, за винятком створу на 912 км в смт. Солотвино, що можна пояснити впливом господарства на прибережних територіях (табл. 1).

Запах оцінюється в балах (нормоване значення <2), а в межах даної території цей показник становить 1 бал. Показник прозорості води коливається, що зумовлено режимом стоку та частим проходженням паводків, проте за нормальних умов середньорічний показник в діапазоні від 22 до 26 см (нормоване значення 30 см). Середньорічне значення рН у пунктах спостереження на даній ділянці річки Тиса 7,8 [5].

Таблиця 1. Класи якості вод за загальними хімічними та фізичними показниками [5]

Рік Створ	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
с. Ділове, держкордон Україна-Румунія	II	II	II	II	II	II	I	I	I	I	II
939 км, с. Ділове, нижче впадіння р. Вішеу	*	*	II	II	II	II	II	II	I	*	*
с. Луг, нижче впадіння р. Вішеу	II	II	III	II	III	II	II	I	I	I	II
927 км, смт Великий Бичків, автоматична гідрометстанція	III	II	II	II	II	II	II	II	I	II	II
912 км, смт Солотвино, кордон з Румунією	II	II	V	II	II	I	II	II	I	II	II
Смт Солотвино - держкордон Україна-Румунія	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II
м. Тячів, держкордон Україна-Румунія	II	II	III	II	III	II	II	I	II	II	II

*-дані відсутні.

На практиці біохімічне споживання кисню (далі БСК) найчастіше визначається впродовж 5 діб (БСК₅). Як правило, протягом 5 діб при нормальних умовах відбувається окиснювання ~70% легкоокиснюваних органічних речовин. Встановлено, що чим більше у воді міститься органічних речовин, тим більше потрібно кисню для їх окиснення, тобто тим вище показник БСК. Згідно нижчезказаної табл. 2, показник біохімічного споживання кисню зростає вниз за течією, що вказує на поступове біологічне забруднення вод. Значення БСК₅ (1,9-3,3 мгО₂/л) у воді на цій ділянці Тиси дещо вищі, ніж у воді Верхньої Тиси (1,7-2,5 мгО₂/л) [11].

Більшість дослідників включають до переліку основних джерел надходження біогенних речовин (сполук азоту і фосфору) у річкові води комунальне господарство, промисловість, сільське господарство, тваринництво, землеробство, атмосферні опади. Так як обрана територія дослідження не виділяється високими показниками виробництва в народногосподарському комплексі, то відповідно і забруднення окремими біогенними речовинами є незначним (табл. 3).

Таблиця 2. Біохімічне споживання кисню (БСК₅), мгО₂/дм³ [5]

Створ \ Рік	с. Ділове, держкордон Україна-Румунія	939 км, с. Ділове нижче впадіння р. Вішеу	с. Луг, нижче впадіння р. Вішеу	927 км, смт Великий Бичків, автоматична гідромет. станція	912 км, смт Солотвино кордон з Румунією	Смт Солотвино, держкордон Україна-Румунія	м. Тячів, держкордон Україна-Румунія
2006	2.33	*	2.73	2.98	*	2.26	2.30
2007	2.12	*	2.15	3.19	*	2.04	1.92
2008	2.51	2.23	2.56	2.35	2.12	2.76	2.75
2009	2.65	2.18	2.64	2.07	2.17	3.13	2.79
2010	2.50	2.95	2.58	3.00	2.93	2.91	3.02
2011	2.72	2.37	2.82	2.54	2.31	2.94	3.16
2012	2.75	2.69	2.82	2.46	2.30	2.82	2.95
2013	2.72	2.58	2.73	2.92	2.44	3.31	2.96
2014	2.12	2.68	2.24	2.72	2.61	2.34	2.58
2015	1.92	*	1.96	2.80	2.53	2.09	2.23
2016	2.49	*	2.61	2.85	2.79	2.65	2.74

*-дані відсутні.

Таблиця 3. Класи якості вод за вмістом азоту та фосфору [5]

Створ \ Рік	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
с. Ділове, держкордон Україна-Румунія	II	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I
939 км, с. Ділове, нижче впадіння р. Вішеу	*	*	I	II	II	I	II	II	II	II	II
с. Луг, нижче впадіння р. Вішеу	II	II	II	II	I	II	I	I	I	I	I
927 км, смт Великий Бичків, автоматична гідромет. станція	I	II	I	I	II	II	II	II	II	II	II
912 км, смт Солотвино, кордон з Румунією	*	*	I	I	II	II	II	II	II	II	II
смт Солотвино, держкордон Україна-Румунія	II	II	II	I	II	II	I	I	I	I	I
м. Тячів, держкордон Україна-Румунія	II	II	II	II	II	II	I	I	I	I	II

*-дані відсутні.

Розчинені у воді солі зазвичай, представлені іонами HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ . Оскільки сума перелічених вище головних іонів становить 90-95% мінерального складу прісних вод, то її часто називають мінералізацією води (сухий залишок), яка є кількісною характеристикою розчинених у воді мінеральних речовин. Причинами коливання показників наведених у табл. 4 можуть бути природні фактори (осадові породи, мінерали). Так як перевищення норм не зафіксовано, тому про вплив виробничих стічних вод на мінералізацію поверхневих вод говорити не варто.

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

Таблиця 4. Мінералізація вод (сухийзапишок) [5]

Створ	Рік	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
с. Ділове, держкордон Україна-Румунія		148.83	139.92	189.00	154.82	129.42	134.64	145.42	139.42	146.67	148.42	132.31
939 км, с. Ділове, нижче впадіння р. Вішеу		*	*	152.25	165.25	158.50	151.42	169.67	166.92	159.42	*	*
с. Луг, нижче впадіння р. Вішеу		137.78	154.12	198.09	173.09	130.42	155.45	157.08	157.67	152.33	166.92	139.15
927 км, смт Великий Бичків, автоматична гідромет. станція		179.50	189.75	154.00	168.92	165.33	162.33	179.42	170.00	170.17	174.67	171.50
912 км, смт Солотвино, кордон з Румунією		*	*	158.67	162.09	160.67	153.67	174.00	170.00	165.42	167.75	164.30
смт Солотвино, держкордон Україна-Румунія		146.43	164.00	216.00	204.00	186.67	152.67	180.82	198.08	178.33	170.67	157.15
м. Тячів, держкордон Україна-Румунія		213.42	247.92	301.18	244.42	198.75	158.67	186.50	203.08	181.88	182.08	177.23

* - дані відсутні

Таблиця 5. Вмістмарганцю, мг/дм³ [5]

Створ	Рік	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
с. Ділове, держкордон Україна-Румунія		0.100	0.039	0.033	0.017	0.015	0.012	0.016	0.014	0.018	0.018	0.018
939 км, с. Ділове, нижче впадіння р. Вішеу		*	*	0.096	0.093	0.053	0.059	0.069	0.082	0.077	*	*
с. Луг, нижче впадіння р. Вішеу		0.173	0.101	0.062	0.022	0.016	0.022	0.017	0.017	0.026	0.019	0.020
927 км, смт Великий Бичків, автоматична гідромет. станція		0.078	0.056	0.085	0.076	0.053	0.072	0.055	0.081	0.081	0.096	0.110
912 км, смт Солотвино, кордон з Румунією		*	*	0.097	0.076	0.046	0.052	0.054	0.076	0.072	0.090	0.126
смт Солотвино, держкордон Україна-Румунія		0.121	0.092	0.096	0.024	0.019	0.016	0.023	0.021	0.018	0.023	0.018
м. Тячів, держкордон Україна-Румунія		0.121	0.091	0.044	0.027	0.018	0.016	0.023	0.023	0.021	0.026	0.024

* - дані відсутні

Таблиця 6. Вмістзаліза, мг/дм³ [5]

Рік	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Створ											
с. Ділове, держкордон Україна-Румунія	0.25	0.25	0.19	0.25	0.36	0.15	0.11	0.15	0.18	0.14	0.15
939 км, с. Ділове, нижче впадіння р.Вішеу	*	*	0.30	0.64	0.28	0.30	0.20	0.27	0.22	*	*
с. Луг, нижче впадіння р.Вішеу	0.56	0.46	0.27	0.24	0.52	0.19	0.15	0.17	0.21	0.16	0.17
927 км, смт Великий Бичків, автоматична гідромет. станція	0.42	0.34	0.33	0.64	0.43	0.30	0.18	0.29	0.25	0.18	0.28
912 км, смт Солотвино, кордон з Румунією	*	*	0.54	0.47	0.39	0.28	0.24	0.33	0.25	0.20	0.29
смт Солотвино, держкордон Україна-Румунія	0.58	0.45	0.25	0.21	0.44	0.21	0.17	0.21	0.20	0.19	0.21
м. Тячів, держкордон Україна-Румунія	0.39	0.39	0.25	0.23	0.36	0.20	0.18	0.23	0.21	0.17	0.20

*- дані відсутні

Таблиця 7. Вмістсвинцю, мг/дм³ [5]

Рік	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Створ											
с. Ділове, держкордон Україна-Румунія	*	0.005	0.0024	0.005	0.005	0.005	0.0021	0.0024	0.002	0.0039	0.002
939 км, с. Ділове, нижче впадіння р. Вішеу	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
с. Луг, нижче впадіння р.Вішеу	*	0.005	0.0028	0.0051	0.0051	0.005	0.0021	0.002	0.002	0.0033	0.002
927 км, смт Великий Бичків, автоматична гідромет. станція	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
912 км, смт Солотвино, кордон з Румунією	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
смт Солотвино, держкордон Україна-Румунія	*	0.0041	0.0033	0.005	0.005	0.005	0.002	0.002	0.002	0.0039	0.002
м. Тячів, держкордон Україна-Румунія	*	0.0042	0.0029	0.0056	0.005	0.005	0.0021	0.0024	0.0023	0.0044	0.002

*- дані відсутні

Таблиця 8. Вмістміді, мг/дм³ [5]

Рік	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Створ											
с. Ділове, держкордон Україна-Румунія	0.0016	0.0042	0.0057	0.0059	0.0105	0.0068	0.0022	0.0026	0.0018	0.0024	0.0010
939 км, с. Ділове, нижче впадіння р. Вішеу	*	*	0.0052	0.0042	0.0033	0.0043	0.0049	0.0047	0.0050	*	*
с. Луг, нижче впадіння р. Вішеу	0.0025	0.0050	0.0053	0.0100	0.0092	0.0062	0.0034	0.0025	0.0023	0.0025	0.0017
927 км, смт Великий Бичків, автоматична гідромет. станція	*	*	0.0059	0.0072	0.0038	0.0044	0.0046	0.0047	0.0049	0.0050	0.0050
912 км, смт Солотвино, кордон з Румунією	*	*	0.0052	0.0057	0.0037	0.0047	0.0047	0.0049	0.0050	0.0047	0.0050
смт Солотвино, держкордон Україна-Румунія	0.0011	0.0050	0.0050	0.0073	0.0103	0.0054	0.0040	0.0029	0.0024	0.0020	0.0017
м. Тячів, держкордон Україна-Румунія	0.0013	0.0050	0.0041	0.0113	0.0087	0.0052	0.0045	0.0034	0.0029	0.0022	0.0023

*- дані відсутні

Таблиця 9. Вмістцинку, мг/дм³ [5]

Рік	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Створ											
с. Ділове, держкордон Україна-Румунія	0.0236	0.0062	0.0218	0.0105	0.0162	0.0266	0.0158	0.0124	0.0134	0.0099	0.0110
939 км, с. Ділове, нижче впадіння р. Вішеу	*	*	*	0.0173	0.0216	0.0094	0.0111	0.0083	0.0099	*	*
с. Луг, нижче впадіння р. Вішеу	0.060	0.015	0.030	0.016	0.018	0.018	0.017	0.015	0.015	0.013	0.011
927 км, смт Великий Бичків, автоматична гідромет. станція	*	*	*	0.0213	0.0185	0.0103	0.0113	0.0076	0.0079	0.0067	0.0082
912 км, смт Солотвино, кордон з Румунією	*	*	*	0.0075	0.0233	0.0113	0.0123	0.0073	0.0087	0.0068	0.0079
смт Солотвино, держкордон Україна-Румунія	0.0170	0.0097	0.0264	0.0197	0.0143	0.0278	0.0254	0.0164	0.0145	0.0116	0.0123
м. Тячів, держкордон Україна-Румунія	0.055	0.010	0.024	0.017	0.014	0.019	0.023	0.019	0.021	0.017	0.018

*- дані відсутні

Залізо і марганець у природних водах містяться у формах, що залежать від кислотно-лужної рівноваги та окисно-відновного потенціалу. Екологічним оптимумом для заліза є $0,3 \text{ мг/дм}^3$, а для марганцю – $0,1 \text{ мг/дм}^3$ [5].

Згідно даних таблиць 5 та 6 можна зробити наступні висновки: максимальні показники спостерігаються в межах створів: 939 км, с. Ділове, нижче впадіння р. Вішеу; с. Луг, нижче впадіння р. Вішеу; 927 км, смт Великий Бичків, автоматична гідрометеорологічна станція; 912 км, смт Солотвино, кордон з Румунією, що можна пояснити господарською діяльністю, промисловими стоками, впливом ВЖКП у Кобилецькій Полянці, а також надходженням разом з водами румунської річки Вішеу; відносно зменшення вмісту заліза та марганцю у поверхневих водах річки Тиса можна пояснити збільшенням об'єму стоку вниз за течією за рахунок приток; за вмістом марганцю та заліза загального поверхневі води р. Тиса відносяться до III-го класу якості згідно класифікації МКЗРД.

Свинець потрапляє у річкові води внаслідок спалювання вугілля, із стічними водами металургійної, хімічної промисловості, що практично виключає зі списку забруднювачів підприємства на території України (фактично за їх відсутності). Як бачимо вміст свинцю у водах річки Тиса відповідає III-му класу якості, за умови перевищення ГДК вдвічі (ГДК для свинцю $0,002 \text{ мг/дм}^3$) (табл. 7). Для виявлення джерела забруднення вод доцільно продовжити моніторинг з акцентом на румунську притоку Вішеу.

Основним джерелом надходження міді у природні води можуть бути стічні води підприємств хімічної промисловості, шахтні води, альдегідні реагенти, що використовуються для знищення водоростей. Мідь може з'являтися в результаті корозії мідних трубопроводів й інших споруд системи водопостачання. ГДК міді у воді водойм санітарно-побутового водокористування становить $0,1 \text{ мг/дм}^3$ (лімітуюча ознака шкідливості – загальносанітарна), у воді рибогосподарських водойм - $0,001 \text{ мг/дм}^3$ [5]. Як бачимо, в табл. 8 кількість міді у водах Тиси значно перевищує нормоване значення.

Цинк потрапляє в річки із стоками підприємств з виробництва пергаментного паперу, мінеральних фарб, штучного волокна. В межах досліджуваної ділянки річки Тиса відчувається вплив (фактичний або залишковий). Проте потрібно продовжити гідрохімічні дослідження, щоб виявити причини досягнення III-го класу якості вод після впадіння річки Вішеу та в межах м. Тячів (табл. 9).

Нафтопродукти у водах питного та рибогосподарського призначення не допустимі навіть у найменших концентраціях, оскільки їх біохімічний розклад відбувається дуже повільно, впливаючи на іхтіофауну, кормові ресурси, мікро- і макрофлору, зоопланктон та зообентос. Згідно даних, наведених у табл. 10, в межах досліджуваної ділянки нафтопродукти виявлені, але їх кількість є незначною.

Висновки. Підсумовуючи вищенаведене, можна стверджувати про коливання показників гідрохімічного стану поверхневих вод річки Тиси на ділянці українсько-румунського кордону, що зумовлено низкою антропогенних факторів, серед яких є і промислові та господарсько-побутові стічні води. Сільськогосподарське освоєння заплавлених територій також впливає на якісний стан вод через змив агрохімічних засобів з орних земель. За окремими показниками можна зауважити чітку динаміку погіршення стану вод вниз за течією: БСК₅, марганцю, заліза загального та цинку. Це доводить важливість відновлення та збереження якості вод Тиси, формування нових програм міжнародної співпраці в галузі регулювання екологічного стану басейну верхньої Тиси. Особливу увагу слід приділити притокам Шопурка та Вішеу, в басейнах яких є промислові підприємства, що створюють екологічний тиск на р. Тиса.

Таблиця 10. Вміст нафтопродуктів, мг/дм³ [5]

Рік Створ	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
с. Ділове, держкордон Україна- Румунія	*	0.03	0.03	0.005	0.005	0.0056	0.0073	0.0093	0.01	*	*
939 км, с. Ділове, нижче впадіння р. Вішеу	*	*	*	0.025	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*	*
с. Луг, нижче впадіння р. Вішеу	*	0.03	0.03	0.005	0.005	0.0064	0.0081	0.0104	0.01	*	*
927 км, смт. Великий Бичків, автоматич- на гідро- метстанція	*	*	*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
912 км, смт. Солотвино, кордон з Румунією	*	*	*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
смт Солотвино, держкордон Україна- Румунія	*	0.03	0.03	0.005	0.005	0.0102	0.0113	0.0147	0.012	*	*
м. Тячів, держкордон Україна- Румунія	*	0.03	0.03	0.005	0.005	0.0102	0.0131	0.0186	0.02	*	*

*-дані відсутні.

Список літератури

1. Гамор Ф.Д. Екологічна ситуація у басейні Верхньої Тиси на ділянці українсько-румунського кордону та шляхи її стабілізації / Ф.Д. Гамор, Я.О. Довганич, В.Ф. Покиньчереда - Ужгород, 2010. – 72 с. 2. Горєв Л. М. Гідрохімія України / Л.М. Горєв, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський - К.: Вища школа, 1995. - 307 с. 3. Левчак О.Ю. Гідроекологічна характеристика Верхньої Тиси (в межах Закарпатської області) / О.Ю. Левчак, В.В. Лета, Е.І. Осійський – Ужгород, 2013. / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dspace.uzhnu.edu.ua/jsrui/bitstream/lib/885/1/> 4. Аналіз стану басейну Тиси / За ред. О.Є. Ярошевича. – К.: Технодрук, 2008. – 82 с. 5. Геоінформаційна система моніторингу довкілля в Закарпатській області / [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://ecozakarpat.gov.ua/?page_id=1696. 6. Екологічний стан водотоків басейну Верхньої Тиси (українсько-румунська ділянка) / За ред. С.О. Афанасьєва. – Ужгород: ІВА, 2010. – 36 с. 7. Єдина міжвідомча інструкція з організації та здійснення державного моніторингу вод / [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.uazakon.com/documents/date_8r/pg_izgvxm/index.htm. 8. Національний план управління басейном р. Тиса. 2012. / [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://buvrtysa.gov.ua/download/National %20plan%203.0.pdf](http://buvrtysa.gov.ua/download/National%20plan%203.0.pdf). 9. Програма транскордонного національного моніторингу / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://carpaty.net/?p=14383&lang=uk> 10. Українсько-румунське співробітництво на

Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolojiia. – 2017. – Т.1(44)

прикордонних водах / За ред. В.П. Чіпака. - Ужгород, 2010. – 42 с. **11. Хільчевський В.К** Комплексна оцінка якості води р. Чорна Тиса / В.К. Хільчевський, В.В. Лета // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2016. - Т. 3 (42). – С. 50-56. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2016_3_7.

**Гідрохімічний стан річки Тиса на ділянці українсько-румунського кордону
Лета В.В.**

Опрацьовано дані багаторічних спостережень Басейнового управління водних ресурсів річки Тиса, Департаменту екології та природних ресурсів Закарпатської ОДА на ділянці українсько-румунського кордону. Проаналізовано якість поверхневих вод у річці Тиса за фізико-хімічними показниками, що відображають загальну мінералізацію вод, забруднення органічними речовинами та важкими металами. Розглянуто результати міжнародної співпраці в галузі водокористування на транскордонній ділянці річки Тиса. Обґрунтовано важливість продовження моніторингу якісного стану вод річки Тиса.

Ключові слова: гідрохімічний стан, річка, показник, забруднення.

**Гидрохимическое состояние реки Тиса на участке украинско-румынской границы
Лета В.В.**

Обработаны данные многолетних наблюдений Бассейнового управления водных ресурсов реки Тиса, Департамента экологии и природных ресурсов Закарпатской ОГА на участке украинско-румынской границы. Проанализировано качество поверхностных вод в реке Тиса по физико-химическим показателям, отражающие общую минерализацию вод, загрязнение органическими веществами и тяжелыми металлами. Рассмотрены результаты международного сотрудничества в области водопользования на трансграничном участке реки Тиса. Обоснованно важность продолжения мониторинга качественного состояния вод реки Тиса.

Ключевые слова: гидрохимическое состояние, река, показатель, загрязнения.

**Hydrochemical state of the river Tisa on the part of the Ukrainian-Romanian border
Leta V.**

Here we observe the description of the study relevance of surface waters of the upper reaches of the river Tisa in Transcarpathian region, which is largely caused by environmental status of the selected research area, as one of the cleanest within the region. The article gives the characteristic of ecological condition of waters of the transboundary section of the river Tisa through the assessment of hydrochemical indicators. The data of the long-term observations of the Basin management of water resources of the river Tisa, Department of ecology and natural resources of the Transcarpathian regional administration on the part of the Ukrainian-Romanian border is processed. The methods of assessment of hydrochemical water quality based on the typology of the Water Framework Directive is examined. The previous studies of the Tisa river basin by various scholars in the field of hydroecology, hydrochemistry and water management, including the International Commission for the Protection of the Danube River is presented here. To characterize the hydrochemical conditions of surface waters in the selected area of the river the data is sampled from seven river sites, which demonstrate the basic physico-chemical indicators. The surface water quality in the Tisa river is analyzed according to the hydrochemical indicators of general mineralization of water pollution by organic substances and heavy metals. For the period of 2006-2016 annual average values of physico-chemical water quality parameters are presented and each is described separately, taking into account the sources of the substances and elements from natural or anthropogenic environment. The dynamics of indicators of the quality status of waters and deterioration in downstream are revealed. The point sources of pollution by organic substances and heavy metals are pointed out and also the influence of industrial, municipal and agricultural drains on the state of surface waters of the Tisa river at the Ukrainian-Romanian border are revealed. The importance of continued monitoring of the quality status of the river Tisa waters in particular the cross-border area with regard to the analytical data is justified. It is recommended to focus on the impact of the Ukrainian tributaries Shopurka and Romanian tributaries Useu.

Keywords: hydrochemical state, the river, the pollution, an index.

Надійшла до редколегії 08.02.2017

Осипов В.В., Осадчая Н.Н.

Украинский гидрометеорологический институт, г.Киев

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ SWAT ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОКА НИТРАТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕК ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ УКРАИНЫ

Ключевые слова: азот, эвтрофикация, SWAT, азотные удобрения

Вступление. Азот жизненно необходим для всех живых организмов и принадлежит к группе четырех важнейших элементов (С, О, Н, N), составляющих химическую основу их тканей. Высокая степень биопотребления и скорость метаболизма азота, обусловленной его способностью принимать 7 валентных состояний, привели к тому, что практически во всех ландшафтах мира он находится в дефиците.

Природный биогеохимический цикл азота связан с его фиксацией из атмосферы, дальнейшей нитрификацией, участием в образовании биокостных тел, а также последующим возвратом в атмосферу путем денитрификации.

Деятельность человека существенно нарушила баланс между основными составляющими азотного цикла. Сжигание ископаемого топлива привело к поступлению в атмосферу большой массы окислов азота и подкислению атмосферных осадков. Но значительно большее влияние оказывает производство и применение удобрений в процессе культурного земледелия.

Как известно, недостаток азота в почве лимитирует ее продуктивность. При использовании умеренных доз азотных удобрений доля грунтового азота достигает 70-80% от общей величины его выноса с урожаем сельскохозяйственных культур [2]. Таким образом, потенциальная и эффективная плодородность почв преимущественно определяется содержанием и общими запасами азота в их профиле.

Рост народонаселения диктует усиление воспроизводства продуктов питания, в связи с чем увеличивается необходимость интенсификации сельского хозяйства за счет применения удобрений. По данным FAO [18] использование удобрений в мире неуклонно возрастает. Если в 1984 г. общее применение азотсодержащих удобрений составляло 10,3 млн.т, то в 2002 г. оно увеличилось до 85,3 млн. т, а в 2014 г. достигло 113,3 млн.т. Из приведенных данных следует, что за 30 лет применение удобрений возросло в 11 раз.

Система применения азотных удобрений, дозы, сроки и способы внесения существенно отличаются в зависимости от природно-климатических условий, генетических особенностей почв. Однако, во всех природных зонах Украины и на всех типах почв их эффективность в получении прироста урожайности превышает соответствующую роль фосфорных и калийных удобрений [6].

Несмотря на бытующее мнение о недостаточном применении удобрений в Украине в связи с их дороговизной, статистика FAO [18] говорит о сравнимом уровне использовании с ведущими европейскими странами Францией и Германией. Так, в 2014 г. в Украине было внесено 1,54 млн. т азотных удобрений, что в пересчете на общую площадь страны составило 2,55 т/км². Во Франции и Германии было применено соответственно 1,74 т/км² и 3,91 т/км². Наибольшее использование азотных удобрений в мире отмечено в Бельгии - 37,8 т/км² и Нидерландах - 41,7 т/км².

Эффективность азотных удобрений является залогом достижения высоких и стабильных урожаев. Однако, при нарушении регламентных мероприятий применения удобрений наблюдаются потери азота за пределы почвенного профиля, что приводит не только к снижению эффективности их использования, но и возникновение экологических рисков. Поступление соединений азота в водные экосистемы нарушает баланс развития водных организмов в сторону их избыточной продуктивности, что известно под термином эвтрофикация [16]. Процесс эвтрофикации поверхностных вод в настоящее время приобрел глобальный характер. Доминирующим фактором не достижения «хорошего» экологического статуса вод в различных речных бассейнах мира является избыточное содержание биогенных элементов – соединений азота и фосфора. [22].

Согласно результатам государственного мониторинга, в Украине также отмечается тотальное загрязнение поверхностных вод соединениями азота и фосфора. В связи с этим возникла необходимость разработки и имплементации методов контроля и предотвращения дальнейшей эвтрофикации водных объектов. Последние два десятилетия для этих целей все чаще используется компьютерное моделирование, благодаря возможности охвата большого количества данных и территории, экономии людских и финансовых ресурсов [24].

Для моделирования биогенного загрязнения вод первое место в мире по частоте использования прочно удерживает модель SWAT. Она стала своего рода стандартом для исследования смыва загрязняющих веществ, поступающих в воду от таких диффузных источников, как сельскохозяйственные угодья [25]. В сравнении с другими моделям, SWAT является наиболее оптимальной для использования в Украине [7].

Целью данной работы является количественная оценка основных источников поступления нитратов в речное русло, а также разработка рекомендаций по их уменьшению с использованием физико-математической модели SWAT.

Материалы и методы. Объект исследования и входные данные. Работы по моделированию выполнены для небольшого водосбора р. Головесни площадью 30,4 км². Почвы исследуемого бассейна представлены темно-серыми оподзоленными разностями (54,2%), серыми лесными (40,2%) и черноземами оподзоленными (5,6%).

В сельскохозяйственном использовании находится около 48% территории, остальная часть занята лесами (38%) и лугами (14%). Среди возделываемых культур отмечены озимая пшеница (занимает 50% обрабатываемых земель), ячмень, овес, кукуруза, картофель.

Точность любой модели, прежде всего, зависит от качества входных данных. SWAT требует наличие следующих параметров: рельеф земной поверхности, типы почв, характер землепользования, метеорологические и климатические данные.

Для работы использована цифровая карта с разрешением 90м [21]. Карта землепользования получена путем оцифровки космического снимка Google Maps, цифровая карта типов почв взята из публичной кадастровой карты Украины [9].

Метеорологические и климатические параметры (осадки, температура воздуха, влажность, скорость ветра, солнечная радиация) получены из материалов наблюдений Придеснянской водно-балансовой станции, на территории которой расположен водосбор р. Головесни.

Гидрологические ряды представлены ежедневными данными за период 1956–2012 гг., тогда как сведения о химическом составе воды весьма ограничены, в связи с редким пробоотбором, изменяющимся от 4 до 14 раз в год.

Выбор периода моделирования и нормы удобрений был обусловлен следующими факторами. Максимальное применение удобрений в Украине наблюдалось до распада Советского Союза. Согласно данным [3] использование азота в период 1986-1990гг в Украине составляло в среднем 91кгN/га посевных площадей. Начиная с 1991 года, объемы применения органических и минеральных удобрений резко сократились. В то же время статистическая информация по Черниговской области за 2004-2006гг свидетельствует о применении в отдельных районах азотных удобрений в дозах до 200 кгN/га [10]. Почвы севера Черниговской области низкопродуктивные и имеют показатель обеспеченности гумусом 2%, что ниже по сравнению со средним показателем по Украине (3.5%) [4]. Для обеспечения устойчивого земледелия в исследуемом регионе требуется дополнительное внесение удобрений.

Исходя из вышеприведенных соображений для моделирования был выбран период 1985–1986 гг. с максимальной интенсивностью ведения сельского хозяйства. Применение удобрений рассчитывалось исходя из дозы 200 кгN/га.

Модель SWAT. SWAT представляет собой распределенную физико-математическую модель с отдельными полуэмпирическими элементами. Она была разработана для прогноза влияния сельскохозяйственного производства на формирование водного стока, эрозионные процессы и вынос химических веществ на комплексных водосборах с разнообразными почвами и характером землепользования. У пользователя есть возможность указывать различные параметры сельскохозяйственных практик, включая время посева-сбора урожая, вспашки, применение полива, внесение удобрений [14].

Элементами моделирования гидрологических процессов, сельскохозяйственных практик, роста растений в SWAT являются элементарные операционные гидрологические единицы (HRUs – hydrologic response units), соответствующие территориям с уникальной комбинацией типа почвы и природопользования. Объем водного и твердого стока, перенос биогенных веществ, поступающих с каждой гидрологической единицы, прокладываются по маршруту речной сети к замыкающему створу.

Ранее модель SWAT была нами откалибрована за период 1985–1986гг. и валидирована за период 1987–1988гг. по ежедневным данным речного стока, а также по данным выноса соединений минерального азота (12–16 значений в год) [8].

Азотный цикл. SWAT рассматривает две минеральные формы азота (NH_4^+ и NO_3^-) и три органические (рис. 1). «Свежий» органический азот ассоциируется с растительными остатками и микробной биомассой, оставшийся органический азот разделяется между фракциями активного и пассивного гумуса.

Органический азот. На начальном этапе модель рассчитывает количество органического азота, предполагая, что соотношение C:N для гумусовых веществ равно 14:1. Далее азот гумусового горизонта разделяется между активной и пассивной формами. Доля активной формы устанавливается как 0,02. Процесс перехода азота между фракциями активного и пассивного гумуса является обратимым.

В результате гниения растительные остатки переходят во фракцию активного гумуса, распадаясь на более простые органические компоненты, либо в результате микробной минерализации трансформируются в доступный для растений неорганический азот. С последним процессом конкурирует обратный процесс – иммобилизация, превращение почвенного азота в недоступный для растений органический азот. В SWAT эти два процесса объединены в один суммарный алгоритм, адаптированный из минерализационной модели PAPRAN [20].

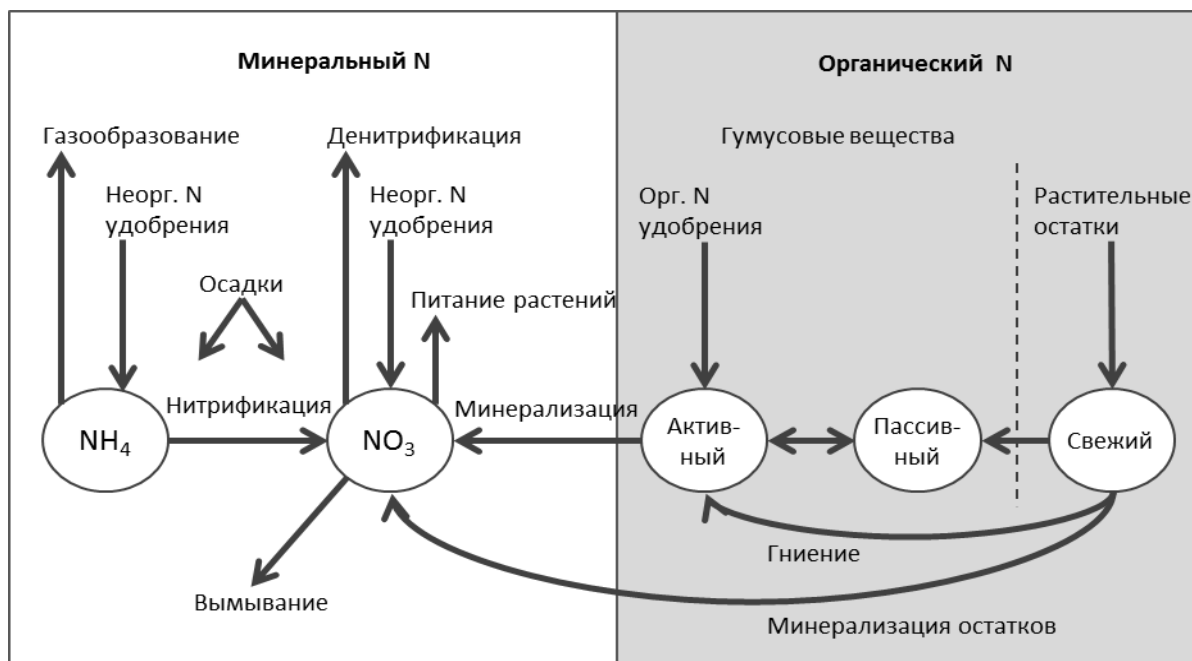


Рис. 1. Азотный цикл в SWAT [15]

Минерализация активного гумуса зависит от влажности и температуры почвы, и протекает при температуре выше 0. Что касается минерализации и гниения растительных остатков, то также учитываются отношения C:N и C:P.

Минеральный азот. Нитраты в почвенном слое расходуются на денитрификацию, питание растений или вымываются в нижележащие водоносные горизонты и водоёмы.

Денитрификация – это бактериальное превращение нитратов в газы N_2 или N_2O в анаэробных условиях. Зависит от содержания воды и температуры почвы, присутствия источника углерода и количества нитратов. В целом, денитрификация наблюдается, когда насыщенность почвы влагой больше 60%. С возрастанием содержания воды в почве, развиваются анаэробные условия ввиду того, что диффузия кислорода в воде в 10000 раз медленнее, чем в воздухе. Учитывая, что скорость диффузии кислорода уменьшается с повышением температуры, температура также влияет на денитрификацию.

Потребление азота растениями характеризуется содержанием азота в растительной биомассе, которое зависит от стадии роста растения при оптимальных условиях. Как правило, в реальных условиях рост растений отстает от оптимального в результате дефицита влаги, азота, фосфора, неблагоприятных температурных колебаний. В SWAT разработаны алгоритмы для учета подобных воздействий.

Большинство почвенных минералов при нормальном pH заряжены негативно и отталкивают анионы от своей поверхности. Этот процесс имеет прямое влияние на транспорт анионов в почве, т.к. эффективно исключает анионы из самого медленного участка движения воды, участка, примыкающего к поверхности заряженных почвенных частиц [19]. В результате, суммарный путь аниона в почве короче, чем, суммарный путь водного потока в почве [23]. Данное обстоятельство учитывается в SWAT при моделировании движения нитратных анионов вместе с поверхностным, латеральным стоками, а также их перколяции и движении в верхнем водоносном горизонте. Для учета потерь нитратов из-за биологических и химических процессов, происходящих в подземных водах, в SWAT

устанавливается период полураспада, который учитывает суммарный эффект всех реакций.

Азот аммонийных удобрений быстро вступает в обменные реакции почвенного поглотительного комплекса, а потом в процессе метаболизма бактерий-нитрификаторов переводится в нитратную форму или в результате химических реакций переходит в аммиак. Как показали исследования [20], миграционная подвижность ионов минеральных удобрений составляет такую последовательность: нитраты > фосфаты > аммоний > калий. Поэтому аммонийная форма практически не вымывается в водоемы и в данной работе алгоритмы нитрификации и газообразования аммония SWAT подробно не рассмотрены.

Обсуждение результатов. На рис. 2 показаны количественные результаты расчета отдельных составляющих азотного цикла для бассейна р. Головесни.

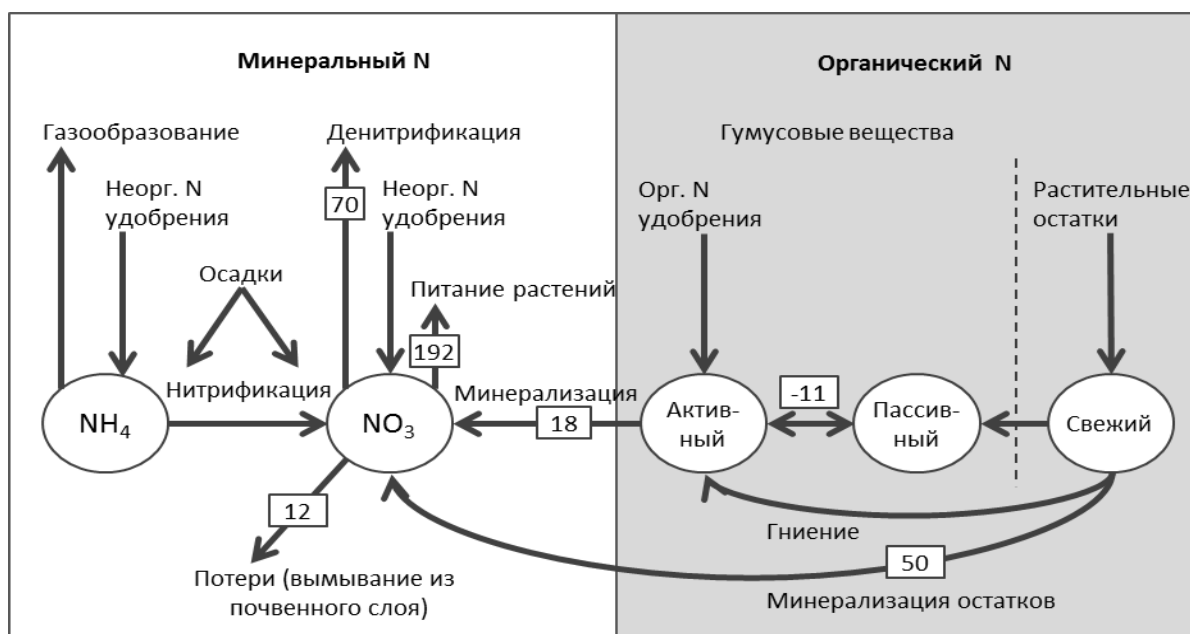


Рис. 2. Баланс азотного цикла в пределах бассейна р. Головесня, 1985 г. (в прямоугольниках значения потоков азота в кгN/га пахотных земель)

Как видно из рис. 2, наибольшей составляющей расходной части баланса азота в нитратной форме является потребление на питание растений в процессе их вегетации. По сравнению с этим фактором утилизация нитратных ионов за счет процесса денитрификации в 2.7 раза меньше, что в абсолютных цифрах составляет 70 кгN/га пахотных земель. Согласно экспериментальным наблюдениям количество газообразных потерь азота за счет денитрификации колеблется в широких пределах от <1 до 208кгN/га в год, порой достигая 75% от дозы внесенного азота удобрений [1]. Этот процесс несет негативный экономический эффект, но не связан с экологическим воздействием. Вымыванием нитратных соединений с водным стоком имеет наименьшую долю в расходной части баланса – 4,4%, что равно 12 кгN/га. Однако именно этот азот играет важную роль в процессе эвтрофирования поверхностных вод. В рассматриваемой нами р. Головесне среднемесячные концентрации нитратов варьировались в широком диапазоне, с максимальным значением 1,29 мг/дм³ (0,27 мгN/дм³), наблюдавшимся в июне месяце (рис. 3). Согласно принятым в Украине стандартам вода достигает евтрофного состояния при превышении содержания нитратных ионов уровня 0,50 мгN/дм³ [5]. Для сброса сточных вод лимитирующей является концентрация 10

мгN/дм³. В зарубежной литературе приводятся сведения, что вода достигает эвтрофного состояния при концентрации общего азота более 1,5мгN/ дм³ и общего фосфора более 0,07мгP/ дм³ [17].

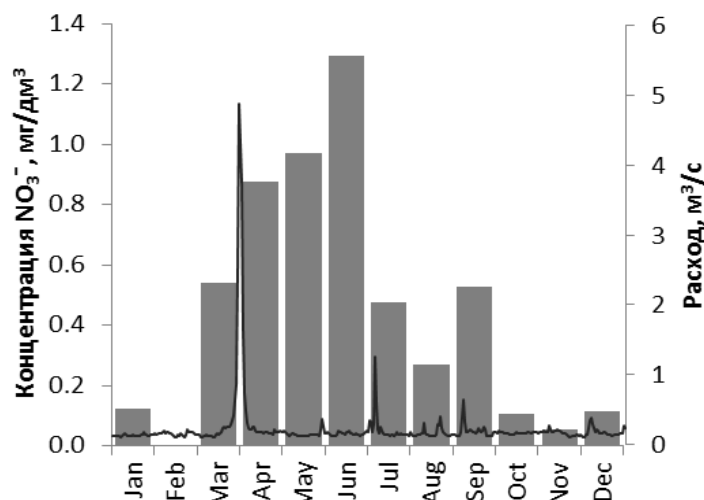


Рис. 3. Расчетная среднемесячная концентрация нитратных ионов в воде и гидрограф стока р. Головесни в 1985 г.

В годовом разрезе возрастание концентраций в контрольном створе наблюдается в марте месяце за счет выноса нитратных соединений с контактирующего слоя почвы. Далее в мае и июне месяце к природным источникам нитратных соединений добавляется антропогенная составляющая и концентрации нитратных ионов в воде достигают максимальных за год величин. В начале вегетационного периода (конец апреля) поля обрабатываются азотными удобрениями, часть из которых вымывается атмосферными осадками. Сентябрьское повышение содержания нитратных ионов в воде связано с их вымыванием от минерализации пожнивных остатков.

Важнейшим приемом управления выноса азотных удобрений с водным стоком является расчет оптимальной дозы, времени, метода внесения удобрений.

Исследование зависимости урожайности озимой пшеницы и выноса нитратов от количества применяемых удобрений показало следующее (рис. 4). Урожайность не связана прямолинейно с увеличением дозы удобрений. Интенсивность прироста урожая с возрастанием дозы удобрений снижается (кривая В), тогда как доля непроизводительных потерь, отражающаяся выносом удобрений с водным стоком, возрастает (кривая А). Без применения удобрений урожайность составила бы 0,82 т/га. При внесении удобрений в дозе 100кг/га урожайность возрастает до 6,75 т/га. Соответственно, прирост урожая составляет 5,93 т/га. При последующем увеличении дозы удобрений до 200 кг/га урожайность достигнет 8,66 т/га, а ее прирост будет равным 7,84 т/га. Таким образом, при увеличении дозы удобрений в 2 раза, урожайность увеличивается только в ~1,3 раза. Без применения удобрений вынос азота с водным стоком составляет 0,176 кгN-NO₃⁻/га. В случае применения удобрений из расчета 100 кгN-NO₃⁻/га вынос азота возрастет на 19%. В то же время, при увеличении дозы удобрений до 200 кгN-NO₃⁻/га вынос со стоком увеличится на 73%. Из приведенного примера видно, что при уменьшении дозы удобрений с 200 до 100 кгN-NO₃⁻/га удастся существенно понизить вынос нитратов без существенной потери урожайности. Данная практика может быть целесообразна в зонах уязвимых к нитратному загрязнению.

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

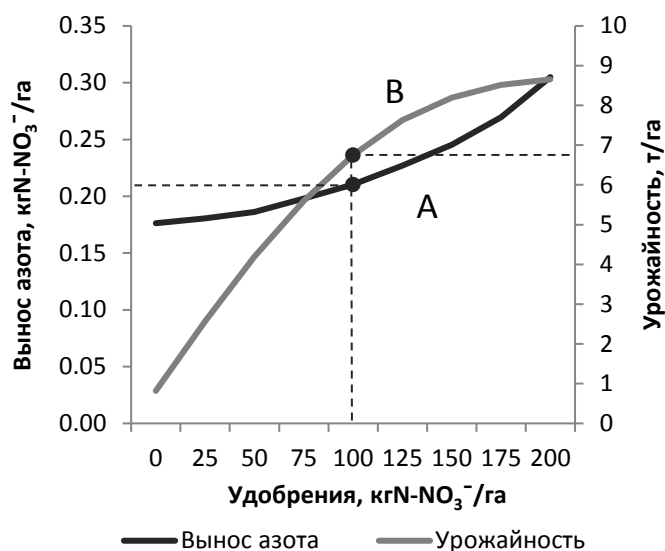


Рис. 4. Зависимость (А) выноса N-NO₃⁻ с водным стоком и (В) прироста урожая озимой пшеницы от количества применяемых удобрений по результатам моделирования SWAT

Существенного уменьшения выноса нитратов можно достичь с помощью практики дробного внесения удобрений в течение первого месяца роста культуры. Результаты моделирования SWAT показали, что разбиение дозы удобрений 100 кгN-NO₃⁻/га на 2 равные части уменьшает вынос нитратов в период роста культуры (апрель – август) на 33% (рис. 5, В), на 3 части - на 52% (рис. 5, С), на 4 – на 66% (рис. 5, D). Если растянуть период внесения удобрений больше, чем на месяц, то наблюдается незначительное падение урожайности (рис. 5, F).

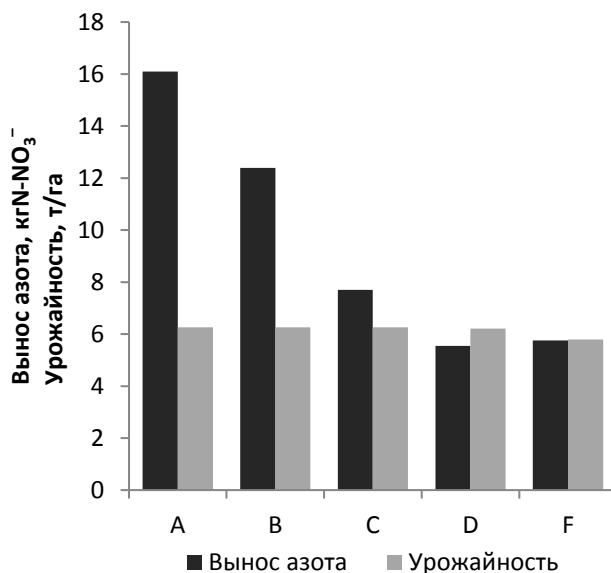


Рис. 5. Расчетное изменение выноса нитратов и урожайности от дробности внесения удобрений (общая доза 100 кгN-NO₃⁻/га): (А)- однократное, (В)- 2-хкратное, (С)- 3-хкратное, (D) -4-хкратное, (F) - 4-хкратное в течение 40 дней

Исследования дробного внесения азота, проведенные в Украине ранее, были сконцентрированы только на вопросе экономического эффекта (кг урожая/кгN удобрений). Указанная практика вполне может быть рекомендована для исследуемого нами водосбора с целью контроля эвтрофикации поверхностных вод.

Как показано в [6, с.86–87], весомый позитивный эффект от такой практики внесения удобрений наблюдается на почвах с низким запасом минерального азота, а также в зонах с большим количеством осадков, например, западная Лесостепь.

Важным рычагом влияния на непродуктивный вынос нитратных соединений может быть выбор культивируемой культуры. Наиболее положительный эффект наблюдается при посеве озимых культур, которые потребляют значительно большее количество азота на единицу товарной продукции по сравнению с другими культурами. Например, для озимой пшеницы потребность в азоте составляет 28,1 кг/т, тогда как на технические культуры 20 кг/т, овощи – 4,2 кг/т [12] (рис. 6).

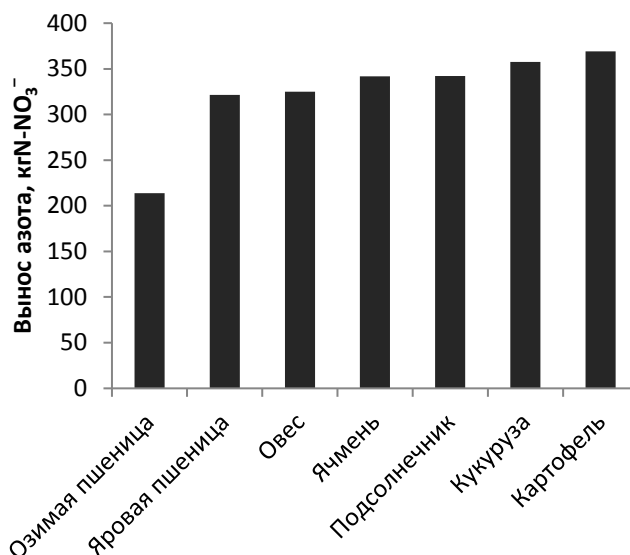


Рис. 6. Зависимость выноса нитратов от посевной культуры, смоделированная в SWAT

В среднем, потребление азота с/х культурами укладывается в ряд: озимая пшеница > яровые зерновые колосковые, картофель > кукуруза, подсолнечник. [6, с. 105].

Выводы. Проведено моделирование формирования стока нитратных соединений азота на малом речном водосборе р. Головесня с использованием физико-математической модели SWAT.

Установлено, что основным антропогенным фактором поступления нитратных соединений в русловую сеть рек является внесение удобрений под сельскохозяйственные культуры. В результате моделирования за расчетный 1985г доля стока за счет применения азотных удобрений составила 42% (12,9кг/км²). Для сравнения, ранее в работе В.К. Хильчевского [11, с. 111] для р. Головесни в результате расчетов на основе экспериментальных данных за период 1986-1990гг доля стока за счет применения азотных удобрений составила 47%.

Наиболее критическими являются первые месяцы после внесения удобрений (апрель-июнь) из-за высокой мобильности NO₃⁻, которая объясняется высокой растворимостью и отрицательным зарядом, обуславливающим отталкивание от отрицательно заряженных частиц грунта. Расчетная средняя концентрация NO₃⁻ за период апрель-июнь (1,06мг/дм³) в 2,4раза выше среднегодовой (0,44мг/дм³).

С помощью SWAT построена зависимость выноса нитратных соединений и урожайности озимой пшеницы от дозы внесенных удобрений (от 0 до 200 кгN-NO₃⁻/га). Показано, что с возрастанием применяемой дозы удобрений прирост урожайности снижается, а доля вымываемых удобрений, напротив, увеличивается.

Существенный эффект снижения потерь нитратных соединений на вымывание оказывает дробное внесение удобрений в течение месяца после посева, при разделении 100 кгN-NO₃⁻/га удобрений на 4 части вынос нитратов сокращается на 66% по сравнению с однократным внесом.

Озимые культуры за счет большей потребности в соединениях азота на формирование товарной продукции уменьшают вынос нитратов больше других культур приблизительно на 30%.

Список литературы

1. Башкин В.Н. Агрогеохимия азота / В.Н. Башкин – Пушино: Изд. АН СССР. – 1987. – 270с.
2. Гамзиков Г.П. Баланс и превращение азота удобрений. / Г.П. Гамзиков, Г.И. Кострик, В.Н. Емельянова – Новосибирск: Наука, 1985. – 160с.
3. Заришняк А.С. Баланс гумусу і поживних речовин у ґрунтах України / А.С. Заришняк, С.А. Балюк, М.В. Лісовий, А.В. Комариста // Вісник аграрної науки. – 2012. – №1. – С. 28-32.
4. Медведєв В.В. Атлас карт властивостей ґрунтів України (електронна версія) / В. В. Медведєв, Т. М. Лактіонова, І. В. Гайворонський – Харків – 2006.
5. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / під ред. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіук О.П [та інші]. – Київ, 1998. – 28с.
6. Носко Б.С. Азотний режим ґрунтів і його трансформація в агроєкосистемах. / Б.С. Носко – Харків: Міськдрук, 2013. – 130с.
7. Осипов В.В. Выбор имитационной компьютерной модели для анализа выноса соединений азота и фосфора и её апробация на малом речном водосборе / В.В. Осипов, Н.Н. Осадчая // Наук. Пр. УкрНДГМІ. – 2016. – Вип. 268. – с. 66-72.
8. Осипов В.В. Применение модели SWAT для моделирования выноса биогенных элементов с аграрных водосборов / В.В. Осипов, Н.Н. Осадчая // Наук. Пр. УкрГМІ. – 2017. – Вип. 270. – с. 60-67.
9. Публічна кадастрова карта / Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. – 2016. – Режим доступа: <http://map.land.gov.ua/kadastrova-karta>.
10. Статистичний бюлетень: Внесення мінеральних та органічних добрив під врожай сільськогосподарських культур у 1999-2010рр. / Головне управління статистики у Чернігівській області. – 2016.
11. Хільчевський В.К. Роль агрохімічних засобів у формуванні якості вод басейну Дніпра / В.К. Хільчевський – Київ: Київський університет. 1996. – 222 с.
12. Хрисанов Н.И. Управление эвтрофированием водоемов / Н.И. Хрисанов, Г.К. Осипов – СПб: Гидрометеиздат, 1993. – 279 с.
13. Шохова Т.А. Изучение процессов миграции питательных элементов / Т.А. Шохова, А.Р. Газиева // Агрохимический вестник. – 2009. – №3. – С. 10-12.
14. Arnold J.G. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development / J.G. Arnold, R. Srinivasan, R.S. Muttiah, J.R. Williams // J. Am. Water Resour. Assoc. – 1998. – № 34 (1). – С. 73–89.
15. Arnold J.G. Soil and Water Assessment Tool Input/output file documentation (version 2009). / J.G. Arnold, J.R. Kiniry, R. Srinivasan, J.R. Williams, E.B. Haney, S.L. Neitsch // Texas Water Resources Institute, Texas A&M University System, College Station, Texas, USA. – 2011.
16. Dodds W. Eutrophication and trophic state in rivers and streams / W. Dodds // Limnol Oceanogr. – 2006. – № 51. – С. 671–680.
17. Dodds W.K. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus / W.K. Dodds, J.R. Jones, E.B. Welch // Water Research. – 1998. – № 32. – С. 1455–1462.
18. FAO Statistical Yearbook: Europe and Central Asia food and agriculture / Food and Agricultural Organization for the United Nation. – Режим доступа: <http://www.fao.org/3/a-i3621e.pdf>.
19. Jury W.A. Soil physics, 5th edition / W.A. Jury, W.R. Gardner, W.H. Gardner. – 1991. – John Wiley and Sons Inc. – New York, N. Y.
20. Seligman N.G. PAPRAN: A simulation model of annual pasture production limited by rainfall and nitrogen / N.G. Seligman, van Keulen // In M.J. Frissel and J.A. van Veed. (eds) Simulation of nitrogen behavior of soil-plant systems. – Proc. Workshop, Wageningen. – 1980. – P. 192-221.
21. SRTM Digital Elevation Database / The CGIAR Consortium for Spatial Information. – 2013. - Режим доступа: <http://srtm.csi.cgiar.org>.
22. The European environment — state and outlook 2015: synthesis report / European Environment Agency. – Copenhagen, Denmark. – 2015. – Режим доступа: <http://www.eea.europa.eu/soer>.
23. Thomas G.W. The relation between soil characteristics, water movement and nitrate concentration of ground water / G.W. Thomas, M. McMahon – Univ. of Kentucky Water Resources Institute Research Report No. 52. – 1972. – Lexington, KY.
24. Total Maximum Daily Loads Model

Evaluation and Research Needs / United States Environmental Protection Agency – 2005. – 600/R-05/149. **25.** Wellen C. Evaluation of the current state of distributed watershed nutrient water quality modeling / C. Wellen, A.-R. Kamran-Disfani, G.B. Arhonditsis // Environ. Sci. Technol. – 2015. – № 49. – С. 3278–3290.

Применение модели SWAT для моделирования стока нитратных соединений рек лесостепной зоны Украины

Осипов В.В., Осадчая Н.Н.

Применение азотных удобрений является важнейшей составляющей получения урожая. Однако их непроизводственные потери приводят к загрязнению водных объектов и вызывают их эвтрофикацию.

С использованием физико-математической модели SWAT (Soil and Water Assessment Tool) выполнено моделирование выноса нитратных соединений с водным стоком. Калибровка и валидация модели SWAT была выполнена на малом речном водосборе р. Головесня (30.4 км²), 48% территории которого занимают пахотные земли.

По результатам моделирования установлено, что основной причиной поступления азота в русловую сеть является применение минеральных азотных удобрений.

Исследовано влияние различных сельскохозяйственных практик на снижение непроизводственных потерь удобрений и их выноса в гидрографическую сеть.

Ключевые слова: азот, эвтрофикация, SWAT, азотные удобрения.

Застосування моделі SWAT для моделювання стоку нітратних сполук річок лісостепової зони України

Осипов В.В., Осадча Н.Н.

Застосування азотних добрив є найважливішою складовою отримання врожаю. Однак їх невикористані втрати призводять до забруднення водних об'єктів і викликають їх евтрофікацію.

З використанням фізико-математичної моделі SWAT (Soil and Water Assessment Tool) виконано моделювання виносу нітратних сполук з водним стоком. Калібрування та валідація моделі SWAT була виконана на малому річковому водозборі р. Головесня (30.4 км²), 48% території якої займають орні землі.

За результатами моделювання встановлено, що основною причиною надходження азоту в руслову мережу є застосування мінеральних азотних добрив.

Досліджено вплив різних сільськогосподарських практик на зниження невикористаних втрат добрив і їх виносу в гідрографічну мережу.

Ключевые слова: азот, евтрофікація, SWAT, азотні добрива

SWAT Model Application for Simulating Nitrate Emission for the Rivers of the Forest-steppe Zone of Ukraine

Osypov V.V., Osadcha N.N.

The application of nitrogen fertilizer is an essential component of producing crops. However, their non-production losses lead to pollution of water bodies and cause its eutrophication. The objectives of this work were to assess the main sources of nitrate emission and develop recommendations for its reduction by using process-based model SWAT.

The calibration and validation of SWAT model were applied in a small Holovesnya River Catchment (area 30.4 km²; about 48% of catchment area is cultivated) located on the territory of the Desna water-balance station. The U-notch water level recorder is installed at catchment outlet. Observations of precipitation, air temperature, humidity, wind speed and solar radiation were collected in the catchment. The digital SRTM maps with resolution 90 m are used for the work. The land use was digitized from the Google Map satellite image. Map of soil types was taken from the public cadastral map of Ukraine.

The modeling has shown that nitrate compounds are washed off during the first months after the fertilizer application because of their high solubility. A more detailed analysis has shown that increase of the amount of fertilizer results in the reduction of its efficiency. The rate of a crop yield gain reduces but the proportion of the washed off fertilizers increases. Divided application of fertilizer has a positive effect during the month after planting. Winter crops reduce nitrate loads into the streams more effectively than other crops because of longer period of the growth.

These practices could be recommended in order to control the eutrophication of surface waters.

Key words: nitrogen, eutrophication, SWAT, nitrogen fertilizers

Надійшла до редколегії 10.02.2017

УДК 551.582.2

Затула В.І.¹, Затула Н.І.²

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка

² Національний авіаційний університет, м. Київ

ВИЯВЛЕННЯ ПРИХОВАНИХ ПЕРІОДИЧНОСТЕЙ СЕЗОННИХ КОЛИВАНЬ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВЕЛИЧИН НА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

***Ключові слова:** середні місячні значення; сезонні коливання метеорологічної величини; амплітуда і фаза періодичних коливань; кліматологічний стандартний період; Житомирське Полісся.*

Вступ. Рідко яке кліматологічне дослідження обходить увагою зміну метеорологічної величини протягом року. Відомості про такі зміни необхідні для повнішого врахування кліматичних умов в різні сезони року і є важливою складовою кліматичної характеристики будь-якого регіону.

Постановка і актуальність проблеми. Сезонні коливання метеорологічних величин є звичним **предметом вивчення** в метеорології і кліматології, та незважаючи на це, традиційні підходи до вирішення цього питання не завжди задовольняють потреби практики. Тому в пошуках найбільш точних та інформативних показників таких коливань дослідники вдаються до застосування спеціальних методів досліджень і методу гармонічного аналізу зокрема [4, 9, 11].

Кількісні характеристики сезонного ходу температури повітря в Україні наведено у монографії [5], швидкості вітру, хмарності, дефіциту насичення, концентрацій забруднювальних речовин – в роботах [1, 2, 7, 10]. Порівняльну характеристику сезонних коливань різних метеорологічних величин для обмеженої кількості метеорологічних станцій України представлено в [3]. Тоді в річному ході цих величин було виявлено значні відмінності, зумовлені неоднорідністю будови підстильної поверхні в різних регіонах України. Водночас, не виясненим залишилося питання, наскільки схожим є метеорологічний режим цих величин на просторово обмеженій території, що характеризується більшою однорідністю природних умов і кліматоутворювальних процесів.

У даній статті розглядається кліматичний режим Житомирського Полісся, поверхня якого представлена хвилястою рівниною із загальним похилом території у північно-східному напрямку. Це найбільш висока у гіпсометричному відношенні (180-200 м) та найменш заболочена (2,9 %) й залісна область Поліського краю Східно-Європейської фізико-географічної країни. Розораність території змінюється від 15-30 % на півночі і заході до 50 % на сході і в центральній частині природної області [8]. Завдяки компактності території та схожості будови підстильної поверхні, радіаційні і циркуляційні умови формування клімату у межах цієї таксономічної одиниці вирізняються значною однорідністю.

Основною метою даної роботи є встановлення закономірностей річного ходу окремих метеорологічних величин на території Житомирського Полісся засобами гармонічного аналізу.

Матеріали і методи дослідження. Інформаційну базу дослідження становлять відомості Кліматичного кадастру України [6] про середні місячні

значення (кліматичні норми) семи метеорологічних величин на метеорологічних станціях Житомирського Полісся за кліматологічний стандартний період 1961-1990 рр. В основу дослідження покладено дані спостережень п'яти діючих метеорологічних станцій, достатньо рівномірно розподілених по території розглядуваного регіону. Основні результати отримано в результаті застосування методу гармонічного аналізу до середніх місячних значень таких метеорологічних величин: температури і окремих характеристик вологості повітря, кількості атмосферних опадів, атмосферного тиску, швидкості вітру. Дані матеріали опрацьовувалися з допомогою пакету програм "Microsoft Excel".

Основні результати дослідження.

Приховані періодичності сезонних коливань середніх місячних значень вищезгаданих величин виявлялися та оцінювалися за допомогою гармонічного аналізу, який виходить з того, що будь-яке значення розглядуваної величини можна представити у вигляді середнього арифметичного та скінченної суми гармонік [4]:

$$x_t = \bar{x} + \sum_{i=1}^{n/2} \left[A_i \sin\left(\frac{2\pi}{T} it\right) + B_i \cos\left(\frac{2\pi}{T} it\right) \right], \quad (1)$$

де x_t – середнє багаторічне значення величини за t -й місяць ($t = 1, 2, \dots, 12$); \bar{x} – середнє річне значення метеорологічної величини; $T = 12$ міс. – повний період річного коливання величини; i – порядковий номер гармоніки; $n = 12$ – довжина вихідного ряду.

Невідомі значення коефіцієнтів Фур'є A_i і B_i , які входять в (1), визначаються за формулами:

$$A_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n \left[x_t \sin\left(\frac{2\pi}{T} it\right) \right], \quad (2)$$

$$B_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n \left[x_t \cos\left(\frac{2\pi}{T} it\right) \right]. \quad (3)$$

Для останньої ($i = n/2$) гармоніки $A_i = 0$, а B_i додатково ділиться на два.

На підставі обчислених коефіцієнтів Фур'є визначається амплітуда гармонік:

$$C_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}, \quad (4)$$

де C_i – амплітуда i -тої гармоніки.

Періодичні коливання метеорологічної величини, зумовлені окремою гармонікою, часто подаються у вигляді

$$C_i \cos\left[\frac{2\pi}{T}(t - t_i)\right], \quad (5)$$

де

$$t_i = \frac{T}{2\pi i} \arctg(A_i/B_i) - \quad (6)$$

фаза, тобто час настання максимуму i -тої гармоніки (міс.).

В теорії гармонічного аналізу показано, що дисперсія за рахунок одиної гармоніки становить $C_i^2/2$, за винятком останньої, для якої вона удвічі більша. Отже, вклад окремої гармоніки в сумарну дисперсію метеорологічної величини визначається за формулою

$$f_i = \frac{C_i^2}{2\sigma^2} \cdot 100, \quad (7)$$

де f_i – вклад i -тої гармоніки в сумарну дисперсію розглядуваної величини (%); σ^2 – загальна дисперсія ряду. Для останньої гармоніки оцінка f_i подвоюється.

Показник f_i доцільно використовувати при зіставленні прихованих періодичностей різних метеорологічних величин (табл. 1).

Таблиця 1. Середні оцінки вкладу окремих гармонік в сумарну дисперсію річного ходу деяких метеорологічних величин на метеорологічних станціях Житомирського Полісся

Метеорологічна величина	Гармоніка					
	1-а	2-а	3-я	4-а	5-а	6-а
Температура повітря	99,20	0,59	0,15	0,04	0,01	0,01
Кількість опадів	67,40	25,98	4,40	0,71	1,33	0,18
Дефіцит насичення	96,69	1,65	1,24	0,38	0,05	0,00
Відносна вологість повітря	92,82	2,66	3,69	0,78	0,04	0,01
Парціальний тиск водяної пари	98,30	1,59	0,05	0,04	0,01	0,01
Атмосферний тиск на рівні станції	61,48	13,60	15,95	0,82	6,77	1,37
Швидкість вітру	91,63	3,05	2,73	0,38	1,51	0,70
В середньому	86,79	7,02	4,03	0,45	1,39	0,33

З табл. 1 видно, що провідну роль в сезонних коливаннях розглядуваних величин відіграють основні гармоніки ($f_1 > 50\%$). Особливо великим є їхній вклад в коливання температури повітря (99,2 %), парціального тиску водяної пари (98,3 %) і дефіциту насичення (96,7 %). Сумарний вклад старших гармонік на усіх метеорологічних станціях Житомирського Полісся не перевищує 1 % для температури повітря і становить тільки 2-3 % для парціального тиску водяної пари та 3-4 % для дефіциту насичення. Тож ними цілком можна нехтувати.

Дуже високим є вклад річної гармоніки і в сезонні коливання відносної вологості повітря (91-94 %) та швидкості вітру (87-96 %). У поодиноких випадках на тлі річної гармоніки в сезонних коливаннях відповідних величин (відносної вологості повітря в Олевську та швидкості вітру в Олевську і Новограді-Волинському) проглядаються слабкі піврічні коливання ($f_2 \approx 5\%$).

Таким чином, у 23 випадках із 33 річна гармоніка визначає понад 90 % сумарної дисперсії перерахованих вище величин.

Як відомо, річний хід деяких метеорологічних величин характеризується двома максимумами і двома мінімумами значень. Такому ходу відповідає добре виражена піврічна гармоніка. Піврічна гармоніка особливо добре виявляється в сезонних коливаннях атмосферного тиску (13,6 %) та кількості атмосферних опадів (26,0 %). При цьому показник f_2 характеризується великою просторовою мінливістю для атмосферних опадів (від 16,8 % у Житомирі до 32,8 % в Олевську) та винятково рівним розподілом (13-14 %) для атмосферного тиску. Імовірно, що настільки значні відмінності в розподілі цього показника зумовлені дією чинників різного масштабу.

Ще більші збурення в річному ході атмосферного тиску (16,0 %) спричиняє третя гармоніка (з періодом 4 міс.), причому серед трьох станцій Житомирського Полісся вони найбільші для Коростеня (18,6 %) і найменші – для Овруча (13,9 %). Загалом, показник f_3 перевищує умовний п'ятивідсотковий поріг ще у випадку кількості опадів (тільки дві станції: Овруч і Коростень).

Зазвичай невеликою є інтенсивність гармонік ще старших порядків. Виняток становить тільки п'ята гармоніка (з періодом 2,4 міс.) коливань атмосферного тиску на рівні моря (показник f_5 для цієї величини змінюється від 6,4 % до 7,5 %).

Аналіз табл. 1 підтверджує висновок про те, що зі збільшенням порядку гармоніки зумовлена нею дисперсія зменшується [3]. Суттєвий вклад (5 % і більше) у сумарну дисперсію річного ходу метеорологічної величини одразу декількох гармонік старшого порядку можливий тільки при значному послабленні ролі першої гармоніки.

Табл. 2 ілюструє ті самі закономірності, але уже в розрізі окремих метеорологічних станцій за сукупністю шести метеорологічних величин (за винятком атмосферного тиску на рівні станції, про який на частині станцій відомості відсутні).

Таблиця 2. Середні оцінки вкладу окремих гармонік в сумарну дисперсію річного ходу сукупності метеорологічних величин на метеорологічних станціях Житомирського Полісся

Метеорологічна станція	Гармоніка					
	1-а	2-а	3-я	4-а	5-а	6-а
Овруч	87,30	6,59	3,83	0,36	1,45	0,47
Олевськ	88,85	7,84	1,97	0,53	0,69	0,12
Коростень	87,17	6,19	4,74	0,37	1,34	0,19
Новоград-Волинський	89,64	7,33	1,63	0,54	0,61	0,26
Житомир	88,91	5,42	3,94	0,36	1,11	0,26
В середньому	88,37	6,67	3,22	0,43	1,04	0,26

Як видно з табл. 2, розподіл величин f_i на окремих метеостанціях Житомирського Полісся схожий.

Оскільки перша гармоніка на всіх станціях визначає понад 60 % сумарної дисперсії кожної із величин, то максимум і мінімум ходу метеорологічної величини протягом року можна встановити за значенням фази першої гармоніки. У цьому сенсі показовими є графіки річного ходу парціального тиску (рис. 1) і відносної вологості повітря (рис. 2).

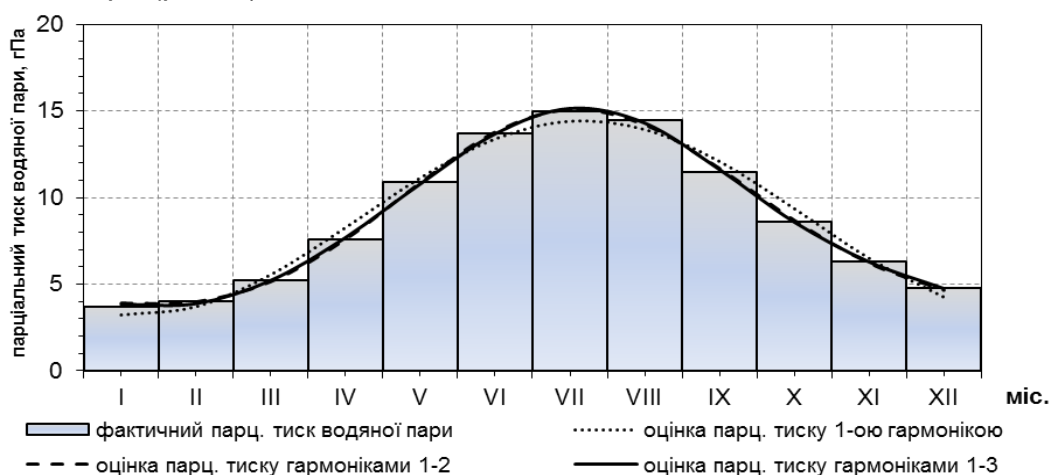


Рис. 1. Річний хід парціального тиску водяної пари в Житомирі

Так, в Житомирі максимальне значення парціального тиску водяної пари спостерігається у другій половині липня ($t_1 = 7,19$ міс.), а максимальне значення відносної вологості повітря – в середині грудня ($t_1 = 12,02$ міс.). На інших станціях

Житомирського Полісся максимум парціального тиску водяної пари практично збігається у часі з його значенням у Житомирі ($t_1 = 7,18 \div 7,22$ міс.). Розбіжності у часі настання максимуму відносної вологості повітря більші ($t_1 = 11,37 \div 11,85$ міс.).

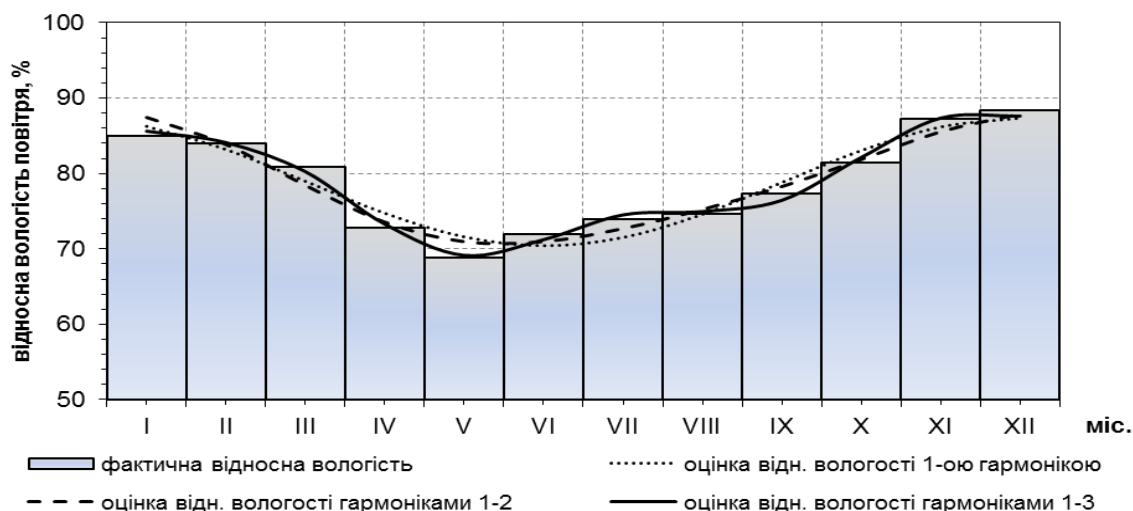


Рис. 2. Річний хід відносної вологості повітря в Житомирі

Окрім фактичного сезонного ходу елементів вологості на відповідних графіках показано і їхні модельні оцінки, отримані з урахуванням першої, перших двох і перших трьох гармонік. Амплітуда першої гармоніки краще інших корелює з амплітудою річного ходу відповідної величини. Урахування старших гармонік підвищує точність модельних оцінок. Для відносної вологості це помітніше, оскільки тільки після врахування третьої гармоніки модель правильно відображає настання мінімуму в середині травня.

В цілому час настання максимуму першої гармоніки для метеорологічних величин, пов'язаних між собою прямими залежностями, збігається, а для величин, які пов'язані оберненими зв'язками, відрізняється на півроку. Так, практично синхронно змінюються температура повітря ($t_1 = 7,03$ міс.) і пов'язані з нею парціальний тиск водяної пари (7,20 міс.), дефіцит насичення (6,59 міс.) і кількість атмосферних опадів (7,00 міс.). Сама температура з незначним запізненням слідує за сезонними змінами сонячної радіації (геоцентричного схилення Сонця) як визначального фактору формування клімату.

Майже у протифазі змінюються температура повітря (7,03 міс.) і атмосферний тиск (11,68 міс.), температура (7,03 міс.) і відносна вологість повітря (11,76 міс.), атмосферний тиск (11,68 міс.) і кількість атмосферних опадів (7,00 міс.). Утім, хід атмосферного тиску і швидкості вітру ($t_1 = 11,68$ і 1,09 міс. відповідно) не виявляє очікуваної залежності. Неузгодженість коливань цих величин можна пояснити особливостями сезонної перебудови баричного поля в усьому Атлантико-Європейському секторі Північної півкулі.

Висновки. Таким чином, на основі даних кліматичних довідників можна оцінити ступінь схожості або відмінності сезонних коливань різних метеорологічних величин на певній території у всій глибині їхнього взаємозв'язку. Апарат гармонічного аналізу забезпечує математично точне зіставлення кількісних оцінок прихованих періодичностей річного ходу метеорологічних величин. Актуальним напрямком розвитку дослідження є оцінка сезонних коливань клімату в сучасний період.

Список літератури

1. *Затула В.І.* Деякі особливості просторово-часового розподілу середньої швидкості вітру на території України / Затула В.І., Горбач Т.М. // Фізична географія та геоморфологія. – 2012. – Вип. 1 (65). – С. 149-156.
2. *Затула В.І.* Застосування методів кореляційного і гармонічного аналізу для виявлення часової структури місячних рядів хмарності / Затула В.І., Затула Н.І. / Чотирнадцята міжнародна наукова конференція імені академіка М. Кравчука, 19-21 квітня, 2012 р., Київ: Матеріали конф. Т. 3. Теорія ймовірностей та математична статистика. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – С. 55-56.
3. *Затула В.І.* Гармонічний аналіз сезонних коливань деяких метеорологічних величин на території України / Затула В.І., Затула Н.І. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2014. – Т. 2 (33). – С. 98-103.
4. *Исаев А.А.* Статистика в метеорологии и климатологии. – М.: Изд-во МГУ. – 1988. – 248 с.
5. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
6. Кліматичний кадастр України (електрон. версія) / Держ. гідрометеоролог. служба; УкрНДГМІ; ЦГО. – К. – 2006.
7. *Куликов В.В.* Использование статистических методов при моделировании динамики загрязнения атмосферы / Куликов В.В., Затула В.І. // Сб. трудов Междунар. конф. по интервальным и стохастическим методам в науке и технике (Интервал – 92). Москва, 22–26 сентября 1992 г. – М., 1992. – Ч. I. – С. 84-86.
8. *Маринич О.М.* Фізична географія України / Маринич О.М., Шищенко П.Г. – К.: Т-во «Знання», КОО, 2003. – 479 с.
9. *Пановский Г.А.* Статистические методы в метеорологии / Пановский Г.А., Брайер Г.В. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1967. – 242 с.
10. *Сидоренко А.В.* Особливості просторово-часової структури полів дефіциту насичення та їх зв'язок з Північноатлантичним коливанням в умовах сучасного клімату України / Сидоренко А.В., Затула В.І. // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2011. – Вип. 260. – С. 95-109.
11. *Хргиан А.Х.* Очерки развития метеорологии. Т. I. / Хргиан А.Х. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1959. – 428 с.

Виявлення прихованих періодичностей сезонних коливань метеорологічних величин на території Житомирського Полісся

Затула В.І., Затула Н.І.

Розглянуто результати застосування гармонічного аналізу для виявлення прихованих періодичностей сезонних коливань температури і вологості повітря, кількості атмосферних опадів, атмосферного тиску, швидкості вітру на метеорологічних станціях Житомирського Полісся.

Ключові слова: середні місячні значення; сезонні коливання метеорологічної величини; амплітуда і фаза періодичних коливань; кліматологічний стандартний період; Житомирське Полісся.

Выявление скрытых периодичностей сезонных колебаний метеорологических величин на территории Житомирского Полесья

Затула В.І., Затула Н.І.

Рассмотрены результаты применения гармонического анализа для выявления скрытых периодичностей сезонных колебаний температуры и влажности воздуха, количества атмосферных осадков, атмосферного давления, скорости ветра на метеорологических станциях Житомирского Полесья.

Ключевые слова: средние месячные значения; сезонные колебания метеорологической величины; амплитуда и фаза периодических колебаний; климатологический стандартный период; Житомирское Полесье.

Identifying of the hidden periodicities of seasonal oscillations of meteorological values on the territory of Zhytomyr Polissya

Zatula V.I., Zatula N.I.

The results of applying of the harmonic analysis for identifying of the hidden periodicities of seasonal oscillations of some meteorological values are considered on weather stations of Zhytomyr Polissya, which is characterized by flat topography and significant uniformity atmospheric processes. The mean monthly values are considered in the work, such as air temperature, amount of precipitation, water vapour partial pressure, saturation deficit, relative humidity, barometric pressure at the station level and wind speed.

It is shown that the leading role in the seasonal fluctuations of all components of climate plays the first harmonic with a period of oscillation of 12 months. The annual harmonic of the seasonal fluctuations of air temperature and all humidity characteristics and wind speed is mostly significant. The contribution of

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

the annual harmonic in the seasonal fluctuations of these values at individual stations usually exceeds 90 %.

Noticeable semi-annual harmonics are detected in the seasonal variation of atmospheric pressure (13.6 %) and amount of precipitation (26.0 %). In a spatial sense, their contribution is very varied for precipitation (from 16.8% in Zhytomyr to 32.8 % in Olevsk) and remained almost unchanged (13-14 %) for atmospheric pressure. Perhaps, this is due to the influence of factors of different scales.

The third harmonic (with a period of 4 months) causes significant perturbation only in the annual variations of atmospheric pressure (16.0 %).

Usually the intensity of the higher orders harmonics is small. The exception is only the fifth harmonic (with a period of 2.4 months) of fluctuations of atmospheric pressure at sea level (the contribution of this harmonic is greater than 6 % at all weather stations).

Also the synchronicity of the timing of the maxima of the annual harmonic for individual pairs of meteorological values is analyzed.

Keywords: mean monthly values; seasonal oscillations of meteorological value; amplitude and phase of periodic oscillations; climatological standard period; Zhytomyr Polissya.

Надійшла до редколегії 28.12.2016

УДК 551.582.2

Ошурок Д.О.

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

КЛІМАТОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ОБМЕЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

Ключові слова: вітроенергетичний потенціал, швидкість вітру, кліматологічна оцінка, моделювання, вітрова установка

Вступ. Розвиток альтернативної енергетики є однією з найбільш пріоритетних задач, що поставлена світовою спільнотою з метою вирішення в першу чергу екологічних проблем, пов'язаних зі спалюванням викопного палива. Одним з найбільш потужних та перспективних альтернативних джерел енергії є вітер, який являє собою направлений рух повітряних мас. У глобальному масштабі вітер виникає через нерівномірне нагрівання земної поверхні, і як наслідок – нерівномірний розподіл атмосферного тиску, та дії сил інерції, спричинених обертанням Землі [2, 23, 31]. За приблизними оцінками, потужність вітрової енергії в масштабах планети оцінюється в 370 ТВт [13]. Це дає підстави стверджувати, що виробництво електроенергії вітровими агрегатами в багато разів може перевищувати кількість енергії, яка на сьогоднішній день споживається у світі [13, 23].

З давніх-давен енергію вітру використовували у господарських цілях (перемелювання зерна, перекачування води тощо). В останні кілька десятиліть активного розвитку набула вітрова енергетика, як окрема галузь сучасної енергетики [2, 7, 20, 23, 28]. Відомо, що характеристики вітру у нижній частині атмосфери визначаються не лише структурою баричного поля атмосфери (основний чинник), але й значною мірою залежать від рельєфу, типу підстильної поверхні (рослинного покриву, забудов, наявності великих водойм тощо) та характеристик граничного шару [17, 22]. З огляду на це, важливим етапом в утилізації теоретично можливого потенціалу вітрової енергії є детальна (з високою роздільною здатністю) оцінка просторово-часового розподілу кліматичних характеристик вітру [20]. Однак проведення такої оцінки потребує вирішення ряду труднощів, пов'язаних з дискретністю емпіричної інформації про вітер та інші важливі характеристики граничного шару атмосфери, які визначаються на

Гідрологія, гідрохімія і гідроekологія. – 2017. – Т.1(44)

метеорологічних станціях, а також зі значними затратами в ресурсах і у часі при обчисленнях.

Метою роботи є аналіз основних методів оцінки вітроенергетичного потенціалу обмежених територій. В роботі розглянуто деякі теоретичні аспекти кліматологічного оцінювання вітрових ресурсів та проаналізовано сучасні підходи для проведення даного роду досліджень.

Виклад основного матеріалу. Кліматична інформація та оцінка впливу підстильної поверхні у вітроенергетиці. Вітер є надзвичайно мінливою величиною, що змінюється в широкому спектрі просторових та часових масштабів, включаючи і мікомасштаби (турбулентні пульсації) [21]. Проте вимірювання швидкості вітру на метеорологічних станціях проводять з деяким інтервалом осереднення залежно від вимірювального пристрою (2 хв за флюгером, 10 хв по анеморумбометру або анемометру) [12, 18]. Крім того, спостереження за вітром на метеостанціях в Україні проводять з інтервалом у 3 години, тобто – 8 разів на добу. Більш затратними, але значно інформативнішими є запуск радіозондів (дані про вертикальний профіль), використання радарів та лідарів, датчиків на метеорологічних баштах. Інколи вимірювання проводять на вершині башти самих вітрових установок, щоправда результати таких вимірів дещо спотворюються внаслідок роботи самої установки (в середньому швидкість вітру за ротором вітроустановки/турбіни зменшується на 20%) [34, 41]. Хоча в цілому такі вимірювання співставні з даними спостережень на метеорологічних баштах [41].

Загалом, першим кроком на шляху визначення оптимальних місць розміщення вітроенергетичних установок (ВЕУ) є кліматологічне оцінювання та районування території за вітроенергетичним потенціалом. Виходячи із конкретних цілей, кліматичну інформацію у вітроенергетиці можна розділити на такі види [8, 12, 17, 18]: 1) кліматичні характеристики, які використовуються при оцінці вітроенергетичного потенціалу – середня багаторічна швидкість вітру (в цілому за рік та по місяцям), добовий хід швидкості вітру в різні сезони, повторюваність швидкості вітру по градаціям в різні сезони та місяці року (імовірнісний/частотний розподіл), вертикальні профілі швидкості вітру, коефіцієнти, що враховують зміну швидкості вітру у просторі під впливом макро- і мезонеоднорідностей підстильної поверхні; 2) інформація для більш точної оцінки ефективності роботи ВЕУ – неперервна тривалість швидкості вітру вище заданого значення, період «енергетичного затишшя» (недостатня для початку роботи установки швидкість); 3) кліматичні характеристики, необхідні для конструювання ВЕУ – розрахункова максимальна швидкість вітру різної повторюваності, дані про пориви вітру, інтегральна повторюваність швидкості вітру вище заданого значення і т. д. Важливою прикладною інформацією у вітроенергетиці є дані про повторюваність швидкостей різних напрямів вітру (кутові градієнти швидкості суттєво впливають на роботу установки в процесі її орієнтації «на вітер») [23] та характеристики ожеледно-паморозевих відкладень [1, 12, 18, 38]. Дотримання екологічних та санітарних норм вимагає врахування інформації щодо відстані до найближчих житлових будинків, шляхів міграції птахів тощо [2]. З метою оптимізації затрат, виробництво електроенергії зазвичай здійснюється групою вітроустановок, об'єднаних у ВЕС (вітроелектричні станції), тому важливим є розрахунок оптимального розміщення окремих агрегатів всередині ВЕС [17, 34].

Існує два способи для проведення розрахунку імовірнісного/частотного розподілу швидкості вітру. Перший спосіб дає найбільш точні результати, так як спирається на використання фактичних даних. Його суть полягає у визначенні частки швидкостей вітру, які потрапили у заданий інтервал. Дана процедура проводиться для усього діапазону можливих значень [2]. Очевидно, достовірність

оцінки залежить від тривалості періоду, що охоплюють дані спостережень. Через відсутність необхідного масиву даних часто користуються другим способом, що базується на апроксимації фактичного розподілу аналітичними/теоретичними формулами. Дослідження показали, що в умовах рівнинної місцевості використання двопараметричного розподілу Вейбула дає найбільш точні результати в діапазоні швидкостей 4-20 м/с. Диференціальна функція розподілу Вейбула має вигляд [2, 6, 18, 27, 38, 39]:

$$f(V) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right], \quad (1)$$

де V – модуль швидкості вітру, c і k – параметри розподілу. Параметри c і k характеризують масштаб зміни функції розподілу по осі швидкостей та форму кривої розподілу відповідно. Детальні роз'яснення щодо розрахунку цих параметрів представлено в [12, 18]. Порівняльний аналіз результатів апроксимації розподілом Вейбула та емпіричного розподілу швидкостей вітру виконано в [27].

Для проведення оцінок вітроенергетичного потенціалу на висотах дуже важливими є дані про вертикальний профіль атмосфери, адже колесо вітрової установки розміщують на деякій висоті над землею поверхнею. Оскільки дана інформація доступна лише в окремих точках вимірювання, вертикальний профіль вітру часто апроксимують (екстраполюють) використовуючи степеневу (2) та логарифмічну (3) формули [2, 4, 7, 14, 23, 27, 29, 35]:

$$V = V_1 \cdot \left(\frac{h}{h_1}\right)^m, \quad (2)$$

$$V = V_1 \cdot \frac{\lg\left(\frac{h}{h_0}\right)}{\lg\left(\frac{h_1}{h_0}\right)}, \quad (3)$$

де V_1 – швидкість вітру, виміряна поблизу земної поверхні на висоті h_1 , V – швидкість, яку потрібно знайти на висоті h , h_0 – висота, на якій швидкість вітру дорівнює нулю (залежить від шорсткості підстильної поверхні), m – безрозмірний параметр.

У більшості досліджень показник m в степеневій формулі приймається рівним 0,143 (1/7) або 0,2 залежно від типу підстильної поверхні (для морських акваторій чи відкритих місць та для ділянок суші з елементами захищеності відповідно) [27, 29, 35]. Останні дослідження показали залежність цього показника як від сезону року так і від величини середньої швидкості вітру. Середньорічні значення m змінюються від 0,42 за середньої швидкості $\bar{V} = 1,5$ м/с до 0,12 при $\bar{V} > 28$ м/с [2, 18]. В [27] представлено емпіричну формулу з розрахунку цього параметру, а в [29] метод розрахунку m , де зазначено що такий підхід дає більш об'єктивні оцінки порівняно із використанням сталого $m = 1/7$. У роботах [29, 40] відмічається, що параметр m залежить не лише від особливостей орографії та підстильної поверхні, але й від стану стратифікації граничного шару атмосфери також. В [29] проаналізовано його сезонний та географічний розподіл. Визначено, що великі амплітуди швидкості приземного вітру характерні для умов чітко вираженого добового ходу стратифікації [41]. У європейських країнах та США досить поширеним підходом для екстраполяції швидкості вітру на висоти є використання логарифмічного профілю з урахуванням температурної стратифікації атмосфери, що будується на основі теорії подібності Моніна-Обухова [21, 40, 41].

Оцінки точності різних методів апроксимації
Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

вертикального профілю швидкості вітру, виконані в [41] свідчать про те, що найбільш точною є екстраполяція за логарифмічною формулою, починаючи від рівня поруч із висотою розташування вітроколеса ВЕУ. Очевидно, що проведення такої процедури вимагає наявності даних висотних вимірювань. В той же час використання логарифмічного профілю для екстраполяції з висоти флюгера (10 м) є обґрунтованим лише при нейтральній стратифікації граничного шару атмосфери [4, 21, 29, 41].

Отримання необхідної інформації для проведення розрахунку просторово-часового розподілу характеристик вітру у нижній частині граничного шару атмосфери спирається на результати тривалих у часі (декілька десятків років і більше) стандартних вимірювань на метеорологічних станціях. У разі відсутності цих даних проводять короткотермінові експедиційні вимірювання. Проте результати цих вимірювань не можуть використовуватись для кліматичних оцінок (кліматичними вважаються дані за 30-річний період осереднення), оскільки не враховують міжрічну мінливість [21]. По-друге, дані спостережень про середні швидкості вітру відповідають конкретним рельєфним та ландшафтним умовам в районі метеостанції та на певній визначеній висоті над землею поверхнею (висота флюгера, 10 м). Для різних станцій ці умови можуть значно відрізнятись, тому з метою проведення об'єктивного порівняння прийнято використовувати середні багаторічні швидкості вітру [2]. В [18] відмічається, що для отримання достовірних даних по повторюваності заданих швидкостей вітру потрібно мати ряд спостережень за флюгером або анеморумбометром за період не менше 10 років. Виходячи з цього, у кожному конкретному випадку потрібно робити прив'язку до стаціонарної метеорологічної мережі [9, 20]. Зокрема в [12] приведений метод прив'язки кліматичних характеристик короткого ряду експедиційних вимірювань (не менше 1 року) до характеристик ряду тривалих метеорологічних спостережень. Поблизу земної поверхні величина питомої потужності вітру різко змінюється із висотою, і в типових випадках зростає на 30-60% при переміщенні вимірювального пристрою з 10 до 20 м [7]. Отже не менш важливою при розрахунках процедурою є приведення даних вимірювань до висоти флюгера [19]. Проте основними факторами, які стають на заваді проведення об'єктивного просторово-часового аналізу є недостатня щільність пунктів спостережень за вітром, а також неоднорідність та наявність пропусків у самих даних [29]. В окремих випадках переміщення пункту спостережень може призвести до зміни середньої річної швидкості вітру більш ніж на 1 м/с [40].

Об'єктивна оцінка вітрових ресурсів території вимагає не лише даних спостережень за вітром, але й врахування особливостей топографії місцевості. Недоліком наземних спостережень за вітром є їх суттєва залежність від міри захищеності метеостанції. Дані вимірювань, як правило, відображають вітровий режим лише в районі пункту спостережень, який часто знаходиться під впливом вітрової тіні від оточуючих перешкод (дерева, будівлі тощо) або форм рельєфу [20, 22]. Вертикальний масштаб зони впливу таких перешкод становить приблизно 3-кратну її висоту, а горизонтальний – відстань, що перевищує висоту даного об'єкту в 30-40 разів [17, 39]. Іноді, з метою врахування умов відкритості метеомайданчика на місцевості користуються класифікацією В.Ю. Мілевського, з допомогою якої визначають степінь (коефіцієнт) відкритості метеостанції. В [2, 19] представлений спосіб приведення вимірюної на висоті флюгера швидкості вітру до умов однорідного рельєфу та відкритої місцевості, що базується на використанні цієї класифікації (застосовується переважно для рівнинних територій [12]). Класифікація територій за параметром шорсткості поверхні приведена в [17, 39]. У ній виділено 4

класи топографічних умов, що відповідають певним значенням параметру шорсткості (від 0,0002 м до 0,4 м).

Розрахунок вітроенергетичного потенціалу та особливості утилізації вітрової енергії. Потужність вітрового потоку (вітроенергетичний потенціал), що припадає на одиницю площі його поперечного перерізу рівна [4, 7, 13, 23, 39]:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot V^3, P = Bm/m^2, \quad (4)$$

де V – швидкість вітру ($[V] = m/c$), ρ – густина повітря ($[\rho] = kg/m^3$).

Відповідно до формули (4) вітроенергетичний потенціал пропорційний кубу його швидкості та густині повітря, яка залежить від висоти та температури. У практичних розрахунках найчастіше використовують значення густини рівне $1,225 kg/m^3$, що відповідає умовам стандартної атмосфери на рівні моря (температура повітря дорівнює $15^\circ C$, атмосферний тиск – $1013 gPa$) [1, 7, 35, 38]. Використання змінної величини ρ є доцільним у районах зі значними перепадами висот (тиску) та/або за наявності чітко вираженого річного ходу швидкості вітру з максимумом у холодні місяці [1, 7, 28, 38].

Насправді, вітрова установка перетворює в корисну роботу лише частину енергії. Сучасні вітрогенератори при роботі в найбільш ефективному (розрахунковому) режимі перетворюють в механічну роботу не більше 45-48%, за більш новими даними [38, 41] до 50% кінетичної енергії вітрового потоку через різноманітні втрати, причому коефіцієнт використання енергії вітру не може перевищувати порогове значення, рівне 0,593. Ця частина існуючого в природі енергетичного потенціалу вітру являє собою технічний потенціал. Існує також поняття економічного потенціалу, що є частиною від технічного, і який може бути реалізований з економічно доцільними витратами порівняно з традиційними енергоресурсами [2, 13, 17, 23]. Економічна вигода від використання вітрової енергії проаналізована в [10].

Крім того, швидкість вітру яка може бути утилізована, співпадає з фактичною лише у певному діапазоні значень, що визначається трьома важливими технічними характеристиками вітрової установки [1, 9, 35, 38]. Це мінімальна робоча (*cut-in speed*) V_0 , номінальна (розрахункова, *rated speed*) V_p та максимальна робоча (*cut-out speed*) V_m швидкості вітру. У більшості сучасних вітрових агрегатах мінімальна робоча швидкість становить $3 m/c$, максимальна робоча – $25 m/c$ [29, 35]. Номінальна швидкість залежить від технічної складової установки (здебільшого від її потужності), і складає в середньому $12-16 m/c$ [38]. При малих швидкостях вітру $V < V_0$ вітроустановка простоє, якщо $V_0 < V < V_p$ кількість виробленої енергії зростає пропорційно до фактичної швидкості вітру аж до досягнення номінальної потужності установки при швидкості V_p . Задля запобігання пошкоджень установки, робота двигуна в діапазоні швидкостей $V_p \leq V < V_m$ регулюється таким чином, що лопаті обертаються з однією і тією ж швидкістю. При цьому виробляється однакова кількість енергії, що відповідає номінальній потужності. З тієї ж причини, при перевищенні максимальної робочої швидкості $V > V_m$ робота установки на деякий час припиняється. Інформація про індивідуальні технічні характеристики установки, як і дані про вітровий режим, є необхідною складовою для проведення розрахунку кількості виробленої цією установкою електроенергії за одиницю часу [17, 27, 35].

Враховуючи вище сказане, слід відмітити, що доступна енергія вітру значно менша вітроенергетичного потенціалу за наступних причин [1, 38]: 1) швидкості, рівні або вищі максимальної робочої суттєво підвищують величину середнього вітроенергетичного потенціалу; 2) питома потужність вітру значною мірою втрачається на швидкостях вище номінальної через зменшення ефективності установки у діапазоні $V_p \leq V < V_m$. «Втрати» енергії на швидкостях менше мінімальної робочої є порівняно незначними. Також встановлено, що кількість виробленої електроенергії не є пропорційною до площі яку захоплює колесо вітроустановки, оскільки зі збільшенням довжини лопатей скорочується її коефіцієнт корисної дії [38].

Величина вітроенергетичного потенціалу являє собою деяке стаке значення, що характеризує вітроенергетичні ресурси за великий проміжок часу (кілька десятків років). Порівняно точну оцінку потенційно можливих вітроенергетичних ресурсів можна отримати якщо розглядати кожне виміряне значення швидкості вітру з усього масиву багаторічних даних. Менш наближена, але більш швидка в розрахунках оцінка може бути отримана використовуючи перші три моменти функції розподілу швидкості вітру – математичне очікування (середнє), дисперсію та коефіцієнт асиметрії [1, 18]. Використання лише середнього арифметичного значення є некоректним, адже величина потенційних вітрових енергоресурсів при цьому суттєво занижується [1, 4, 9, 39]. Навіть при використанні середніх добових значень замість строкових, вітроенергетичний потенціал буде в цілому занижений на 20-30% [4].

Загалом, вітрові установки поділяються на три класи залежно від їх функціонального використання [13]: 1) механічні (перетворюють енергію вітру в механічну роботу (найчастіше використовуються для перекачування води в насосних станціях)) – потужністю до 10 кВт; 2) автономні (використовуються в приватних господарствах для обігрівання та/або електрозабезпечення із застосуванням акумуляторів) – малої потужності (до 100 кВт); 3) великогабаритні установки, які працюють на електричну мережу – середньої (100-1000 кВт) та великої (1 МВт і більше) потужності (термін служби таких установок понад 20 років, а вироблена електроенергія є дешевшою, ніж на теплових електростанціях). Найбільш широкого застосування набули автономні вітрові агрегати. З огляду на сучасний рівень розвитку вітроенергетики, дати приблизну оцінку економічній доцільності роботи вітрових установок можна на основі середньої швидкості вітру \bar{V} : швидкості вітру $\bar{V} < 3 \text{ м/с}$ – безперспективні для будь-яких ВЕУ, швидкості $3 \leq \bar{V} < 3,5 \text{ м/с}$ – малоперспективні, $3,5 \leq \bar{V} < 4 \text{ м/с}$ – перспективні для ВЕУ малої потужності, $4 \leq \bar{V} < 5,5 \text{ м/с}$ – перспективні для ВЕУ малої та середньої потужності і $\bar{V} \geq 5,5 \text{ м/с}$ – перспективні для будь-яких ВЕУ [4, 14, 23]. Проте для точнішої оцінки доцільності встановлення тієї чи іншої ВЕУ потрібно мати інформацію про розподіл швидкості вітру та його вертикальний профіль.

Дослідження вітроенергетичних ресурсів в Україні та за кордоном. Енергетичну цінність вітру визначає його швидкість [13, 22, 23]. Найбільш сприятливими для вітроенергетики є території з місцевою циркуляцією (бриз, гірсько-долинні вітри), яка характеризується порівняно стабільним режимом швидкості вітру [12]. Надзвичайно перспективними також є мілководні ділянки морської шельфової зони, які можуть мати у 2,5-3 рази вищий вітроенергетичний потенціал порівняно з відкритими ділянками узбережжя [18].

Виявлено, що значне зростання вітроенергетичного потенціалу відмічається в нижньому 200-метровому шарі атмосфери (*wind energy layer*), отже саме ці висоти є актуальними для використання у вітроенергетиці [41]. Згідно [29, 35, 36, 40]

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

стандартна висота розміщення колеса вітроенергетичної установки (*hub height*) становить 80 м, тому більшість розрахунків енергетичних характеристик вітру проводиться саме для цієї висоти. Майже у всіх кліматичних зонах України вітроенергетичний потенціал зростає на висоті 30 м в 1,5 рази порівняно з 10 м, на висоті 60 м – в 2 рази, на 100 м – в 2,5 рази [13]. Аналіз кількості виробленої за рік електроенергії проведений в [27] підтверджує її стійке зростання із висотою. Швидкість вітру на висотах над різними типами підстильної поверхні також є різною [41], хоча дослідження проведені в [19] вказують на вирівнювання з висотою режиму швидкості вітру (енергетичного потенціалу), тобто їх більш плавний просторовий розподіл.

У багатьох роботах [наприклад 30, 38, 39] проведено оцінювання/ районування територій за потенціалом вітрової енергії, в тому числі й України [3, 4, 5, 8, 9, 11, 21, 22]. Зокрема у [21] кліматологічна оцінка вітроенергетичного потенціалу для Криму проведена на основі розрахунків чисельної (гідродинамічної) регіональної моделі циркуляції атмосфери, а у [3, 15, 16] з цією метою використано мезомасштабну діагностичну негідродинамічну модель. В [5, 8, 9] досліджено також сезонний розподіл вітроенергетичних характеристик по території України.

В країнах заходу доволі поширеною методикою розробки карт просторового розподілу характеристик вітру є використання регіональних кліматичних моделей. У даному випадку вхідною інформацією для моделювання з метою подальших кліматологічних оцінок часто слугує вибірка репрезентативних днів. Найбільш поширеним методом відбору такої вибірки є так званий «виробничий» підхід (*“industry” approach*), відповідно до якого з усього багаторічного (10-30 років) масиву даних (найчастіше глобальний реаналіз) відбирається 1-річна вибірка з рівним представленням усіх календарних днів року [36]. Важливою перевагою такого підходу є суттєве скорочення об'єму розрахунків при подальшому моделюванні з дрібнішим просторовим кроком. Головне припущення – статистичні характеристики відібраної вибірки повинні відображати статистичну поведінку повного ряду. В [36] представлений більш удосконалений метод відбору репрезентативної вибірки, що базується на статистичному аналізі (метод Монте-Карло). Порівняно зі стандартним підходом, нова методика дає точніші результати для територій з відносно однорідним рельєфом та невеликих ділянок в цілому.

Моделювання вітроенергетичних ресурсів в районах зі складним рельєфом та місцевою циркуляцією є доцільним при застосуванні чисельних мезомасштабних гідродинамічних або негідродинамічних моделей [25], в яких вхідною інформацією зазвичай слугують дані реаналізу (ERA-40, ERA-Interim, MERRA і т. д.) [21, 30, 34, 35, 36]. В даному випадку точність моделювання суттєво залежить від деталізації даних про рельєф та тип підстильної поверхні, адже від точності задання цих характеристик зазвичай залежить величина отриманих похибок [41]. Зокрема точність моделювання характеристик швидкості вітру значно залежить від просторового кроку моделі [25]. Раніше проведені дослідження показують, що лише моделі з високою просторовою роздільною здатністю (~ 1,3 км) можуть враховувати основні чинники, що формують добовий хід швидкості вітру на мезомасштабах [41]. Наприклад, результати розрахунків відомої чисельної мезомасштабної моделі WRF (*Weather Research and Forecasting*), виконаних у [25, 38] показують, що просторовий крок моделі 3 км є занадто грубим для об'єктивної оцінки вітроенергетичного потенціалу гірських районів. З метою покращення точності результатів, в [38] використане додаткове метеорологічне забезпечення – мікромасштабна модель WAsP (*Wind Atlas Analysis and Application Program*) [39] з високою просторовою роздільною здатністю (100 м), реалізація якої здійснюється двома кроками: 1) розрахунок загального вітрового режиму для всієї території моделювання шляхом

залучення різних параметризацій в граничному шарі атмосфери та усунення (на основі певних припущень) ефектів локальної/місцевої топографії; 2) модифікація «фонового» вітрового режиму відповідно до специфічних для кожної ділянки місцевості характеристик орографії та підстильної поверхні. У зазначених умовах такого роду мікомасштабні моделі є важливим інструментом для проведення деталізованих оцінок [25]. Іноді, використовують спрощений варіант мезомасштабних моделей, в яких здійснюється динамічна підгонка/адаптація приземного вітру під дрібномасштабні особливості орографії [30]. Такий підхід є виправданим для аналізу в районах, де вітровий режим значною мірою формують місцеві вітри (наприклад бора, яка періодично виникає на прибережних ділянках відокремлених від суші невисокими гірськими хребтами [12]). Результати розрахунків є точнішими (зокрема вдається краще відтворити розподіл сильних вітрів) при порівняно незначних обчислювальних затратах, незважаючи на те, що просторовий крок моделі значно зменшений. Досить часто використовують негідродинамічні моделі типу CALMET. Їх перевага полягає у суттєвому спрощенні розрахунків порівняно з чисельними моделями. Щоправда, результати досліджень проведених у [24] показують, що точність розрахунків у CALMET значно залежить від кількості та якості вхідної метеорологічної інформації, а також рівномірності розташування пунктів спостережень. Виявлено, що модель є більш чутливою до вхідних даних, ніж до вибору контролюючих параметрів моделі. Іноді, з метою створення масиву багаторічних даних з малою часовою дискретністю (до 1 години) застосовують методи стохастичного моделювання. Використовуючи цей підхід, в [26] змодельовані флуктуації швидкості вітру із подальшим створенням «штучних» часових рядів швидкості вітру з 10-хвилинною часовою дискретністю на основі розрахунків двох мезомасштабних моделей (MM5 та NZLAM). Звісно, даний метод оцінки вітроенергетичного потенціалу менш точний порівняно з вище перерахованими, хоча створені часові ряди досить добре корелюють з даними реальних вимірювань.

Оцінка довгострокової динаміки вітрових ресурсів. З точки зору оцінки вітроенергетичного потенціалу у довгостроковій перспективі потрібно провести аналіз динаміки просторово-часового поля швидкості вітру. Результати аналізу трендів швидкості вітру на основі даних метеорологічних вимірювань, виконаного в [33] для усієї території Китаю, підтверджують висловлені раніше припущення, в яких зменшення середньої швидкості приземного вітру пов'язують із тропосферним потеплінням (зменшуються широтні градієнти приземної температури). Виявлено, що переходи між фазами посилення та послаблення вітрового режиму є більш різкими в гірських районах. Від початку 2000-х років відмічається відновлення тренду швидкості вітру на рівнині, а у горах навіть його зростання. Імовірно, збільшення широтного градієнту висоти ізобаричної поверхні 500 гПа та швидкостей вітру на цій висоті можуть свідчити про перебудову атмосферної циркуляції та подальше посилення вітру біля земної поверхні. Проте аналогічні дослідження у Європі та Північній Америці показують різну спрямованість трендів швидкості вітру біля землі (спадання) та у вільній атмосфері (зростання). У ході аналізу трендів швидкості вітру над територією США у [29], побудованих на основі даних реаналізу NARR із попереднім вилученням часової автокореляції в даних, виявлено слабе зростання швидкостей вітру на висоті 10 м. Тенденція до посилення вітру на висоті 80 м виявилась більш вираженою, що можливо пов'язано зі зростаючим трендом у верхній частині граничного шару атмосфери. Зменшення середніх швидкостей вітру на висоті флюгера за даними метеорологічних спостережень автори пояснюють переважно посиленням впливу оточуючих об'єктів (збільшення кількості забудов та висоти дерев) на вітровий режим метеостанцій [29]. З тієї ж причини, різниця трендів

швидкості вітру, виміряного на 2 м та 10 м, є ще більш відчутною [32]. Просторово-часовий аналіз поля швидкості вітру з високою просторовою роздільною здатністю ($0.1^\circ \times 0.1^\circ$) з використанням процедур гомогенізації та статистичної інтерполяції вхідних даних на базі прикладного метеорологічного забезпечення MASH та MISH відповідно, проведений в [37]. Результати аналізу трендів в [37] вказують на зменшення середніх швидкостей вітру. Слід зауважити, що тренди швидкості вітру в [29, 33, 37] співставні у часових рамках, так як вони можуть характеризувати спільний 30-річний період часу (1981-2010 рр.). Стосовно території України, то порівняльний аналіз середньорічної швидкості вітру за періоди 1961-1990 та 1981-2010 рр. показує її зменшення [4, 14].

В [35] проводиться оцінка майбутніх змін просторово-часового розподілу вітроенергетичного потенціалу на території Європи на основі ансамблю проєкцій двох регіональних кліматичних моделей. Відповідно до результатів автори висловлюють припущення про незначне підвищення (переважно взимку і восени) питомої потужності вітру над центральною та північною Європою, а також зростання міжрічної та сезонної мінливості цього показника у західній та центральній Європі у наступні десятиліття. Південну Європу, за виключенням окремих регіонів, очікує зменшення енергетичного потенціалу вітру. Важливо акцентувати увагу також на тому, що діапазон робочих швидкостей сучасних вітроустановок не охоплює усіх змін вітрового режиму в цілому.

Висновки. Кліматологічне оцінювання/районування території за вітроенергетичним потенціалом є початковим етапом на шляху визначення оптимальних місць розміщення вітрових установок. Об'єктивна оцінка вітроенергетичних ресурсів певної території вимагає не лише достатньої кількості та якості даних про вітер, але й врахування топографічних умов місцевості. Очевидно, з метою раціонального використання енергії вітру технічні характеристики ВЕУ мають бути ретельно підібрані під вітровий режим конкретної ділянки місцевості.

В останні роки у країнах заходу широкого застосування набули чисельні та інтерполяційні методи моделювання просторово-часового поля характеристик вітру. Аналіз динаміки середньої швидкості вітру над різними регіонами земної кулі вказує на різну спрямованість трендів в останні роки та можливі зміни у величині та мінливості в сторону збільшення у наступні десятиліття.

Список літератури

1. Анапольская Л.Е. Ветроэнергетические ресурсы и методы их оценки / Л.Е. Анапольская, Л.С. Гандин. // Метеорология и гидрология. – 1978. – №7. – С. 11–17.
2. Безруких П.П. Ветроэнергетика: Справочно-методическое издание / П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл.), С.В. Грибков. – Под общей редакцией П.П. Безруких. – М.: «Интехэнерго-Издат», «Теплоэнергетик», 2014. – 304 с.
3. Вітрові ресурси Тернопільської області / В.І. Осадчий, О.Я. Скриник, Д.О. Ошурок, О.А. Скриник // Наукові праці УкрГМІ. – 2016. – Вип. 269.
4. Вітроенергетичні ресурси Українських Карпат / В.І. Осадчий, О.А. Скриник, О.Я. Скриник, Р.Ю. Радченко. // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2014. – Вип. 266. – С. 3–11.
5. Волеваха М.М. Енергетичні ресурси клімату України / М.М. Волеваха, М.І. Гойса. – Київ: Наукова думка, 1967. – 132 с.
6. Волковая О.О. Моделювання вітрового потенціалу локальної ділянки лісостепу для потреб вітроенергетики з використанням ГІС-технологій / О.О. Волковая, О.С. Третьяков, І.Г. Черваньов. // Український географічний журнал. – 2015. – №4. – С. 10–16.
7. Де Рензо Л. Ветроэнергетика. М.: Энергоатомиздат, 1982. – 271 с.
8. Дмитренко Л.В. Вітроенергетичні ресурси в Україні / Л.В. Дмитренко, С.Л. Барандіч. // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2007. – Вип. 256. – С. 166–173.
9. Клімат України – за ред. В.М. Ліпінського. – К.: Видавництво Раєвського, 2003. – 343 с.
10. Кушнир В.Г. Эффективность использования энергии ветра в Костанайской области северного региона Казахстана в целях генерирования электрической энергии / В.Г. Кушнир, И.В. Кошкин. //

Hydrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia. – 2017. – Т.1(44)

Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – Т. 9, №4. – С. 49–54. **11.** *Мартазінова В.Ф.* Сучасний клімат Київської області / В.Ф. Мартазінова, О.К. Іванова. – Київ, 2010. – 70 с. **12.** *Методические Указания:* Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок / [М.М. Борисенко, А.Д. Дробышев, В.П. Харитонов и др.]. – 1990. **13.** *Мхитарян Н.М.* Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. – К.: Наукова думка, 1999. **14.** *Осадчий В.І* Оцінка сучасного стану вітрових ресурсів Українських Карпат та їх зміни відносно базового кліматичного періоду / В.І. Осадчий, О.А. Скриник, О.Я. Скриник / – Доповіді НАНУ – 2015. – 8. – С. 95–99. **15.** *Оцінка вітроенергетичних ресурсів обмежених територій невеликих просторових масштабів із складним рельєфом* / В.І. Осадчий, О.А. Скриник, Д.О. Ошурок, О.Я. Скриник // Доповіді НАНУ – 2017. – 5. **16.** *Ошурок Д.О.* Застосування метеорологічного препроцесора CALMET для розрахунку вітроенергетичних ресурсів Тернопільської області / Метеорологія, гідрологія, моніторинг довкілля в контексті екологічних викликів сьогодення: Матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених. / Д.О. Ошурок – К: Ніка-Центр, 2016. – С. 144–146. **17.** *Порядок оценки ветроэнергетического потенциала* при размещении ветроэнергетических установок на территории республики Беларусь. – Минск, Минприроды, 2012. – 19 с. **18.** *Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов.* – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 80 с. **19.** *Рыхлов А.Б.* Ветроэнергетический потенциал на различных высотах приземного слоя атмосферы на юго-востоке европейской территории России / Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. – 2014. – Т. 14, вып. 1. **20.** *Сиротюк М.* Методичні аспекти оцінювання вітроенергетичного потенціалу / М. Сиротюк, О. Гринда. // Вісник Львівського університету. Серія Географія. – 2011. – Вип. 39. – С. 313–319. **21.** *Ефимов В.В.* Численное моделирование ветрового энергипотенциала Украины / [В.В. Ефимов, В.С. Барабанов, М.В. Шокуров та ін.]. // Відновлювана енергетика. – 2010. – №1. – С. 44–50. **22.** *Швень Н.І.* Оцінка вітрових ресурсів на території України, просторово-часовий аспект / Н.І. Швень, К.В. Петренко. // Відновлювана енергетика. – 2007. – №3. – С. 40–43. **23.** *Шефтер Я.И.* Использование энергии ветра. / Я.И. Шефтер – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 200 с. **24.** *An Evaluation of a Diagnostic Wind Model (CALMET)* / [W. Wang, W.J. Shaw, T. E. Seiple etc.]. // Journal of Applied Meteorology and Climatology. – 2008. – p. 1739–1756. **25.** *Analysis of WRF Model Wind Estimate Sensitivity to Physics Parameterization Choice and Terrain Representation in Andalusia (Southern Spain)* / [F.J. Santos-Alamillos, D. Pozo-Vazquez, J.A. Ruiz-Arias etc.]. // Journal Of Applied Meteorology And Climatology. – 2013. – p. 1592–1609. **26.** *Creating Synthetic Wind Speed Time Series for 15 New Zealand Wind Farms* / [R. Turner, X. Zheng, N. Gordon etc.]. // Journal of Applied Meteorology and Climatology. – 2011. – p. 2394–2409. **27.** *Dhunni A.Z.* Long-Term Wind Characteristics at Selected Locations in Mauritius for Power Generation / A.Z. Dhunni, M.R. Lollchund, S.D.D.V. Rughooputh. // Journal of Wind Energy. – 2015. **28.** *Dinoiu A.* Modeling and Simulation of Wind Turbines in Southern Carpathians / A. Dinoiu, C. Barbu, M. Pop. // WSEAS Press. – 2013. – p. 100–105. **29.** *Holt E.* Trends in Wind Speed at Wind Turbine Height of 80 m over the Contiguous United States Using the North American Regional Reanalysis (NARR) / E. Holt, J. Wang. // Journal of applied meteorology and climatology. – 2012 – p. 2188–2202. **30.** *Horvath K.* Dynamical Downscaling of Wind Speed in Complex Terrain Prone To Bora-Type Flows / K. Horvath, A. Bajic, S. Ivatek-Sahdan. // Journal of Applied Meteorology and Climatology. – 2011. – p. 1676–1691. **31.** *Landberg L.* Meteorology for wind energy: an introduction, 2016. – 227 p. **32.** *Long-Term Wind Speed Trends over Australia* / P. Coppin, R. Davy, C. Russell, A. Hirsch. // Journal Of Climate. – 2012. – vol. 25. – p. 170–183. **33.** *Observed Coherent Trends of Surface and Upper-Air Wind Speed over China since 1960* / C. Lin, K. Yang, J. Qin, R. Fu. // Journal of Climate. – 2013. – p. 2891–2903. **34.** *Olauson J.* Modelling the Swedish wind power production using MERRA reanalysis data / J. Olauson, M. Bergkvist. // Renewable Energy. – 2015. – №76. – p. 717–725. **35.** *Regional Changes in Wind Energy Potential over Europe Using Regional Climate Model Ensemble Projections* / [H. Hueging, R. Haas, K. Born etc.]. // Journal of applied meteorology and climatology. – 2013 – p. 903–917. **36.** *Selecting Representative Days for More Efficient Dynamical Climate Downscaling: Application to Wind Energy* / [D. Rife, E. Vanvyve, J. Pinto etc.]. // Journal of Applied Meteorology and Climatology. – 2013. – p. 47–63. **37.** *Solar and wind energy resources of the Eger Region* / [J. Mika, E. Csabai, Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

I. Dobi etc.]. // Hungarian Geographical Bulletin. – 2014. – №63. – p. 17–27. **38.** *The wind energy potential of Iceland* / [N. Nawri, G. N. Petersen, H. Bjornsson etc.]. // Renewable Energy. – 2014. – №69. – p. 290–299. **39.** *Troen I. European Wind Atlas* / I. Troen, E. Lundtang Petersen. – Roskilde: Risø National Laboratory, 1989. – 656 p. **40.** *Uncertainty of Wind Energy Estimation* / [T. Weidinger, A. Kiss, A.Z. Gyöngyösi etc.]. **41.** *Wind Speeds at Heights Crucial for Wind Energy: Measurements and Verification of Forecasts* / S. Drechsel, G. Mayr, J. Messner, R. Stauffer. // Journal of Applied Meteorology and Climatology. – 2012. – p. 1602–1617.

Кліматологічна оцінка вітроенергетичних ресурсів обмежених територій

Ошурок Д.О.

Проведений аналіз літературних джерел, у яких представлені основні методи оцінки вітроенергетичного потенціалу обмежених територій. Значне удосконалення методів просторово-часового аналізу поля вітру в останні роки є дуже важливим чинником сталого розвитку вітроенергетики як перспективної галузі альтернативної енергетики.

Ключові слова: вітроенергетичний потенціал, швидкість вітру, кліматологічна оцінка, моделювання, вітрова установка.

Климатологическая оценка ветроэнергетических ресурсов ограниченных территорий

Ошурок Д.О.

Проведен анализ литературных источников, в которых представлены основные методы оценки ветроэнергетического потенциала ограниченных территорий. Значительное усовершенствование методов пространственно-временного анализа поля ветра является очень важным фактором стабильного развития ветроэнергетики как перспективной отрасли альтернативной энергетики.

Ключевые слова: ветроэнергетический потенциал, скорость ветра, климатологическая оценка, моделирование, ветровая установка.

Climatological assessment of wind resources of small-scale areas

Oshurok D.O.

In this paper we have reviewed Ukrainian and international scientific literature sources (papers, books and other documents), which contain the main modern methods used in order to assess the wind energy capacity of areas with relatively small spatial scales. In particular, the following points have been addressed. 1) Climatological information, which is necessary to be utilized in wind energy industry: the mean value (multiyear average) of wind speed, its seasonal and diurnal variations, a frequency distribution of wind velocity (for different seasons or months), a vertical profile of wind speed. 2) Evaluation of an impact of surface (orography and type of land cover) on a spatial distribution of wind energy. 3) Calculation of the wind energy potential and efficiency of wind power application by modern wind turbines. 4) Evaluation of long-term trends of the wind energy potential.

Climatological assessment of wind energy potential of some areas is the primary step for defining the optimal locations where wind farm may be sited. Therefore, development of wind resources atlas is very important task. However, such development requires accurate and detailed (with high spatial and temporal resolution) information about wind field. Because of stochastic nature of wind, special numerical meteorological models are necessary to achieve the acceptable accuracy (spatial and time resolution). Such models have to take into account many factors, which influence wind over a particular region. The main factor is a structure of large-scale pressure field. However, orography, type of land cover (vegetation, water bodies, buildings etc.) and characteristics of atmospheric boundary layer have also a strong influence on wind field configuration. It's evident that technical characteristics of wind turbine (cut-in speed, rated speed and cut-out velocity) have to be selected carefully according to the wind regime of a particular location. Recently, one of the most common methods to model wind field over the small-scale areas is downscaling. This method is often based on application of numerical models or different types of interpolation.

Long-term trends of average wind speed have been analyzed over the different countries and reported in publications. The results have shown that the mean value of wind speed and its seasonal variability might increase in the future decades.

Significant improvement of methods for spatial-temporal analysis is very promising for a stable development of wind power sector as a perspective part of renewable energy industry.

Keywords: wind energy potential, wind speed, climatological assessment, modelling, wind turbine.

Надійшла до редколегії 16.02.2017

УДК 551.466

Анахов П. В.

ВП "Інформаційно-технологічний центр" ДП "НЕК "Укренерго", м. Київ

СЕЙШОВИЙ МЕХАНІЗМ ФОРМУВАННЯ РУХУ ВОДНИХ МАС

Ключові слова: зворотно-обертальний рух, сейшова течія, сейшова хвиля, сейшові коливання

Вступ. Водоймам властиві коливання стоячих хвиль (сейш). Їх позитивні риси складають можливі господарські застосування: вимірювання глибини, перемішування водних мас, підвищення виробітку потужності гідроелектростанцій, розвантаження тектонічного напруження, руйнування льодового покриву, сейсмічна розвідка. В той же час для стоячих хвиль характерні негативні риси, що визначаються тимчасовими несприятливими обставинами [1].

Сейші обумовлюють рухи води по вертикалі, уподібнюючись поршню, який здійснює зворотно-поступальні переміщення. Опускаючись вниз, хвилі породжують мікросейсми, піднімаючись вгору – мікробароми (рис. 1).

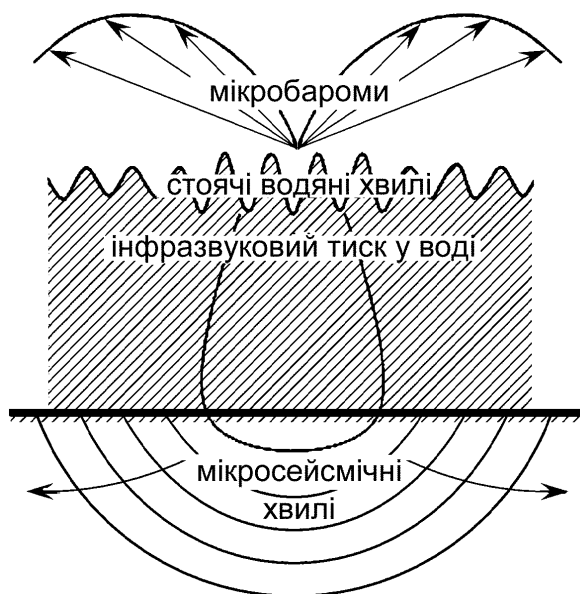


Рис. 1. Комплекс явищ, які виникають при зворотно-поступальному вертикальному русі стоячих хвиль, в гідросфері, атмосфері та земній корі [2]

Сейші породжують вторинні течії, при яких рідина коливається по горизонталі з періодом хвилі. Теоретичне обґрунтування цього ефекту [3] підтверджено модельними експериментами [4, 5] і спостереженнями в натурних умовах [6, 7].

Метою статті є дослідження закономірностей сейшового руху водних мас, які можуть бути використані в інженерних додатках.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розподіл по довжині L закритої нестратифікованої водойми висот h одновузлових сейшових коливань рівня і швидкостей спричинених ними течій показано на рис. 2.

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

Стояча хвиля утворюється в результаті накладання падаючої на перепону і відбитої від неї прогресивних хвиль, які поширюються назустріч одна одній. На рис. 2а показано профілі стоячої хвилі протягом півперіоду коливання $0 \leq t \leq \pi/2$ в закритому басейні прямокутного перерізу з горизонтальним дном. Вони представлені падаючою хвилею в момент часу $t=0$ і відбитою, без втрат потужності, – в момент часу $t=\pi$. Максимальна висота хвиль $h=2A$ (де A – амплітуда), співпадає із лінією пучностей $[-1;1]$. Мінімальна висота $h=0$ спостерігається у вузлових точках [8].

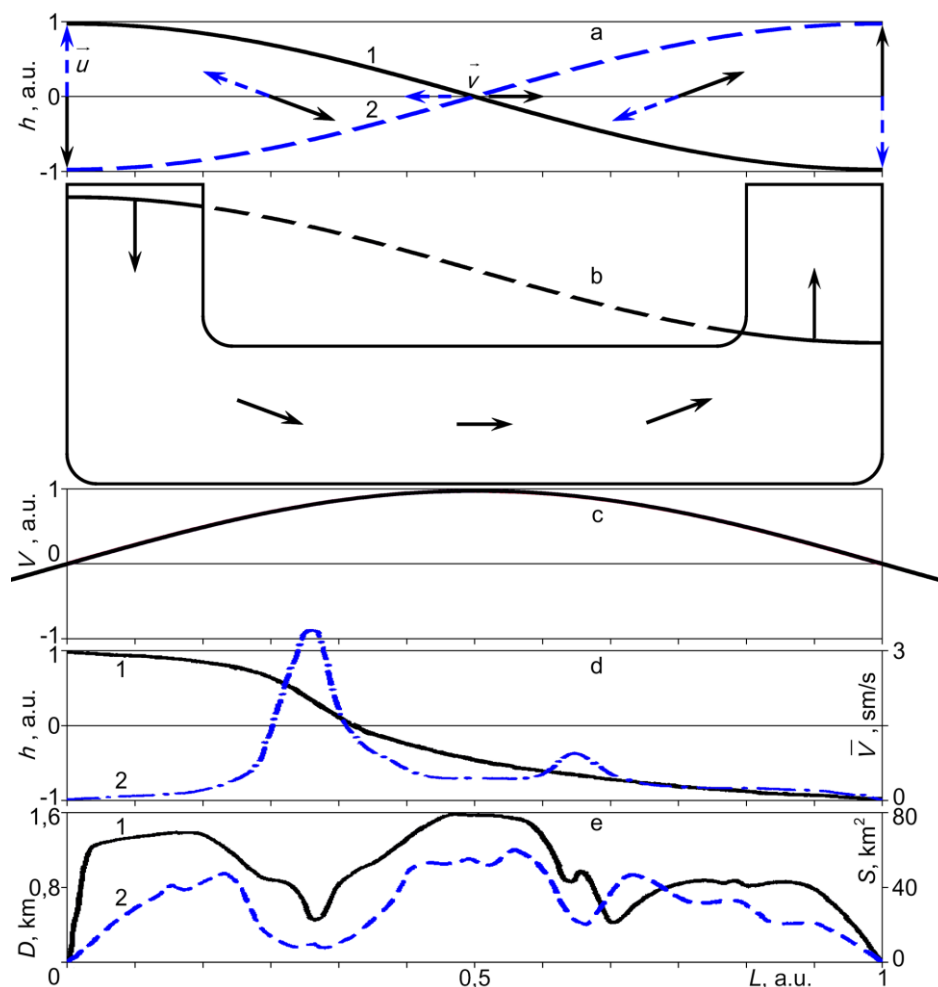


Рис. 2. Одновузлові сейшові коливання в озері Байкал: а – профілі падаючої (1) і відбитої (2) прогресивних хвиль [8]; б – зворотно-обертальний рух води у сполучених посудинах; с – очікувана швидкість течії; д – спостережені висоти коливань рівня (1) і швидкості течій (2) [6]; е – глибина D (1) і площа водного перерізу S (2) [6]

Напрямки руху водних мас показані двосторонніми стрілками: рівні води – вертикальною складовою \vec{u} , а течії – горизонтальною \vec{v} [9]. Відбита хвиля змінює напрям руху на протилежний по відношенню до падаючої [6].

Криволінійний рух результуючого потоку при опусканні падаючої хвилі показано на рис. 2b (показано напрямки руху в момент часу $t=0$). Потік уподібнюється гойдалці, яка здійснює зворотно-обертальні переміщення води у сполучених посудинах.

Швидкості течій розподіляються по ділянках між вузлами і пучностями хвилі нерівномірно. Їх максимальні значення спостерігаються в околицях вузлів,

мінімальні – в околицях пучностей [6, 8, 10]. Очікувані швидкості руху, зі зсувом фази $\pi/2$ по відношенню до падаючої хвилі, показано на рис. 2с.

На рис. 2d показано графіки спостережених в озері Байкал висот сейшових хвиль і середніх швидкостей течій. Відхилення від очікуваних значень обумовлюються невідповідністю моделі реальним морфометричним даним (рис. 2е). Сплески швидкостей сейшових течій спостерігаються в зонах підняття дна над Селенгінським і Академічним підводними хребтами [6].

На рис. 3 показано розподіл по довжині закритої водойми висот багатовузлових сейшових коливань рівня і швидкостей спричинених ними течій, зі встановленим вище півперіодним зсувом фази.

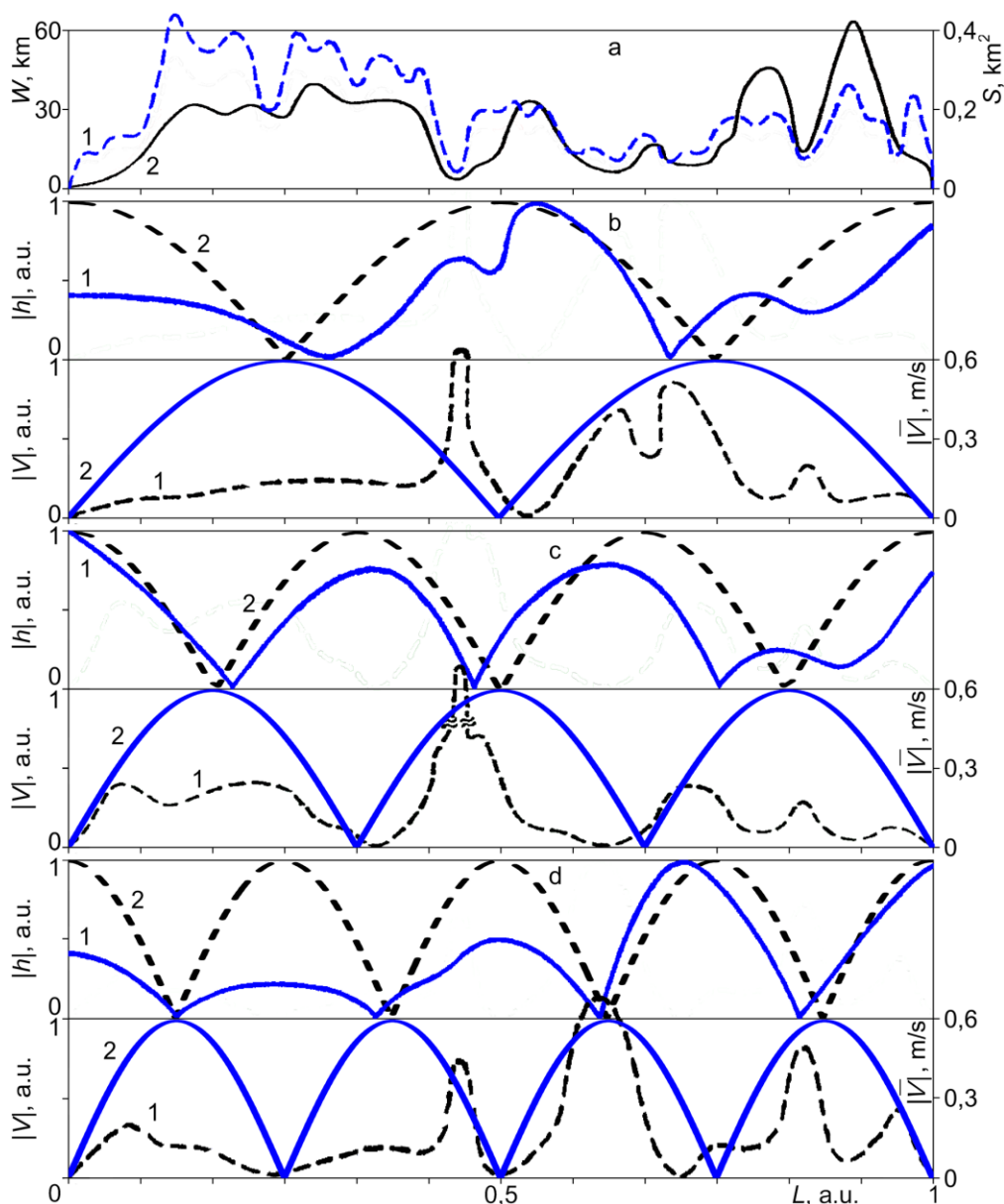


Рис. 3. Багатовузлові сейшові коливання в озері Балхаш: а – ширина W (1) і площа водного перерізу S (2) [6]; б – зверху: спостережені (1) [6] і очікувані (2) висоти коливань рівня двовузлових сейш, знизу: спостережені (1) [6] і очікувані (2) швидкості течії; с – зверху: спостережені (1) [6] і очікувані (2) висоти коливань рівня тривузлових сейш, знизу: спостережені (1) [6] і очікувані (2) швидкості течії; д – зверху: спостережені (1) [6] і очікувані (2) висоти коливань рівня чотиривузлових сейш, знизу: спостережені (1) [6] і очікувані (2) швидкості течії

Характерні криві очікуваних рухів порівняні із спостереженими в натурних умовах. Аномально швидка сейшова течія, яку чітко видно при коливаннях двовузлових сейш, відповідає зоні вузької протоки Узун-Арал між східною і західною частинами озера.

Висновки. На прикладі сполучених посудин показано, що сейшові рухи нестратифікованих водних мас складають вертикальні коливання хвиль і синхронні горизонтальні коливання течій, з півперіодним зсувом фази.

Список літератури

1. Кесова Л.А. Защита водохранилищ электростанций от вредного воздействия сейшевых волн / Л.А. Кесова, П.В. Анахов // Гідроенергетика України. – 2016. – №3-4. – С. 25-28.
2. Табулевич В.Н. Влияние штормовых вибраций на землетрясения / В.Н. Табулевич, Е.Н. Черных, В.А. Потапов, Н.Н. Дреннова // Природа, 2002, №10. – С. 12-16.
3. Longuet-Higgins M.L. Mass transport in water waves / M.L. Longuet-Higgins // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences. – 1953. – Vol. 245, No. 903. – P. 535-581. DOI: 10.1098/rsta.1953.0006.
4. Калиниченко В.А. Нелинейные эффекты в поверхностных и внутренних волнах Фарадея: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.02.05 "Механика жидкости, газа и плазмы". – М., 2010. – 212 с.
5. Со А. Н. Волны Фарадея в горизонтально подвижном сосуде с локальными особенностями дна и стенок: Автореф. ... дис. канд. физ.-мат. наук: 01.02.05 "Механика жидкости, газа и плазмы". – М., 2016. – 25 с.
6. Судольский А.С. Динамические явления в водоемах / А.С. Судольский. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 263 с.
7. Шарова В.В. Разрыв у вертикальной стенки от воздействия косопадающих волн: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 "Гидротехническое строительство". – М., 2016. – 126 с.
8. Rabinovich A.B. Seiches and Harbor Oscillations / Handbook of Coastal and Ocean Engineering (ed. by Y. C. Kim). – Singapore: World Scientific Publ., 2009. – P. 193-236.
9. Maurrasse F.J-M.R. Spatial and Temporal variations of the Haitian K/T Boundary record: implications concerning the event or events / F. J-M. R. Maurrasse, M.A. Lamolda, R. Aguado, D. Peryt, G. Sen // Journal of Iberian Geology. – 2005. – Vol. 31, No. 1. – P. 113-133.
10. Матишов Г.Г. Влияние сейш на формирование экстремальных уровней и течений в Азовском море / Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, Ю.И. Инжебейкин // Вестник Южного научного центра РАН. – 2008. – Т. 4, №2. – С. 46-61.

Сейшовий механізм формування руху водних мас

Анахов П. В.

Метою статті є дослідження закономірностей сейшового руху водних мас. Дослідження виконано графічним методом, який включає аналіз падаючої і відбитої прогресивних хвиль в закритому басейні прямокутного перерізу з горизонтальним дном, та у сполучених посудинах. Очікувані коливання порівняні із спостереженими одноперіодними в озері Байкал і багатоперіодними, – в озері Балхаш. Показано, що зворотно-обертальні рухи складають вертикальні коливання хвиль і синхронні горизонтальні коливання течій, з півперіодним зсувом фази. Розглянуті закономірності сейшового руху водних мас можуть бути використані в інженерних додатках.

Ключові слова: зворотно-обертальний рух, сейшова течія, сейшова хвиля, сейшові коливання.

Сейшевый механизм формирования движения водных масс

Анахов П. В.

Целью статьи является исследование закономерностей сейшевого движения водных масс. Исследование выполнено графическим методом, который включает анализ падающей и отраженной прогрессивных волн в закрытом бассейне прямоугольного сечения с горизонтальным дном, и в сообщающихся сосудах. Ожидаемые колебания сопоставимы с наблюдаемыми одноперіодными в озере Байкал и многоперіодными, – в озере Балхаш. Показано, что возвратно-вращательные движения составляют вертикальные колебания волн и синхронные горизонтальные колебания течений, с полуперіодным сдвигом фазы. Рассмотренные закономерности сейшевого движения водных масс могут быть использованы в инженерных приложениях.

Ключевые слова: возвратно-вращательное движение, сейшевая волна, сейшевое течение, сейшевые колебания

Seiche mechanism of water mass movement

Anakhov P. V.

Purpose of manuscript is the study of regularity of seiche movement of water mass. **Method.** Study was done by graphical method, which includes analysis of incident and reflected progressive waves in a closed rectangular basin with horizontal bottom, and in communicating vessels. **Results.** It is shown that swing movements of oscillations consists of vertical waves, and synchronous horizontal currents with half-period phase shift. Expected fluctuations are comparable with observed with one-period seiches in Baikal Lake, and multi-period seiches, – in Balkhash Lake. Deviations from expected values stipulated by disparity of model to real morphometric data. **Originality.** In example of communicating vessels we show, that seiche oscillations of water masses without stratification consists from vertical oscillations of waves and synchronous horizontal oscillations of currents, with half-period shift of phase. **Practical significance.** Such knowledge can be used in engineering applications: measuring of depth, at promoting the mixing of water masses, increasing of hydroelectric power, releasing of tectonic stresses, destruction of ice cover, and in seismic tomography.

Keywords: swing movement, seiche wave, seiche current, seiche oscillations.

Надійшла до редколегії 02.03.2017

УДК 556

Хільчевський В.К.¹, Забокрицька М. Р.²

¹ - Київський національний університет імені Тараса Шевченка

² - Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк

ПЕРШИЙ ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ З'ЇЗД (ОДЕСА – 2017): ПРІОРИТЕТИ ТА ПЕСПЕКТИВИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Ключові слова: *гідрометеорологічний з'їзд, гідрометеорологічна діяльність*

22-23 березня 2017 р. на базі гідрометеорологічного інституту Одеського державного екологічного університету відбулася значна подія в історії гідрометеорологічної галузі України – Перший Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд, який проводився за ініціативою Одеського державного екологічного університету та Українського гідрометеорологічного центру ДСНС України. В роботі з'їзду взяли участь керівники центральних та обласних підрозділів гідрометслужби України, яка входить до складу Державної служби України з надзвичайних ситуацій, представники керівництва ДСНС України, керівники гідрометеорологічних підрозділів Збройних Сил України, науковці НАН України та вищих навчальних закладів, зарубіжні гості з 8 країн.

Перший Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд проходив у дні міжнародних гідрометеорологічних свят – Всесвітнього Дня водних ресурсів (22 березня) та Всесвітнього метеорологічного Дня (23 березня), які було започатковано ООН відповідно у 1993 р. та 1961 р.

Понад 150 делегатів з'їзду обговорювали основні наукові, прикладні та виробничі проблеми у сфері гідрометеорологічної безпеки України, забезпечення сталого економічного та соціального розвитку України в умовах змін клімату, які все відчутніше впливають на добробут людей та економіку України, а також проблеми гідрометеорологічної освіти.

Програма з'їзду за тематикою охоплювала такі основні напрями: методологічні проблеми розвитку гідрометеорології як складової наук про Землю; організаційні проблеми у сфері гідрометеорологічної діяльності; шляхи забезпечення гідрометеорологічної безпеки держави; роль гідрометеорології у вирішенні проблем загальнодержавного та регіонального розвитку, а також адаптації до змін клімату, що відбуваються; сучасні методи і технології гідрометеорологічних досліджень; інноваційні точки росту гідрометеорології; гідрометеорологічна освіта в Україні: проблеми та перспективи.

Робота з'їзду відбувалася у пленарному режимі, стендових сесіях та у профільних секціях (фото 1-8) за такими напрямками: метеорологія; кліматологія; агрометеорологія; гідрологія; океанологія; гідрометеорологічна освіта.

Від кафедри гідрології та гідроекології Київського національного університету імені Тараса Шевченка у роботі з'їзду взяли участь завідувач кафедри, доктор географічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України В.К. Хільчевський, доктор географічних наук, професор В.В. Гребінь, кандидат географічних наук, асистент О.С. Коноваленко, кандидат географічних наук,



Фото 1. Спільне фото учасників Першого Всеукраїнського Гідрометеорологічного з'їзду, м. Одеса, 22.03.2017 р.



Фото 2. Секція гідрології Першого Всеукраїнського Гідрометеорологічного з'їзду, м. Одеса, 23.03.2017 р. (зліва: 1 ряд, 2-й - В.К. Хільчевський; 2-й ряд, 1-а – В.А. Овчарук, 2-а – В.М. Бойко, 3-й – Є.Д. Гопченко, 4-а – Ж.Р. Шакірзанова; 3-й ряд, 2-й – В.В. Гребінь)



Фото 3. Співголови оргкомітету з'їзду: директор Укргідрометцентру М.І. Кульбіда (ліворуч) та ректор ОДЕКУ, проф. С.М. Степаненко



Фото 4. Співголова секції гідрології проф. В.К. Хільчевський із доц. М.Р. Забокрицькою



Фото 5. Виступ В.К. Хільчевського перед студентами ОДЕКУ з нагоди Всесвітнього Дня водних ресурсів



Фото 6. Співголови секції гідрології – проф. Є.Д. Гопченко (ліворуч) та проф. В.В. Гребінь



Фото 7. В кулуарах з'їзду (1-й ряд, зліва): В.А. Овчарук, В.К. Хільчевський, В.М.Шпиг



Фото 8. В кулуарах з'їзду: В.К. Хільчевський, Ж.Р. Шакірзанова, В.М. Бойко

науковий співробітник І.В. Купріков, аспірантка В.В. Жовнір. Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки (м. Луцьк) представляла кандидат географічних наук, доцент кафедри фізичної географії географічного факультету М.Р. Забокрицька.

На пленарному засіданні Першого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду від групи співавторів з чотирьох університетів виступив професор В.К. Хільчевський з доповіддю «Досягнення університетської гідрологічної науки в Україні та перспективи її подальшого розвитку». Авторський колектив пленарної доповіді: Хільчевський В.К., Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Ободовський О.Г., Гребінь В.В., Шакірзанова Ж.Р., Ющенко Ю.С., Шерстюк В.А., Овчарук В.А. (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Одеський державний екологічний університет, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара) [1].

Під час роботи з'їзду також було створено всеукраїнську громадську організацію «Українське метеорологічне та гідрологічне товариство» з перспективою вступу до Європейського метеорологічного товариства. Головою товариства було обрано ректора Одеського державного екологічного університету, доктора фізико-математичних наук, професора С.М. Степаненка. До президії товариства обрано представників Київського національного університету імені Тараса Шевченка - завідувача кафедри метеорології та кліматології професор С.І. Сніжка та професора кафедри гідрології та гідроекології В.В. Гребеня.

З'їзд прийняв розгорнуте рішення, яке має стати важливим орієнтиром на найближчі п'ять років розвитку гідрометеорологічної галузі та вищої гідрометеорологічної освіти України.

Нижче наведено основні позиції з рішення Першого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду.

Перший Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд відзначає все зростаючу стратегічну роль гідрометеорології в цілому та окремих її ланок, у т.ч. оперативних, наукових та освітніх структур у забезпеченні гідрометеорологічної безпеки країни, захищеності населення, державних інститутів, суб'єктів бізнесу та економіки в цілому від несприятливого впливу погоди та змін клімату, що відбуваються.

З огляду на зазначене, Перший Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд констатує, що непродумані адміністративні реформи 2011 р., зокрема, ліквідація самостійного органу державного управління у сфері гідрометеорології (Держгідромету) [2], та хронічне недофінансування галузі призвели до втрати українською гідрометеорологічною службою провідних позицій у світовому рейтингу гідрометеорології, її суттєвому відставанню у технічному переоснащенні, що здійснюється швидкими темпами у більшості країн світу. Наукові та технологічні успіхи в області метеорології, кліматології, гідрології, агрометеорології, океанології, гідрографії та суміжних напрямках надають можливість підняти на якісно новий рівень гідрометеорологічне обслуговування як населення, так й галузей економіки. В той же час, на всіх рівнях (від державного до пересічного громадянина) швидко зростає попит на якісну гідрометеорологічну інформацію (метеорологічну, кліматологічну, агрометеорологічну, гідрологічну, океанологічну та гідрографічну), підвищується значимість і роль гідрометеорології у житті суспільства у зв'язку з новими викликами та загрозами, пов'язаними в першу чергу із змінами клімату, що відбуваються на території України.

У зв'язку з вищезазначеним з'їзд звертається до центральних органів виконавчої влади, Верховної Ради України з наполегливою пропозицією щодо поновлення статусу гідрометеорологічної служби (агентства) як центрального

органу виконавчої влади, діяльність якого спрямовується Кабінетом Міністрів України.

Продовження згаданих негативних тенденцій неминуче суттєво вплине на стан гідрометеорологічного забезпечення, а також може мати негативні міжнародні наслідки.

У зв'язку з цим з'їзд звертається до Міністерства освіти і науки України, Кабінету Міністрів України з пропозицією поновити окрему спеціальність «Гідрометеорологія» в Переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти, затверджену постановою Кабінету Міністрів України від 29.04.2015р. № 266 «Про затвердження переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти», і переглянути умови праці та суттєво збільшити фінансування технічного переозброєння галузі, яка забезпечує гідрометеорологічну безпеку країни.

Перший Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд вважає головними напрямками гідрометеорологічної діяльності у найближчій та середньостроковій перспективі такі:

- створення центрального органу державної виконавчої влади з питань гідрометеорології та моніторингу природного середовища;
- розвиток державної мережі спостережень на основі докорінного технічного переобладнання;
- розвиток базових технологій збору, опрацювання, архівації, зберігання та використання даних про стан атмосфери, гідросфери, кріосфери та поверхневого шару ґрунту на основі сучасних інформаційно-комунікаційних технологій;
- створення на основі застосування сучасних інформаційно-комунікаційних технологій єдиного електронного Національного банку даних гідрометеорологічних спостережень, забезпечення доступу до цієї інформації науковців, дослідників, студентів, які працюють і навчаються за різними напрямками гідрометеорології;
- розвиток за допомогою міжнародного співробітництва та кооперації сучасних технологій прогнозування стану природного навколишнього середовища та його забруднення;
- пріоритетний розвиток інформаційного обслуговування всіх категорій споживачів, активну участь у розбудові Глобальної рамкової основи для кліматичного обслуговування під егідою ВМО;
- впровадження системи кліматичного обслуговування населення та економіки України в умовах адаптації до змін клімату, що відбуваються;
- розвиток та впровадження сучасних методів економічної оцінки гідрометеорологічної інформації та гідрометеорологічного забезпечення розвитку економіки України;
- розвиток наукових досліджень у зазначених вище пріоритетних напрямках гідрометеорологічної діяльності;
- підготовка та підвищення кваліфікації працівників гідрометеорологічних підрозділів у відповідності до стандартів ВМО;
- розвиток міжнародного співробітництва через робочі органи ВМО, спільні наукові та освітні міжнародні проекти, участь у роботі Європейського метеорологічного товариства;
- розвиток всебічного діалогу між гідрометеорологічною спільнотою та органами влади, в тому числі через органи громадянського суспільства, одним з яких повинно стати Українське метеорологічне та гідрологічне товариство;
- роз'яснення все зростаючої важливості врахування оперативної, наукової та іншої гідрометеорологічної (в т.ч. кліматичної) інформації у практичній діяльності органів влади, бізнесу та окремих громадян.

Далі у рішенні Першого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду перераховуються пріоритетні завдання у сферах: *метеорології та кліматології; агрометеорології*. Пріоритетні завдання у сфері гідрології, океанології та гідрометеорологічної освіти викладаємо повністю.

Пріоритетними завданнями у сфері гідрології з'їзд вважає:

- впровадження положень Водної рамкової директиви ЄС (2000/60/ЄС), в тому числі розробка нового каталогу водних об'єктів України, нормативів якості води та управління водними ресурсами;
- створення шкали небезпечних гідрологічних явищ при затопленнях територій в басейнах річок України відповідно Водної паводкової директиви ЄС (2007/60/ЄС);
- розробка методів оцінки та прогнозу наслідків антропогенного впливу на водні ресурси в умовах змін клімату, та розвитку методів довгострокових прогнозів гідрологічних характеристик;
- подальший розвиток теоретичної і прикладної гідрологічної науки, пов'язаний з розробкою та вирішенням на державному рівні питання прийняття нормативних документів щодо проектування, будівництва і експлуатації гідротехнічних споруд в країні;
- поглибленого вирішення проблем оцінки зміни гідрологічного режиму водних об'єктів України та довгострокового прогнозу кількісних характеристик водних ресурсів країни у зв'язку з суттєвими коливаннями кліматичних умов, що відбуваються протягом останніх десятиріч;
- розвиток співпраці українських гідрологів з міжнародними інституціями над спільними науковими проектами з метою впровадження міжнародних стандартів гідрологічних досліджень;
- оснащення мережі сучасними приладами та обладнанням для регулярного гідрологічного і гідрохімічного моніторингу.

Пріоритетними завданнями у сфері океанології з'їзд вважає:

- Розробка та впровадження довгострокової Національної програми наукових досліджень та інтегрованого комплексного моніторингу стану екосистем Чорного і Азовського морів для забезпечення впровадження Рамкової Директиви ЄС про морську стратегію та Водної рамкової директиви ЄС.
- Модернізація матеріально-технічної бази та розвиток системи гідрометеорологічного моніторингу в Азово-Чорноморського басейні. Технічне переоснащення морських гідрометеорологічних станцій. Забезпечення проведення систематичного моніторингу мінливості метеорологічних і океанологічних характеристик у відкритих районах шельфової зони морів. Впровадження сучасних методів і засобів дистанційного моніторингу мінливості гідрометеорологічних параметрів в морських районах України.
- Розробка та впровадження сучасних технологій моделювання і прогнозування стану морського середовища акваторії української частини Азово-Чорноморського басейну, зокрема, складових сучасної національної системи морських прогнозів в Україні. Створення Національного центру морських прогнозів на базі Гідрометцентру Чорного та Азовського морів із науковим та науково-методичним забезпеченням установ Національної академії наук України та фахових ВНЗ.
- Створення наукового підґрунтя, науково-методичного забезпечення для запровадження системи комплексного управління прибережною зоною моря, гідроекологічним станом та водними ресурсами лиманів Чорного та Азовського морів, перспективного просторового планування розвитку прибережної зони моря.

- Оцінка впливу змін клімату, що відбулися та очікуються у ХХІ ст. на характеристики гідрометеорологічного режиму та природні ресурси морів і лиманних систем України.

- Підготовка кадрового науково-технічного потенціалу для забезпечення розвитку морських гідрометеорологічних досліджень з урахуванням сучасних вимог. Зокрема: (1) створення умов для підготовки висококваліфікованого кадрового потенціалу в галузі гідрометеорологічного забезпечення діяльності різних галузей морського господарства України у відповідності зі стандартами Всесвітньої метеорологічної організації, Міжнародної океанографічної комісії, Міжнародної гідрографічної організації; (2) забезпечення на державному рівні оновлення матеріально-технічної бази ВНЗ, які готують фахівців для гідрометеорологічного забезпечення різних напрямків морського природокористування – океанографії, гідрографії, морської метеорології; оснащення навчально-наукових лабораторій сучасним обладнанням, приладами для здійснення гідрометеорологічного моніторингу стану довкілля, зокрема, польових морських досліджень; (3) інтеграція наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності ВНЗ і наукових установ Національної академії наук України у галузі морської гідрометеорології.

- Розвиток за державною підтримкою міжнародного співробітництва у сфері океанографічних досліджень, охорони та відтворення довкілля Азовського і Чорного морів.

- Розвиток інформаційно-ресурсної діяльності у сфері океанології. Створення єдиної Національної бази архівних даних гідрометеорологічних морських спостережень у Чорному та Азовському морях з відкритим доступом до її використання студентами, аспірантами, науковцями. Державна підтримка видання міжнародних і національних фахових періодичних та монографічних видань у галузі океанології, гідрографії, морської метеорології.

Пріоритетними завданнями у сфері гідрометеорологічної освіти, в т.ч. підвищення кваліфікації та перепідготовки фахівців, з'їзд вважає:

- Поновлення у переліку спеціальностей окремої спеціальності «Гідрометеорологія», що забезпечить дотримання міжнародних стандартів професійної підготовки фахівців-гідрометеорологів;

- Перегляд кваліфікаційних вимог до персоналу оперативних гідрометеорологічних підрозділів у відповідності до нових технологій збору, опрацювання та аналізу інформації, прогнозу гідрометеорологічного стану, а також нових завдань по гідрометеорологічному, в т.ч. кліматичному обслуговуванню;

- Впровадження інноваційних методів, зокрема дистанційних, з метою вдосконалення та розширення ефективності гідрометеорологічної освіти;

- Створення нових освітніх програм у відповідності до кваліфікаційних вимог Всесвітньої метеорологічної організації та національної гідрометеорологічної служби у тісній співпраці з працівниками оперативних гідрометеорологічних підрозділів;

- Інтеграцію наукових досліджень та навчального процесу, а також їх інтеграцію у міжнародні наукові та освітні програми (проекти);

- Створення національного міжгалузевого центру професійної підготовки, підвищення кваліфікації та перепідготовки фахівців на базі Одеського державного екологічного університету та Українського гідрометеорологічного центру;

- Створення регіонального центру Всесвітньої метеорологічної організації з підготовки фахівців на базі Одеського державного екологічного університету та гідрометеорологічних технікумів в Харкові та Херсоні з метою забезпечення регіональних потреб у підготовці висококваліфікованих фахівців у сфері гідрометеорології;

- Систематичне підвищення кваліфікації фахівців національної гідрометеорологічної служби, наукових установ та навчальних закладів з використанням можливостей Всесвітньої метеорологічної організації.

Висновки

1). Перший Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд, який відбувся 22-23 березня 2017 р. в Одесі, стане важливою віхою в історії гідрометеорологічної діяльності в Україні – в практиці, науці, підготовці фахівців у вищих навчальних закладах.

2). Рішення з'їзду має привернути увагу органів державної влади до проблем у гідрометеорологічній діяльності, оскільки підвищується значимість і роль гідрометеорології у житті суспільства у зв'язку з новими викликами та загрозами, пов'язаними в першу чергу із змінами клімату, що відбуваються на території України.

3). «Українське метеорологічне та гідрологічне товариство», утворене на Першому Всеукраїнському гідрометеорологічному з'їзді, має сприяти консолідації представників гідрометеорологічної справи, актуалізації гідрометеорологічної діяльності в середині країни та розширенню зв'язків з європейськими та міжнародними профільними структурами через входження у Європейське метеорологічне товариство.

Список літератури

1. Тези доповідей Першого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду з міжнародною участю: 22 - 23 березня 2017 р., м. Одеса. – Одеса: ТЕС, 2017. – 316 с. 2. Хильчевський В.К. Національний гідрометеорологічний службі в Україні – 95 років: хронологія змін / В.К. Хильчевський, В.І. Осадчий // Наукові праці Українського гідрометеорологічного інституту (УкрНДГМІ). – 2016. – Вип. 269. – С. 173-183.

Перший Всеукраїнський гідрометеорологічний зїзд (Одеса – 2017): пріоритети та перспективи гідрометеорологічної діяльності

Хильчевський В.К., Забокрицька М.Р.

Наведено інформацію про роботу Першого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду, який відбувся 22-23 березня 2017 р. в Одесі. Викладено рішення з'їзду з повною характеристикою пріоритетних завдань у сфері гідрології, океанології та гідрометеорологічної освіти.

Ключові слова: гідрометеорологічний зїзд, гідрометеорологічна діяльність

Первый Всеукраинский гидрометеорологический съезд (Одесса – 2017): приоритеты и перспективы гидрометеорологической деятельности

Хильчевский В.К., Забокрицкая М.Р.

Приведена информация о работе Первого Всеукраинского гидрометеорологического съезда, который состоялся 22-23 марта в 2017 г. в Одессе. Изложены решения съезда с полной характеристикой приоритетных заданий в сфере гидрологии, океанологии и гидрометеорологического образования.

Ключевые слова: гидрометеорологический съезд, гидрометеорологическая деятельность.

First Ukrainian hydrometeorological congress (Odessa, 2017): priorities and prospects of the hydrometeorological activity

Khilchevskiy V., Zabokrytska M.

The information about the First Ukrainian hydrometeorological congress which was held 22-23 March, 2017 in Odessa. Expounded the solution of congress with a full description of the priorities in the hydrology, oceanology and hydrometeorological education.

Keywords: hydrometeorological congress, hydrometeorological activity.

Надійшла до редколегії 03.04.2017

ПОРЯДОК ПОДАННЯ І ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ ДО ПЕРІОДИЧНОГО НАУКОВОГО ЗБІРНИКА “ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ”

з урахуванням вимог нормативних документів ВАК України: Постанови ВАК України за №7-05/1 від 15 січня 2003 р., Наказу ВАК України №63 від 26 січня 2008 р. та Наказу ВАК України № 30 від 24 січня 2009 р.

Науковий збірник “Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія” запланований до чотирьох випусків на рік. Він є міжвідомчим, готується до видання на базі кафедри гідрології та гідроекології та науково-дослідної лабораторії гідроекології та гідрохімії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, а також Комісії з гідрології та гідроекології Українського географічного товариства. Наказом Міністерства освіти і науки України № 515 від 16.05.2016 р. включено до переліку наукових фахових видань України за галуззю «Географічні науки»..

Наукова тематика збірника визначена його назвою і є досить широкою. Вона охоплює насамперед такі питання: теоретичні та експериментальні гідрологічні, гідрохімічні та гідроекологічні дослідження водних об'єктів; оцінка впливу господарської діяльності на гідрологічний і гідрохімічний режим та якість природних вод; аналіз катастрофічних гідрологічних явищ на водних об'єктах, методи їх прогнозування та попередження; раціональне використання та охорона водних ресурсів, якість питної води; водні меліорації; моніторинг забруднення природних вод; методи спостережень, методи хімічного аналізу природних вод, гідробіологічні аспекти стану природних вод; географічні аспекти гідрологічних досліджень.

Редакційна колегія приймає матеріали та інформацію про діяльність відомих вчених в області гідрології, гідрохімії та гідроекології, які будуть присвячені їх ювілейним датам, матеріали про фахові конференції, що відбулися в Україні і за рубежом, анотації монографій і навчально-методичних видань.

Редакційна колегія просить звернути увагу авторів статей на Постанову ВАК України “Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України” за №7-05/1 від 15 січня 2003 р. Зокрема, на пункти 3 і 4 цієї Постанови:

“3. Редакційним колегіям організувати належне рецензування та ретельний відбір статей до друку. Зобов'язати їх приймати до друку у виданнях, що виходитимуть у 2003 році та у подальші роки, лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: *постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.*

4. Спеціалізованим ученим радам при прийомі до захисту дисертаційних робіт *зарахувати статті, подані до друку, починаючи з лютого 2003 р., як фахові лише за умови дотримання вимог до них, викладених у п.3 даної постанови*”.

Відповідно до постанови ВАК України статті повинні мати такі чітко означені в тексті структурні елементи:

<p>Вступ (<i>постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями</i>);</p> <p>Вихідні передумови (<i>аналіз останніх досліджень і публікацій</i>);</p> <p>Формулювання цілей статті, постановка завдання;</p> <p>Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;</p> <p>Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому науковому напрямі;</p> <p>Список літератури (<i>7-10 джерел, в т.ч. інтернет-джерел, оформлених згідно з ДСТУ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації...»</i>). Посилання на джерела у тексті подаються у квадратних дужках із зазначенням порядкового номера і використаних сторінок.</p>
--

Мова публікацій – українська. Можуть бути статті російською та іншими іноземними мовами. Текст повинен бути відредагованим і оформленим без помилок.

Для одноосібних статей, поданих студентами, аспірантами, здобувачами обов'язковим є відгук наукового керівника.

Автори несуть повну відповідальність за зміст і достовірність викладених у статті матеріалів. Редколегія залишає за собою право відхилення статей, що не відповідають вимогам до наукових публікацій або у разі негативних рецензій.

Статті обсягом **5-10 сторінок** (разом із резюме, таблицями, рисунками (рисунки чорно-білі) та списком літератури) необхідно надсилати на адресу редколегії у **електронному вигляді** (з назвою файлу – прізвище автора латинськими літерами), а також у роздрукованому вигляді у 2-х примірниках (для рецензування), один – із підписами авторів; другий – копія першого без підпису. Шрифт Arial, кегль 12, Word 6-8. Поля всі по 2.5 см; інтервал – 1, абзац – 1,00.

Подані до збірника рукописи, обсягом **менше 5 сторінок**, а також ті, що не мають відповідної рубрикації, будуть розміщуватись у розділі **"Наукові повідомлення"**.

Необхідно мати на увазі, що одиниці вимірювання величин і характеристик у статтях треба наводити згідно системи СІ. Зокрема, концентрацію хімічних компонентів у воді – в **мг/дм³** (а не в мг/л).

Крім того, до статті додаються відомості про авторів згідно зразка:

Прізвище, ім'я, по батькові;

Науковий ступінь та вчене звання;

Місце роботи;

Посада;

Службова адреса;

Контактний телефон, E-mail.

Зразок оформлення статті (обов'язково ставити УДК, дотримуватися виділення шрифту і абзаців):

УДК 551.49	(кегель 12)
Петренко М.І.	(кегель 12, напівжирний, нахилений)
<i>Інститут гідробіології НАН України, м. Київ</i>	(кегель 11, нахилений)
ГІДРОЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ БАСЕЙНУ ДНІПРА (кегель 12, напівжирний)	
Ключові слова: не більше 5 слів чи словосполучень (кегель 11, нахилений)	

Далі через інтервал починається текст статті (кегель 12). Усі підписи до рисунків та таблиці виконуються кеглем 11.

Після тексту через інтервал підзаголовки **"Список літератури"** (кегель 11, **напівжирний**), а потім власне список за його наявності (також кегль 11). Список літератури має бути оформлений згідно вимог ДСТУ ГОСТ 7.1-2006 та вимог ВАК України («Бюлетень ВАК України», № 3 від 2008).

Після "Списку літератури" через інтервал – **анотації** українською, російською і англійською мовами, що *додаються за схемою*:

1) *назва статті* (кегель 10, **напівжирний**) , *прізвище та ініціали автора(ів)* (кегель 10, **напівжирний, нахилений**);

2) *короткий текст анотації українською, російською та розширений – англійською (2000 знаків без пробілів)* (кегель 10, **нахилений**);

3) *ключові слова* (до 5 слів чи словосполучень), *розділених крапкою з комою* (кегель 10, **нахилений**).

Наукове видання

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Науковий збірник

2017 рік

Том 1 (44)

Збережено авторський стиль та орфографію

Комп'ютерна верстка – Москаленко С.О.

Підписано до друку 12.04.2017
Формат 60х90/8. Папір офсетний.
Гарнітура Arial. Друк різнограф.
Ум. др. арк. 8,0. Обл.-вид. арк. 8,2.
Наклад 300 прим. Зам. № 52-014.



Видавництво географічної літератури “Обрії”

Свідоцтво Держкомінформ України
ДК № 23 від 30.03.2000 р.
Київ, вул. Старокиївська, 10
Тел.: (096) 882-30-30
e-mail: vgl_obrii@ukr.net

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)