

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

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія

Періодичний науковий збірник
№ 4 (66)

Київ

2022

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ:

Період. наук. збірник / Гол. редактор В.К. Хільчевський. 2022. № 4(66). 121 с.

HYDROLOGY, HYDROCHEMISTRY AND HYDROECOLOGY:

Periodic scientific collection / The editor-in-chief Valentyn Khilchevskiy. 2022. № 4(66). 121 p.

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

- Науковий збірник “Гідрологія, гіdroхімія і гіdroекологія” засновано у травні 2000 р.
- Зареєстровано Міністерством юстиції України 8 жовтня 2009 р. (наказ № 1806/5).
- Свідectво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації KB № 25258-15198ПР від 02.09.2022 р.
- Наказом Міністерства освіти і науки України № 157 від 09.02.2021 р. включено до переліку наукових фахових видань України за спеціальністю 103 «Науки про Землю», галузь знань 10 «Природничі науки» (категорія Б).
- **Засновник:** Київський національний університет імені Тараса Шевченка.
- Виходить чотири рази на рік.
- Науковий збірник реферується УРЖ «Джерело» (угода з ІПРІ НАН України – засновником УРЖ «Джерело», №245/17 від 6 листопада 2017 р.).

*Рекомендовано до друку Вченою радою
географічного факультету
Київського національного університету
(20 грудня 2022 р., протокол № 5)*

Адреса видавця та редколегії:

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

Телефон редколегії: (044) 521-32-29.

E-mail: hydrozbirnyk-knu@ukr.net
luko15_06@ukr.net

ISSN:2306-5680

© Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2022

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Хільчевський Валентин Кирилович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

Гребінь Василь Васильович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Горбачова Людмила Олександрівна, доктор географічних наук, *Український гідрометеорологічний інститут*

Линник Петро Микитович, доктор хімічних наук, *Інститут гідробіології НАН України*

Ободовський Олександр Григорович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Самойленко Віктор Миколайович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Сніжко Сергій Іванович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Хохлов Валерій Миколайович, доктор географічних наук, *Одеський державний екологічний університет*

Шакірзанова Жаннетта Рашидовна, доктор географічних наук, *Одеський державний екологічний університет*

Шевченко Ольга Григорівна, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Хабел Міхал (Habel Michał) – PhD (Науки про Землю), *Інститут географії Університету Казимира Великого, м. Бидгощ, Польща*

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Лук'янець Ольга Іванівна, кандидат географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

З М І С Т

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Хільчевський В.К.

Особливості гідрографії Європи: річки, озера, водосховища 6

ГІДРОЛОГІЯ. ВОДНІ РЕСУРСИ

Szatten D., Herman O., Tęgowska N.

Functionality of spatial analysis in the assessment of the impact of land cover on the erosion process prediction 17

Bonheur M. N., Harmel O. O., Christian T., Dieudonne M. N. G., Bernard M.

Water erosion potential of the Congo river in the Stanley-pool bay 23

Tunio I. A.

Application of HEC-RAS model to analyze of sediment transport dynamic pre and post construction of fall structures at Lower Nara Canal off-taking from Upper Nara Canal, Sukkur Barrage, Indus River, Sindh, Pakistan 30

Koffi B., Alexis B. L., Alain K. C., Olivier K. K. J., Kouassi K. L.

Hydrodynamic functioning of the Lobo River reservoir, West-Central of Côte d'Ivoire 43

Гуляєва О.О., Усов О.Є.

Оцінка зміненого гідрологічного режиму Дністра як основа для визначення параметрів екологічного стоку 47

Сокольчук К.І.

Застосування методів просторової інтерполяції до гідрологічних даних на прикладі правобережної частини басейну річки Прип'ять (Україна) 59

Капуста Т.Я., Сивий М.Я., Бицюра Л.О.

Аналіз стану вивченості річок басейну Дністра в межах Тернопільщини 68

ГІДРОХІМІЯ. ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Лаврова Т.В., Кориченський К.О., Войцехович О.В.

Оцінка багаторічних просторово-часових змін хімічного складу підземних вод у зоні впливу колишнього уран-переробного підприємства ВО «Придніпровський хімічний завод» 81

ГІДРОЕКОЛОГІЯ. ГІДРОБІОЛОГІЯ

Babiński Z., Habel M.

Potential reasons for the ecological catastrophe of the Oder River in the summer of 2022 96

ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЛОБАЛЬНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ

Пясецька С.І.

Несприятливі агрометеорологічні явища на території України протягом 2006-2020 рр. 101

Порядок подання і оформлення статей до періодичного наукового збірника
“Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія” 118

CONTENTS

GENERAL METHODS ASPECTS OF INVESTIGATION

Khilchevskyi V.K.

Features of the hydrography of Europe: rivers, lakes, reservoirs	6
--	---

HYDROLOGY. WATER RESOURCES

Szatten D., Herman O., Tęgowska N.

Functionality of spatial analysis in the assessment of the impact of land cover on the erosion process prediction	17
---	----

Bonheur M. N., Harmel O. O., Christian T., Dieudonne M. N. G., Bernard M.

Water erosion potential of the Congo river in the Stanley-pool bay.....	23
---	----

Tunio I. A.

Application of HEC-RAS model to analyze of sediment transport dynamic pre and post construction of fall structures at Lower Nara Canal off-taking from Upper Nara Canal, Sukkur Barrage, Indus River, Sindh, Pakistan.....	30
--	----

Koffi B., Alexis B. L., Alain K. C., Olivier K. K. J., Kouassi K. L.

Hydrodynamic functioning of the Lobo River reservoir, West-Central of Côte d'Ivoire.....	43
--	----

Huliaieva O.O. Usov O.Ye.

Analysis of altered hydrological regime of the Dniester river as basic for ecological flows assessment.....	47
---	----

Sokolchuk K.I.

Application of different spatial interpolation methods to hydrological data on the example of the Pripyat river basin (within Ukraine).....	59
---	----

Kapusta T., Syvyj M., Bytsyra L.

Analysis of the State of Study of the Rivers of the Dniester Basin in Ternopil Region.....	68
--	----

HYDROCHEMISTRY. HYDROEKOLOGY

Lavrova T.V., Korychenskyi K.O., Voitsekhovych O.V.

Assessment of temporal and space-time changes of groundwater chemical composition at the "Pridniproivsky chemical plant" uranium production legacy site	81
---	----

HYDROECOLOGY. HYDROBIOLOGY

Babiński Z., Habel M.

Potential reasons for the ecological catastrophe of the Oder River in the summer of 2022.....	96
---	----

GEOGRAPHICAL ASPECTS OF GLOBAL HYDROLOGICAL CYCLE RESEARCH

Pyasetska S.I.

Adverse agrometeorological phenomena on the territory of Ukraine during 2006-2020.	101
--	-----

Presenting and official registration of the articles for the scientific periodical collection «Hydrology, hydrochemistry and hydroecology».....	118
---	-----

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.4.1>

УДК 626.81

Хільчевський В.К.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОГРАФІЇ ЄВРОПИ: РІЧКИ, ОЗЕРА, ВОДОСХОВИЩА

Європа має густу гідрографічну мережу, що належить переважно до басейну Атлантичного океану. Певна частина річок Східної Європи належить до басейну безстічного Каспійського моря-озера. Лише небагато річок несуть свої води в моря Північного Льодовитого океану. Так, 43 великі річки з площею водозбору понад 50 тис. км² розподіляються наступним чином: а) басейн Каспійського моря-озера – 9 річок (Волга, Урал, Кама, Ока, Біла, Вятка, Уфа, Сура, Мокша); б) басейн Північного Льодовитого океану – 3 річки (Печора, Північна Двіна, Мезень); в) басейн Північної Атлантики – 9 річок (Рейн, Ельба, Вісла, Західна Двіна, Німан, Одра, Варта, Сена, Нарев); г) басейн південної Атлантики – 6 річок (Тахо, Луара, Дуеро, Гвадіана, Гвадалквівір, Гаронна); д) басейн Середземного моря (разом з Чорним та Азовським морями) – 16 річок (Ебро, Рона, Дунай, Дніпро, Дон, Дністер, Десна, Сіверський Донець, Хопер, Тиса, Сава, Кубань, Південний Буг, Прип'ять, По, Мариця); е) серед цього переліку великих водотоків – 8 річок пов'язано з територією України. Важливою особливістю річок Європи є їхня транскордонність. Серед великих річок з площею водозбору понад 50 тис. км² транскордонні річки становлять 51 %.

В Європі налічується близько 16 тис. озер, які мають площу поверхні, що перевищує 1,0 км². Три чверті великих озер розташовані у Норвегії, Швеції, Фінляндії та Карело-Кольській частині Росії і мають льодовиково-тектонічне походження.

В Європі створено близько 7000 великих водосховищ із сумарною площею понад 100 тис. км², з яких 50% становить площа водосховищ європейської частини Росії. Серед 13 європейських водосховищ площею понад 1000 км² десятьох знаходиться в Росії, два (Кременчуцьке і Каховське) – в Україні, одне (Ейсселмер) – в Нідерландах. Найбільше водосховище в Іспанії (близько 1200) та Україні (бл. 1050).

Ключові слова: гідрографія, річки, озера, водосховища, Європа.

Вступ. Україною проходить частина Головного європейського вододілу. Головний європейський вододіл - лінія, що відокремлює басейни річок, які впадають в Атлантичний океан і моря північної Атлантики, від тих, що живлять Середземне, Адріатичне та Чорне моря. Він простягається від Піренейського півострова в Гібралтарі на південному заході через всю Європу до безстічного басейну Каспійського моря-озера на північному сході.

Відтинок Атлантично-чорноморського вододілу проходить трьома областями на заході України. У Закарпатській області він проходить лінією державного кордону між Польщею та Україною, далі Львівською і Волинською областями (поділяючи басейни Західного Бугу та Прип'яті з виходом на Шацькі озера і далі на Білорусь). Переважна більшість річок України несе свої води в Чорне та Азовське моря, причому 70 % стоку формується за межами країни. Із території близько 2,5 % України, стік річок басейну Вісли через Польщу спрямовано в Балтійське море (р. Західний Буг, р. Сан) [4, 7].

Таким чином, територія України дотична до складної гідрографії європейського континенту, основною особливістю якої є транскордонність річкових басейнів.

Аналіз виконаних раніше досліджень. Окрім досліджень, присвячених гідрографії окремих країн, в Європі видано деякі узагальнюючі праці з характеристикою водних об'єктів континенту. Зокрема, в 2021 р. вийшло друге видання монографії «Річки Європи» за редакцією Tockner K., Zarfl C., Robinson C. [12], в якій наведено гідрологічні та біологічні характеристики понад 180 найбільших річок Європи. Обрані водотоки включають найбільш річки та ті, що значно постраждали від діяльності людини. Праця спрямована гідрологам та екологам для використання в управлінні водними ресурсами та досягненні цілей Водної рамкової директиви ЄС. У 2012 р. було видано «Енциклопедію озер і водосховищ» (за редакцією Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W.), в якій у світовому контексті приділено увагу озерам і водосховищам Європи [3]. Виходять спеціалізовані

праці, зокрема публікація D. Markovinović та ін., присвячена наявності та доступності просторових даних з гідрографії та гідрогеології в Європі через систему INSPIRE [10]. Гідрографічні та гідрогеологічні дані містять просторові прив'язки та є частиною інфраструктури просторових даних. На європейському рівні дані є частиною європейської інфраструктури просторових даних, відомої як INSPIRE. Завдання цієї системи – зробити загальні просторові дані доступними для широкого кола користувачів простим та ефективним способом.

Мета даного дослідження – охарактеризувати гідрографічні особливості території суходолу Європи за основними водними об'єктами (річки, озера водосховища) та оцінити роль водних об'єктів України як складової частини гідрографії європейського континенту.

Матеріали та методи дослідження. Використано матеріали з офіційного сайту Європейського агентства з навколишнього середовища [1, 2], реєстра міжнародних річкових басейнів Європи [13], дані з платформи WorldAtlas [8, 9], інформація з інших джерел [6, 14, 15].

Виклад основного матеріалу

1. Річки

На території Європи наявні численні водозбори річок (рис. 1).



Рис. 1. Головний європейський вододіл та річкові басейни Європи

Річкові басейни переважно є відносно малими (крім території східної частини Європи), а самі річки - короткими. Варто зазначити, що в літературі не зустрічаються дані про загальну кількість річок на території Європи.

На Землі в моря впадає 34 річки довжиною понад 2000 км. В Європі таких річок чотири. В табл. 1 наведено дані про найбільші річки Європи, площа басейну яких перевищує 50 тис. км². Їх нараховується 43, серед яких 8 – пов'язані з територією України. Дунай протікає територією 10 країн, а ще 9 – причетні до його басейну.

Таблиця 1. Найдовші річки Європи (площа басейну яких перевищує 50 тис. км²)

№	Річка	Куди впадає	Довжина, км	Площа басейну, тис. км ²	Середня витрата, м ³ /с	Країна, якою протікає річка
1	2	3	4	5	6	7
1	Волга	Каспійське море-озеро	3530	1360	8060	Росія
2	Дунай	Чорне море	2840	817	6700	Німеччина, Австрія, Словаччина, Угорщина, Хорватія, Сербія, Румунія, Болгарія, Молдова, Україна
3	Урал	Каспійське море-озеро	2428	231	400	Росія, Казахстан
4	Дніпро	Чорне море	2201	504	1670	Росія, Білорусь, Україна
5	Дон	Азовське море	1870	422	680	Росія
6	Печора	Баренцове море,	1809	322	4380	Росія
7	Кама	Волга	1805	507	4100	Росія
8	Північна Двіна-Вичегда	Біле море	1803	357	3490	Росія
9	Ока	Волга	1500	245	1258	Росія
10	Біла	Кама	1430	142	950	Росія
11	Дністер	Чорне море	1362	72	310	Україна, Молдова
12	Вятка	Кама	1314	129	890	Росія
13	Рейн	Північне море	1233	185	2315	Швейцарія, Ліхтенштейн, Австрія, Німеччина, Франція, Нідерланди
14	Десна	р. Дніпро	1130	88,9	360	Росія, Україна
15	Ельба/Лаба	Північне море	1094	148	861	Чехія, Німеччина
16	Сіверський Донець	Дон	1053	99	190	Україна, Росія
17	Вісла	Балтійське море	1047	194	1090	Польща
18	Західна Двіна/Даугава	Балтійське море	1020	88	678	Росія, Білорусь, Латвія
19	Тахо/Тежу	Атлантичний кеан	1077	81	1670	Іспанія, Португалія
20	Луара	Атлантичний океан	1006	117	835	Франція
21	Хопер	р. Дон	980	61,1	150	Росія
22	Мезень	Баренцове море	966	78	866	Росія
23	Тиса	р. Дунай	962	157	800	Україна, Румунія, Угорщина, Словаччина, Сербія
24	Німан/Нямунас	Балтійське море	937	98	678	Білорусія, Литва, Росія
25	Ебро	Середземне море	930	86	618	Іспанія
26	Уфа	р. Біла	918	53	388	Росія
27	Сава	р. Дунай	900	96	1722	Словенія, Хорватія, Боснія і Герцеговина, Сербія
28	Дуеро/Дору	Атлантичний океан	897	97	675	Іспанія, Португалія
29	Кубань	Азовське море	870	58	425	Росія
30	Одер/Одра	Атлантичний океан	854	119	480	Чехія, Польща, Німеччина

1	2	3	4	5	6	7
31	Сура	р. Волга	841	67,5	260	Росія
32	Гвадіана	Атлантичний океан	818	68	80	Іспанія, Португалія
33	Рона	Середземне море	812	96	1710	Швейцарія, Франція
34	Варта	р. Одра	808	54	215	Польща
35	Південний Буг	Чорне море	806	64	108	Україна
36	Прип'ять	Дніпро	775	114	450	Україна, Білорусь
37	Сена	протока Ла-Манш	775	79	560	Франція
38	Гвадалквівір	Атлантичний океан	657	57	164	Іспанія
39	Мокша	р. Ока	656	51	95	Росія
40	По	Адріатичне море	652	75	1460	Італія
41	Гаронна	Атлантичний океан	647	56	650	Франція, Іспанія
42	Мариця/Еврос	Егейське море	525	54000	200	Болгарія, Греція, Туреччина
43	Нарев	р. Вісла	484	75,2	320	Білорусь, Польща

Понад 70 річок Європи мають площу водозбору, що перевищує 10 тис. км². Лише річки, що беруть початок глибоко всередині континенту, мають відносно великі розміри. Європейська рівнина прорізана багатьма важливими річками, такими як Луара, Рейн та Вісла на заході (Центрально-Середньоевропейська рівнина); Північна Двіна та Західна Двіна (Даугава), що течуть на північ у Східній Європі; Волга, Дон і Дніпро, що течуть на південь по Східноєвропейській рівнині (європейська частина Росії та Україна).

Три найдовші річки Європи - Волга, Дунай та Дніпро дренують чверть континенту. Однак за світовими мірками вони відносно невеликі; їхні водозбори займають 14-е, 29-е та 48-е місця у світовому рейтингу.

Якщо розглядати річки за водоносністю, то Волга і Дунай зберігають свої позиції, а на 3-є місце виходить р. Печора, на 4-е – Північна Двіна і т. д. (табл. 2).

Таблиця 2. Ранжування річок Європи за водоносністю

№	Річка	Витрата, м ³ /с	№	Річка	Витрата, м ³ /с	№	Річка	Витрата, м ³ /с
1	Волга	8060	11	По	1460	21	Західна Двіна	678
2	Дунай	6700	12	Ока	1258	22	Німан	678
3	Печора	4380	13	Вісла	1090	23	Дуеро	675
4	Кама	4100	14	Біла	950	24	Гаронна	650
5	Північна Двіна	3490	15	Мезень	866	25	Ебро	618
6	Нева	2490	16	Ельба	861	26	Сена	560
7	Рейн	2315	17	Луара	835	27	Тахо	500
8	Сава	1722	18	Тиса	800	28	Одер	480
9	Рона	1710	19	Гломма	709	29	Прип'ять	450
10	Дніпро	1670	20	Дон	680	30	Кубань	425

Дніпро займає: 4-е місце серед річок Європи – а) за довжиною; б) за площею басейну; 10-е місце – за водоносністю (див. табл. 1, 2).

Найбільші річки Європи, водозбірні басейни яких перевищують 50 тис. км², дренують приблизно дві третини континенту і включають річки, що:

- впадають на схід – у Каспійське море-озеро (Волга, Урал та Кура);
- впадають на північ – у Баренцове та Біле моря (Північна Двіна, Печора), у Балтійське море (Нева, Вісла, Одра, Німан);
- впадають в Атлантичний океан та Північне море (Рейн, Ельба, Луара, Дуеро та ін.);
- впадають на південь – у Чорне море (Дунай, Дніпро, Дністер, Південний Буг) та Азовське море (Дон);
- впадають на південь – у Середземне море (Рона, Ебро, По).

Варто відзначити існуючу суттєву різницю в класифікаціях річок за площею басейну між Водним кодексом України (ВКУ) та Водною рамковою директивою Європейського Союзу (ВРД ЄС). Класифікація ВРД ЄС вирізняється суттєво меншими градаціями площ водозборів, ніж прийнято у ВКУ.

Річки за площею басейну у Водній рамковій директиві ЄС (км²):

малі - 10–100; середні – 100–1000; великі – 1000–10 000; дуже великі > 10 000.

Класифікація річок за площею басейну у Водному кодексі України (км²):

малі < 2000; середні – 2000–50 000; великі > 50 000.

Європа має густу гідрографічну мережу, що належить переважно басейну Атлантичного океану. Певна частина річок Східної Європи належить до басейну безстічного Каспійського моря-озера. Лише небагато річок несуть свої води в моря Північного Льодовитого океану. При значній водності річки Північної, Західної та Південної Європи вирізняються невеликою довжиною та площею басейну. Це пов'язано з відносно малою площею території Європи, її сильною горизонтальною розчленованістю і частим чергуванням гір і рівнин. У більшості великих і середніх річок поряд з ділянками русла, розташованими на рівнинах, є ділянки, що дрениують гори. Складність морфології річкових басейнів доповнюється строкатістю кліматичних умов, режиму живлення та стоку.

На просторах Східно-Європейської рівнини річки отримують можливість для розвитку водозбірної площі та руслової мережі. Тому серед найбільших річок Європи, площа басейну яких перевищує 50 тис. км², річки Східної Європи становлять понад 60 %.

У географічному розподілі типів річок за джерелами живлення виявляється зональна закономірність. Загалом з півночі на південь Європи у живленні річок зменшується частка талих вод льодовиків та снігів та збільшується роль дощових вод. Але у гірських районах ця закономірність порушується. Навіть на півдні Європи у зв'язку з накопиченням у нівальному поясі снігу талі води навесні є додатковим, а для деяких річок і суттєвим джерелом живлення. У цьому проявляється вертикальна поясність стоку.

Річки льодовикового живлення поширені на Шпіцбергені, у Південній Ісландії та у найвищих районах Скандинавських гір та Альп. Загальною особливістю річок цього типу є приуроченість їх основного стоку до періоду плюсових температур, що зумовлюють танення льодовиків. З цієї причини на всіх річках з основним льодовиковим живленням пік витрати води припадає на липень – серпень. Взимку ж встановлюються дуже низькі рівні, а в окремих випадках стік припиняється зовсім. На Альпійських річках Швейцарії модулі стоку у липні - серпні - вересні перевищують 250 л/с на 1 км², а в період з грудня до квітня вони падають до кількох л/с.

Річки з дощовим живленням, що вирізняються великою водністю протягом усього року, характерні для помірного морського клімату з великою кількістю опадів та їх рівномірним розподілом по сезонах. Особливо багатоводні вони взимку, коли через низьку, але додатну температуру повітря витрати води на випаровування незначні. Деякий спад витрат води внаслідок збільшення випаровування приурочений до літнього сезону. До цього типу належать річки Британських островів, рівнинної та низькогірної Франції, західних територій Середньоевропейської рівнини аж до низовин Ельби та Ютландського півострова на сході, Северн, Темза, Сомма, Шаранта, рівнинні ділянки течії Луари, Сени, Рейну. Більшість річок цього типу тече в добре розроблених меандруючих долинах, має незначні ухили русла, розгалужену мережу приток. Багатоводність річок та особливості морфології їх долин сприятливі для розвитку судноплавства. Рівнинність території при невеликій висоті вододілів сприяє з'єднанню річок різних басейнів судноплавними каналами. У гірських районах з помірним морським кліматом режим річок дещо ускладнюється за рахунок додаткового надходження навесні талих снігових чи льодовикових вод та короткочасних паводків.

Річки, що мають в основному дощове живлення, але частково і снігове, з максимумом стоку навесні та мінімумом наприкінці літа – на початку осені, типові для районів з помірним перехідним кліматом від морського до континентального. Режим атмосферних опадів у цих районах менш рівномірний, як і в районах морського клімату, унаслідок чого водність річок має чітко виражену сезонність. Весняний максимум стоку на цих річках пов'язаний із таненням снігів та весняними дощами. Влітку багато води витрачається на випаровування. Зазначений тип річок поширений на півдні Фенноскандії,

сході Середньоевропейської рівнини, і навіть на Придунайських рівнинах. Із великих річок до нього відносяться Одра, Вісла, ліві притоки Дунаю.

Річки з чітко вираженим рівнем води у зимово-весняний період і так само чітко вираженою низькою межею влітку і в першій половині осені, коли вони живляться головним чином за рахунок підземного стоку, властиві районам із субтропічним середземноморським кліматом. Витрати води влітку у них у кілька десятків разів менші, ніж узимку. Невеликі річки влітку пересихають або дуже міліють. У меншій мірі до спаду рівня схильні великі річки Середземномор'я, що починаються в горах, де влітку ґрунтове живлення доповнюється дощовим за рахунок орографічних опадів. Навесні у живленні цих річок беруть участь також талі води гірських снігів. З великих річок до зазначеного типу відносяться Ебро, Дуеро, Тахо, Гвадалквівір, Гвадіана, Тибр, Дрин.

Річки мішаного живлення з перевагою снігового з різко вираженою весняною повинню і низькою маловодною межею (східноєвропейський тип). Весняна повинь пов'язана з таненням снігу. Влітку та взимку виражені меженні рівні. До цього типу річок належать річки Східноєвропейської рівнини. Наприклад у р. Волга: снігове живлення - 60 % стоку, ґрунтове - 30 %, дощове - 10 %. Для р. Дніпро: а) у верхів'ї: снігове живлення - 50 % стоку, ґрунтове - 30 %, дощове - 20 %; б) у пониззі (степова зона): снігове живлення - 85-90 % стоку, ґрунтове - 10-15 %, дощове - майже відсутнє.

2. Озера

Багато європейських озер утворилися 10-15 тис. років тому, сформувалися під час останнього льодовикового періоду. Льодовий щит покривав усю північну Європу. Однак у центральній та південній частині Європи льодовик доходив лише до гірських хребтів. Тому особливо вплив льодовика відчували райони, що нині мають велику кількість природних озер. Наприклад, Норвегія, Швеція, Фінляндія та Карело-Кольська частина Росії мають численні озера, частка площі яких становить до 5-10 % їх національної території. Велика кількість озер була утворена і в інших країнах навколо Балтійського моря, а також в Ісландії, Ірландії, північній та західній частинах Великої Британії.

У центральній частині Європи більшість природних озер знаходиться у гірських районах. Озера на великій висоті відносно невеликі, тоді як у долинах вони більші, наприклад, Женевське, Боденське, Гарда, Комо та Маджоре в Альпах, а також озера Преспа та Охридське озеро в Динарських Альпах. Два винятки становлять великі озера, що лежать на Угорській низовині, - Балатон та Нойзідлер.

Європейські країни, територія яких лише частково піддалася впливу зледеніння (Португалія, Іспанія, Франція, Бельгія, південь Англії, центральна Німеччина, Чехія, Словаччина та центральна європейська частина Росії) не мають такої кількості великих природних озер. У цих районах штучні озера, такі як водосховища та стави, зустрічаються частіше, ніж природні озера.

У табл. 3 наведено список з 27 європейських природних озер, площа поверхні яких перевищує 500 км².

Озера Європи мають різноманітне походження: льодовикове, тектонічне, льодовиково-тектонічне, вулканічне, карстове, загатне, заплавне.

Льодовиково-тектонічні озера - озерні улоговини утворені тектонічними тріщинами неоген-антропогенового часу і оброблені давнім льодовиком, мають неправильні контури та значні глибини. До такого типу належать найбільші озера Європи: Ладозьке та Онезьке, Венерн, Веттерн, Меларен, Саймаа, Пяйянне.

Загатні моренні озера - зустрічаються у вигляді скупчень в межах Балтійської озерної гряди.

Льодовикові озера - особливо характерні для Альп. Котловини всесвітньо відомих альпійських озер (Женевське, Боденське, Цюрихське) закладалися в тектонічних западинах наприкінці неогену, а потім були оброблені та поглиблені потужними льодовиками, що спускаються з гір.

Карстові озера - утворені в результаті вилугування вапнякових порід. Цей тип озер поширений на Балканському півострові, зустрічається на Волині в Україні.

Вулканічні озера - утворюються за рахунок наповнення водою кратера згаслого вулкану. Характерні для Ісландії, зустрічаються в Італії, Німеччині.

Таблиця 3. Морфометричні характеристики найбільших природних озер Європи

№	Назва озера	Площа дзеркала, км ²	Об'єм, км ³	Глибина, м		Країна
				макси-мальна	середня	
1	Ладозьке	17700	908	230	51	Росія
2	Онезьке	9720	292	120	30	Росія
3	Венерн	5519	153	106	27	Швеція
4	Чудсько-Псковське	3555	25	15,3	7,1	Естонія, Росія
5	Ветерн	1886	73,5	120	39,5	Швеція
6	Саймаа	1377	14,8	85,8	10,8	Фінляндія
7	Вигозеро	1143	6,5	18	5,7	Росія
8	Ейсселмер	1137	5,3	5,5	4,6	Нідерланди
9	Біле	1130	6,2	34	5,5	Росія
10	Пяйянне	1118	18,1	95,3	16,2	Фінляндія
11	Меларен	1090	14,3	66	12,8	Швеція
12	Інарі	1084	15,5	92	14,3	Фінляндія
13	Топозеро	986	14,9	56	15,2	Росія
14	Ільмень	982	2,9	10	3,5	Росія
15	Сегозеро	906	23,4	103	26	Росія
16	Піелінен	894	9,0	61	10,1	Фінляндія
17	Оулуярві	887	6,7	35	7,6	Фінляндія
18	Імандра	876	11,2	67	12,8	Росія
19	Піхляявесі	713	8,07	72	11,3	Фінляндія
20	Маркермер	700	2,1	5	3	Нідерланди
21	Пяозеро,	659	10,1	49	15,4	Росія
22	Ковдозеро	608	3,7	56	6,1	Росія
23	Оривесі	601	5,51	74	9,2	Фінляндія
24	Балатон	592	1,9	12,5	3,3	Угорщина
25	Женевське	580	89	310	153	Швейцарія, Франція
26	Хауківесі	562	5,11	55	9,1	Фінляндія
27	Боденське	536	48,4	251	90	Німеччина, Швейцарія, Австрія

Антропогенні озера - до цієї категорії в деяких країнах відносять всі водойми, які були створені внаслідок діяльності людини (водосховища, стави, відпрацьовані кар'єри, що заповнилися водою).

За даними Європейського агентства з навколишнього середовища, в Європі налічується понад 500 тис. природних озер площею понад 0,01 км² (1,0 га). Близько 80-90 % з них є невеликими з площею поверхні 0,01-0,1 км² тоді як близько 16 тис. мають площу поверхні, що перевищує 1,0 км². Три чверті озер розташовані у Норвегії, Швеції, Фінляндії та Карело-Кольській частині Росії [8]. Найглибшим в Європі є озеро Хорніндальсватнет (Норвегія) – 514 м.

Найбільші в Європі Ладозьке (площа 17700 км²) та Онезьке (9720 км²) озера розташовані в північно-західній частині Росії (Східна Європа). Обидва озера значно більші за інші європейські озера. Але вони посідають лише 18-е та 22-е місце у світовому рейтингу.

Ще 21 природне озеро площею понад 500 км² знаходяться у Швеції, Фінляндії, Естонії (Північна Європа) та на північному заході Росії, а також одне в Угорщині – Балатон (Східна Європа); два в Нідерландах - Ейсселмер, Маркермер; одне в Швейцарії та Франції – Женевське; одне в Німеччині, Швейцарії та Австрії - Боденське (Західна Європа).

Якщо рахувати малі озера із площею до 0,001 км², то тоді кількість озер в Європі зростає до 1,5 млн із загальною площею понад 200 тис. км².

Для цілей сучасного водного менеджменту у Водній рамковій директиві ЄС розроблено типізацію озер за площею водного дзеркала та глибиною.

За Водною рамковою директивою ЄС за площею водного дзеркала озера поділяються на (км²): дуже великі > 100; великі - 10–100; середні - 1–10; малі - 0,5–1,0; дуже малі < 0,5.

За Водною рамковою директивою ЄС за середньою глибиною озера поділяються на (м): глибокі > 15; середньої глибини - 3–15; мілкі < 3.

В Україні одне озеро відноситься до категорії дуже великих за площею (Ялпуг – 149 км² в групі Придунайських озер), одне озеро можна віднести до глибоких (Донузлав – 16 м у Криму).

3. Водосховища

Спорудження водосховищ у Європі має давню історію. У їхньому створенні насамперед було зацікавлене сільське господарство. Перші відносно великі іригаційні водосховища будувалися в Іспанії в римський період, у II ст. до н. е., а потім - в середні віки. Істотно розширилися площі зрошуваних земель у XIX ст., тоді іригаційні водосховища з'явилися в Іспанії, Італії, на півдні Франції.

Певну роль у створенні водосховищ у деяких країнах відіграло будівництво судноплавних каналів; наприклад, ще XVII ст. у Франції побудували Бріарський канал, що зв'язав Сену з Луарою, і Південний канал, що з'єднав (через Гаронну) Середземне море та Біскайську затоку. Найбільші водосховища на цьому каналі – Сен-Перроль та Сетон. Густа мережа каналів із невеликими водосховищами з кінця XVIII до початку XX ст. побудована в Англії, Бельгії, Нідерландах, на Північно-німецькій та Польській низовинах.

З кінця XIX ст. настала нова епоха у використанні енергії води - будівництво ГЕС із створенням великих водосховищ. А в XX ст., особливо після Другої світової війни (1939-1945 рр.), створення водосховищ відбувалося великими темпами, особливо на території колишнього СРСР, де будувалися водосховища значних розмірів.

Найбільшим водосховищем і третьою за величиною європейською прісноводною водоймою є Куйбишевське водосховище на р. Волга (табл. 4). А в десятку європейських прісноводних водойм за площею входять Рибінське, Волгоградське, Цимлянське, Нижньокамське, Чебоксарське (Росія) та Кременчуцьке (Україна) водосховища.

Таблиця 4. Морфометричні характеристики найбільших водосховищ Європи

№	Назва водосховища, на якій річці розташоване	Площа, км ²	Об'єм, км ³	Глибина, м		Рік створення	Країна
				максимальна	середня		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Куйбишевське (на р. Волга)	6450	57,3	34	8	1957	Росія
2	Рибінське (на р. Волга)	4580	25,4	28	5,6	1947	Росія
3	Волгоградське (на р. Волга)	3320	31,5	41	10,1	1961	Росія
4	Цимлянське (на р. Дон)	2700	23,9	35	8,9	1955	Росія
5	Нижньокамське (на р. Кама)	2650	4,2	20	3,3	1979	Росія
6	Чебоксарське (на р. Волга)	2270	13,9	21	6	1982	Росія
7	Кременчуцьке (на р. Дніпро)	2252	13,5	28	6	1961	Україна
8	Каховське (на р. Дніпро)	2155	18,2	26	8,4	1958	Україна
9	Ейсселмер (бас. Північного моря)	2000	5,1	9,5	5,5	1932	Нідерланди
10	Камське (на р. Кама)	1915	12,2	30	6,3	1954	Росія
11	Саратовське (на р. Волга)	1831	12,9	28	7	1968	Росія
12	Горьківське (на р. Волга)	1591	8,7	22	3,7	1957	Росія
13	Воткінське (на р. Кама)	1120	9,4	28	8,4	1964	Росія

1	2	3	4	5	6	7	8
14	Київське (на р. Дніпро)	992	3,73	8	3,8	1966	Україна
15	Верхньотулумське (р. Тулома, Нотозеро)	745	11,5	50	15,4	1965	Росія
16	Канівське (на р. Дніпро)	675	2,62	19	3,9	1976	Україна
17	Мінгячевірське (р. Кура)	605	16,1	75	27	1954	Азербай- джан
18	Кам'янське (на р. Дніпро)	567	2,45	15	4,3	1964	Україна

Сезонна та міжрічна нерівномірність стоку річок, неоднакова забезпеченість стоком та опадами різних районів визначили потребу регулювання стоку річок шляхом створення водосховищ. Вони необхідні для боротьби з повеннями і збільшення стійкого меженного стоку, необхідного для стабільного водопостачання.

За даними Європейського агентства з навколишнього середовища, у Європі налічується близько 7000 великих водосховищ. Крім того, існують тисячі штучних водойм меншого розміру. Загальна площа європейських водосховищ становить понад 100 000 км², з яких 50% становить площа водосховищ європейської частини Росії [11], хоча їх відносно й небагато цьому регіоні, але вони дуже великі. Шість найбільших водосховищ розташовані на р. Волга. Із 13 європейських водосховищ площею понад 1000 км² десяток знаходиться в Росії, два (Кременчуцьке і Каховське) – в Україні, одне (Ейсселмер) – в Нідерландах.

Державами з найбільшою кількістю водосховищ є Іспанія (близько 1200), Україна (бл. 1050), Туреччина (бл. 610), Велика Британія (бл. 570). Іншими країнами з великою кількістю водосховищ є Італія (бл. 570), Франція (бл. 550), Норвегія (бл. 360), Росія (бл. 250) та Швеція (бл. 190).

Водосховища України становлять 15 % від кількості водосховищ у Європі, а площа українських водосховищ – 2,3 % від сумарної площі європейських водосховищ.

Екологічні проблеми водосховищ. Створення водосховищ призводить до низки екологічних проблем як під час будівництва, так і після його завершення. Після спорудження греблі рівень води у водосховищі піднімається. Внаслідок цього в зоні затоплення водою часто відбуваються серйозні зміни. Наприклад, можуть бути втрачені сільськогосподарські угіддя, затоплено території, на яких були населені пункти, піднято рівень ґрунтових вод на прилеглих територіях.

Після створення водосховища виникають два типи екологічних проблем:

- погіршення якості води та доведення водойми до непридатного стану за своїм призначенням, наприклад за рахунок розвитку водоростей та накопичення токсичних речовини у водосховищах, які використовуються для питного водопостачання;

- загальне екологічне погіршення річкової системи, особливо нижче водосховища.

Оскільки греблі порушують природну безперервність річки, а водосховища змінюють гідрологічний цикл, екологічні наслідки можуть бути різноманітними. Наприклад, закривається доступ до нерестовищ прохідних риб, що становить особливу проблему для таких риб, як лосось, форель, вугор та осетр. При цьому, навіть невеликі греблі викликають проблеми, оскільки є непрохідними перешкодами для більшості видів риб. Невеликі греблі (менше 10-15 м у висоту), які зустрічаються в 10-100 разів частіше, ніж великі, чинять серйозний несприятливий вплив на популяції риб. Крім того, водосховища затримують завислі речовини, що накопичуються в них (переважно пісок). Це знижує надходження наносів на ділянки нижче за течією, зрештою, до моря, де відсутність піску призводить до берегової ерозії.

Висновки

1) Європа має густу гідрографічну мережу, що належить переважно до басейну Атлантичного океану. Певна частина річок Східної Європи належить до басейну безстічного Каспійського моря-озера. Лише небагато річок несуть свої води в моря

Північного Льодовитого океану. Так, 43 великі річки з площею водозбору понад 50 тис. км², серед яких 8 пов'язані з територією України, розподіляються наступним чином:

а) басейн Каспійського моря-озера – 9 річок (Волга, Урал, Кама, Ока, Біла, Вятка, Уфа, Сура, Мокша); б) басейн Північного Льодовитого океану – 3 річки (Печора, Північна Двіна, Мезень); в) басейн Північної Атлантики – 9 річок (Рейн, Ельба, Вісла, Західна Двіна, Німан, Одра/Одер, Варта, Сена, Нарев); г) басейн південної Атлантики – 6 річок (Тахо/Тежу, Луара, Дора/Дуеро, Гвадіана, Гвадалквівір, Гаронна); д) басейн Середземного моря (разом з Чорним та Азовським морями) – 16 річок (Ебро, Рона, Дунай, Дніпро, Дон, Дністер, Десна, Сіверський Донець, Хопер, Тиса, Сава, Кубань, Південний Буг, Прип'ять, По, Мариця).

2) При значній водності річки Північної, Західної та Південної Європи вирізняються невеликою довжиною та площею басейну. Це пов'язано з відносно малою площею території Європи, її сильною горизонтальною розчленованістю і частим чергуванням гір і рівнин. На просторах Східно-Європейської рівнини річки отримують можливість для розвитку водозбірної площі та руслової мережі. Тому серед найбільших річок Європи, площа басейну яких перевищує 50 тис. км², річки Східної Європи становлять понад 60 %.

3) Важливою особливістю річок Європи є транскордонність їхніх басейнів. Серед великих річок, з площею водозбору понад 50 тис. км², транскордонні річки становлять 51 %.

4) В Європі налічується близько 16 тис. озер, які мають площу поверхні, що перевищує 1,0 км². Три чверті озер континенту розташовані у Норвегії, Швеції, Фінляндії та Карело-Кольській частині Росії, мають льодовиково-тектонічне походження. Найбільші в Європі Ладозьке (площа 17700 км²) та Онезьке (9720 км²) озера розташовані в Східній Європі (північно-західна частина Росії) і значно перевищують за розмірами інші європейські озера. Найглибшим в Європі є озеро Хорніндальсватнет (Норвегія) – 514 м.

5) В Європі створено близько 7000 великих водосховищ із сумарною площею понад 100 тис. км², з яких 50% становить площа водосховищ європейської частини Росії. Серед 13 європейських водосховищ площею понад 1000 км² десяток знаходиться в Росії, два (Кременчуцьке і Каховське) – в Україні, одне (Ейсселмер) – в Нідерландах. Країнами з найбільшою кількістю водосховищ є Іспанія (близько 1200) та Україна (бл. 1050). Іншими країнами з великою кількістю водосховищ є Туреччина (бл. 610), Велика Британія (бл. 570), Італія (бл. 570), Франція (бл. 550), Норвегія (бл. 360), Росія (бл. 250) та Швеція (бл. 190).

Список літератури / References

1. European Environment Agency. European water resources. Overview. URL: <https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/water-resources>
2. European Environment Agency. Lakes in Europe. URL: <https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/lakes>
3. Fairbridge R.W., Bengtsson L. Europe, Lakes Review. In: Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W. (Eds.) Encyclopedia of Lakes and Reservoirs. Encyclopedia of Earth Sciences Series. 2012. Springer, Dordrecht. P. 249-258. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_78
4. Khilchevskiy V.K. Water resources of Ukraine: assessment based on the UN FAO AQUASTAT database. Proceedings 15th International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. European Association of Geoscientists & Engineers. 2021. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2005>
5. Khilchevskiy V., Grebin V., Dubniak S., Zabokrytska V., Bolbot H. Large and small reservoirs of Ukraine. Journal of Water and Land Development. 2022. 52(I-III). P.101-107.
6. Khilchevskiy V., Karamushka V. Global Water Resources: Distribution and Demand. In: Leal Filho W., Azul A.M., Brandli L., Lange Salvia A., Wall T. (Eds.). Clean Water and Sanitation. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer. 2022. P. 240-250. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95846-0_101
7. Khilchevskiy V.K., Zabokrytska, M.R., Plichko, L.V. Chemical composition of water and ion runoff of the Western Bug, Narew and Vistula rivers (Baltic Sea Basin). Proceedings 15th International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. European Association of Geoscientists & Engineers. 2021. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2001>

8. Largest Lakes in Europe. WorldAtlas. URL: <https://www.worldatlas.com/lakes/10-largest-lakes-in-europe.html>
9. Major Rivers Of Europe. WorldAtlas. <https://www.worldatlas.com/rivers/major-rivers-of-europe.html>
10. Markovinović D., Cetl, V., Šamanović S., Bjelotomić Oršulić O. Availability and Accessibility of Hydrography and Hydrogeology Spatial Data in Europe through INSPIRE. *Water* 2022, 14, 1499. <https://doi.org/10.3390/w14091499>
11. Reservoirs and dams. European Environment Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/reservoirs-and-dams>
12. Tockner K., Zarfl C., Robinson C. (Eds.). *Rivers of Europe*. 2nd Edition. Amsterdam; Elsevier, 2021. 942 p.
13. TwinBasin. Promoting Twinning of River Basins for Developing Integrated Water Resources Management Practices. URL: http://www.cawater-info.net/twinbasinxn/europe_e.htm
14. Vogt J.V., Soille P., de Jager A., Rimavičiūtė E., Mehl W., Haastrup P., Paracchini M.L., Dusart J., Bódis K., Foisneau S., Bamps C. Developing a pan-European Data Base of Drainage Networks and Catchment Boundaries from a 100 Metre DEM. *Proceedings 10th AGILE Int. Conference on Geographic Information Science* (Eds. M. Wachowicz & L. Bodum) 8-11 May 2007, Aalborg University, Denmark (<http://www.agile-online.org/>)
15. Water resources of Europe. URL: <https://water.europa.eu/freshwater/europe-freshwater/freshwater-themes/water-resources-europe>

Features of the hydrography of Europe: rivers, lakes, reservoirs

Khilchevskyi V.K.

Europe has a dense hydrographic network, mainly related to the Atlantic Ocean basin. A certain part of the rivers of Eastern Europe belongs to the basin of the endorheic Caspian sea-lake. Only a few rivers carry their waters to the seas of the Arctic Ocean. Thus, 43 large rivers with a catchment area of more than 50 thousand km², among which 8 are connected with the territory of Ukraine, are distributed as follows:

a) the basin of the Caspian Sea-lake - 9 rivers (Volga, Ural, Kama, Oka, Belaya, Vyatka, Ufa, Sura, Moksha); b) the basin of the Arctic Ocean - 3 rivers (Pechora, Northern Dvina, Mezen); c) North Atlantic basin - 9 rivers (Rhine, Elbe, Vistula, Western Dvina, Neman, Oder, Warta, Seine, Narew); d) the basin of the South Atlantic - 6 rivers (Tagus, Loire, Douro, Guadiana, Guadalquivir, Garonne); e) the Mediterranean Sea basin (together with the Black and Azov Seas) - 16 rivers (Ebro, Rhone, Danube, Dnieper, Don, Dniester, Desna, Siverskyi Donets, Khoper, Tisza, Sava, Kuban, Southern Bug, Pripyat, Po, Maritsa).

With significant water content, the rivers of Northern, Western and Southern Europe are characterized by a small length and basin area. This is due to the relatively small area of the territory of Europe, its strong horizontal dissection and the frequent alternation of mountains and plains. On the expanses of the East European Plain, rivers get the opportunity to develop a catchment area and a channel network. Therefore, among the largest rivers in Europe, whose basin area exceeds 50 thousand km², the rivers of Eastern Europe account for more than 60%.

An important feature of European rivers is the transboundary nature of their basins. Among the huge rivers, with a catchment area of more than 50 thousand km², transboundary rivers account for 51%.

In Europe, there are about 16 thousand lakes with a surface area exceeding 1.0 km². Three quarters of the continent's lakes are located in Norway, Sweden, Finland and the Karelian-Kola part of Russia, and are of glacial-tectonic origin. The largest in Europe Ladoga (area 17700 km²) and Onega (9720 km²) lakes are located in Eastern Europe (north-western part of Russia) and significantly exceed other European lakes in size. The deepest lake in Europe is Lake Hornindalsvatnet (Norway) - 514 m.

In Europe, about 7,000 large reservoirs have been created with a total area of more than 100 thousand km², of which 50% is the area of reservoirs in the European part of Russia. Among the 13 European reservoirs with an area of more than 1000 km², a dozen are located in Russia, two (Kremenchug Reservoir and Kakhovka Reservoir) are in Ukraine, and one (IJsselmeer) is in the Netherlands. The states with the largest number of reservoirs are Spain (about 1200) and Ukraine (about 1050). Other countries with a large number of reservoirs are Turkey (610), Great Britain (570), Italy (570), France (550), Norway (360), Russia (250) and Sweden (190).

Key words: hydrography, rivers, lakes, reservoirs, Europe.

Надійшла до редколегії 09.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.4.2>
UDC 556.537:551.4

Szatten D., Herman O., Tęgowska N.
Kazimierz Wielki University, Poland

FUNCTIONALITY OF SPATIAL ANALYSIS IN THE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF LAND COVER ON THE EROSION PROCESS PREDICTION

Erosion is a process shaping the earth's surface, responsible for supplying sediment to the fluvial system. Identification of areas vulnerable to erosion is a critical element of sediment management in the catchment, enabling the assessment of the degree of its degradation. The research was based on the use of spatial data, Digital Terrain Model (DTM), and Corine Land Cover (CLC) on the example of two sub-catchments located on the lower Brda River. The main aim of the research was to assess the impact of land cover on the spatial prediction of the erosion process at the catchment scale. The Maximum Entropy Method was used to determine the spatial probability distribution of environmental variables related to the erosion process. Results showed the greatest predictive power of relief-related environmental features, associated with specific types of land cover. Predictive models can be successfully used to predict areas potentially exposed to erosion.

Keywords: erosion; Maximum Entropy Model; prediction; Corine Land Cover (CLC); spatial analyses; Brda River catchment

Introduction. As is commonly known, erosion is a natural process that modifies the relief of the Earth surface. The second component of the changes is the transformations of the terrain resulting from human activity. Erosion and sediment yield depend on several factors, related to geological, lithological, topographic, climatic, etc. conditions (Guerra et al., 2017). Hydrological responses related to erosion processes in the catchment scale also depend on land use and vegetation (Siriwardena et al., 2006). Understanding the erosion process enables sustainable sediment management at the catchment scale.

Geographic Information Systems (GIS) tools enable remote control of environmental processes, including the erosion process. In addition, the use of models enables a better understanding and forecasting of processes taking place in the environment. Soil erosion prediction models are classified into two groups: empirical and physical process-based models. The most commonly used are The Universal Soil Loss Equation (USLE) (Wischmeier and Smith, 1978), The Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Renard et al., 1997), and Erosion Potential Method (EPM) (Amiri, 2010), etc. They achieve the best results on small scales, while their wider application for large areas is difficult (Merritt et al., 2003). Stochastic models based on presence/absence factors with environmental variables are not commonly used in erosion process research. It is a user-friendly tool, using the ROC (receiver operating characteristics) curve, enabling the study of a large area in a relatively quickly.

The main aim of the research was to assess the impact of land cover on the prediction of the erosion process on the example of two sub-catchments of the lower Brda River. In the research, spatial data were used: a Digital Terrain Model (DTM), and a database of the European land cover system - Corine Land Cover (CLC). The primary research hypotheses were: (i) relief in connection with the type of land cover, mainly determines the probability of the erosion process, (ii) local conditions strongly modify the sources of supply, transport paths, and deposition of eroded sediment in the catchment; (iii) predictive models enable a qualitative assessment of the erosion process at the catchment scale. To verify the assumed hypotheses, the Maximum Entropy Model tool was used, to determine the predictive power of environmental variables. The conducted research is significant from the point of view of the possibility of using new tools in the qualitative determination of the circulation of sediment in the catchment scale.

Study area. The Brda River catchment amounts to 4661 km² and a length of 245 km (Map, 2007), which is a lowland tributary of the Vistula River (Poland). The geomorphological genesis of the catchment is related to the accumulation stage of the last glaciation (Galon, 1953). The Brda valley is built of different-grained sands, surrounded by moraine uplands. The Brda River catchment is intense modified by hydrotechnical structures: dams – Myłof Reservoir in the middle course of the river, and Lower Brda Cascade (Koronowo, Tryszczyn, Smukała reservoirs) in the lower course (Szatten et al., 2018). At the same time, the hydrological regime of the estuary section of the Brda River, due to hydrotechnical works started in the Middle Ages - weirs, sluices, and canalization, is strongly transformed (Szatten, 2022).

The study area is two sub-catchments located in the lower part of the Brda River. Considering the physical-geographical regionalization of Poland (Solon et al., 2018), the Z1 catchment is located in the Southern Pomerania Lakeland macroregion (314.6-7), on the border of two mesoregions: Southern Krajna Lakeland (314.74) (western part), and the Brda River Valley (314.72) (eastern part). However, the catchment area Z2 is located within the Southern Pomerania Lakeland macroregion (314.6-7) (the northern part of the catchment), the mesoregions: Brda River Valley (314.72) and Świecie Upland (314.73), and the Toruń-Eberswalde Ice Marginal Valley macroregion (315.3), mesoregion Toruń Basin (315.35). Their choice results from intense morphometric and land cover diversity. In the case of the C1 catchment, 9 types of land cover were distinguished, while in the C2 catchment, 15 types of CLC were defined (Figure 1). The C1 catchment area – Brda River below the Koronowo Reservoir, amounts to 29.38 km². The area is dominated by non-irrigated arable land (type CLC 2.1.1) covering 20.31 km² of the catchment area (69%). The C2 catchment area – the estuary part of the river within the city of Bydgoszcz, amounts to 111.79 km². The land cover of this catchment is dominated by coniferous forest (type CLC 3.1.2) 42.91 km² (38%), and discontinuous urban fabric (type CLC 1.1.2) 24.33 km² (22%) (Fig. 1).

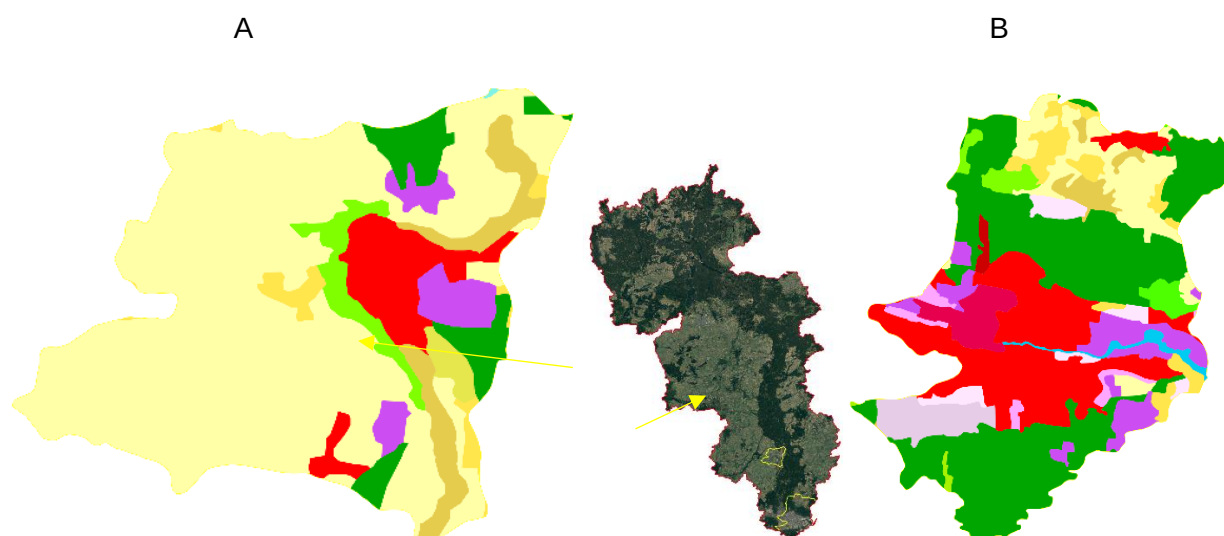


Fig. 1. Corine Land Cover (CLC) of the Brda River sub-catchment area: C1 (A), and C2 (B).

Materials and methods. The input data was a Digital Terrain Model (DTM) obtained from the resources of the Head Office of Geodesy and Cartography in Poland. Data in ASCII format file in the 1992 coordinate system, with a horizontal resolution of 1 x 1 m, and a vertical pixel accuracy of 0.1-0.25 m. The Corine Land Cover 2018 data was obtained from the resources of the Copernicus Land Monitoring Service (CLMS). According to technical assumptions, CLC uses a Minimum Mapping Unit of 25 ha for area phenomena and a minimum width of 100 m for linear phenomena (Heymann, 1994).

Spatial analyzes in QuantumGIS (v.3.4.12), and SAGA software (Conrad et al., 2015) were performed. Based on the Map of the hydrological division of Poland (2007), a sub-catchment for further research was identified. DTM was preprocessed using the Fill Sink

formula (Planchon and Darboux, 2002), and then selected geoprocessing tools to determine 4 basic spatial parameters were used: LS-Factor - LSF (Moore et al., 1991), Melton Ruggedness Number - MRN (Marchi and Fontana, 2005), Stream Power Index - SPI (Moore et al., 1991) and Topographic Wetness Index - TWI (Sørensen et al., 2005).

The spatial probability distribution for the four environmental variables for the analyzed sub-catchments was determined using the Maximum Entropy Method (Phillips et al., 2006). The method is based on the Gibbs distribution and has been successfully used in environmental research (Kornejady et al., 2017; Bosino et al., 2020; Szatten and Więclaw, 2021; Brzezińska et al., 2021). The dependent variables for the two studied sub-catchments were 10,000 random presence/absence background points, according to the basis defined by Phillips and Dudik (2008). The model was randomly validated, using it as a training sample (80% of data) and test sample (20% of data). The results define the percentage share of environmental variables in the model, using the AUC (area under curve) values, which determine the model's effectiveness. According to the criterion introduced by Hosmer and Lemeshow (2000), $AUC > 0.7$ indicates acceptable model results, $0.8 < AUC < 0.9$ indicates an excellent probability, and $AUC > 0.9$ indicates an outstanding prediction.

Results and discussion. Results of spatial analyses of environmental variables allow for characterizing the study area in terms of the erosion process. The first one, the slope-length factor (LSF) is a commonly used indicator of erosion, proposed by Wischmeier and Smith (1978) in the USLE model. For C1 it assumes values in the range from 0.00 to 7.22 (average 0.29), and for C2 in the range from 0.00 to 18.49 (average 0.17). In the case of both analyzed catchments, the LSF maximum values are related to the area of the river valley edges, for C1 - the Brda River valley, and for C2 - the marginal zone of the moraine plateau (Fig. 2). A similar spatial distribution for the second analyzed index MRN (Fig. 2) is observed. Index described a flow accumulation index, related to terrain relief (Melton, 1965). For C1 it assumes values in the range from 0.00 to 2.75 (average 0.21), and for C2 in the range from 0.00 to 2.39 (average 0.28). The research of Saha et al. (2019) also shows that relief variability is strongly related to susceptibility to soil erosion in the catchment. The next indicator is SPI, which determines the erosive power of flowing water (Moore et al., 1991). For C1 it assumes values in the range from 0 to 45979 (average 796), and for C2 in the range from 0 to 171003 (average 41). Linking the value of the SPI with the water surface slope makes it possible to characterize the ability to sediment transport, indicating that C2 has a much lower potential (Fig. 2), due to the regulated - canalized water regime of the river channel (Szatten, 2016). The SPI index was also included in the research of Pournader et al. (2018), where the prediction results of the Maximum Entropy Method indicated it as significant in the preparation of erosion susceptibility maps. The last indicator – TWI describes a potential generation of runoff (Sørensen et al., 2005) and indicates a potential area of sedimentation. This indicator has been successfully used in determining the potential erosive power of the surface runoff in the small catchment (Bosino et al., 2022). For C1 it assumes values in the range from 5.29 to 20.88 (average 9.46), and for C2 in the range from 4.49 to 23.17 (average 10.21). The spatial distribution of the maximum TWI values for the C1 catchment indicated the upper areas as potential areas of supply of eroded sediment, and the bottom of the Brda River valley as an area of sediment accumulation (Figure 2). However, in the case of the C2 catchment, the environmental variable indicated the potential path of the sediment transport associated with surface runoff (Fig. 2).

Depending on the type of CLC, the percentage share of the tested environmental parameters in the Maximum Entropy Model had a unique distribution. The dominant environmental variable identified by the model was the MRN for both analyzed catchments (Fig. 3). Depending on the type of CLC, the maximum percentage in the model was 88.01% for CLC 2.1.1 (catchment C1), and 96.59% for CLC 3.2.4 (catchment C2). The average MRN value in the model was 49.03% for the C1 catchment, and 63.81% for the C2 catchment. The other three environmental variables had significantly smaller contributions to the model results (Fig. 3). The average model shares for LSF, SPI, and TWI were respectively 19.70% (C1) and 12.62% (C2), 11.66% (C1) and 9.28% (C2), 19.61% (C1) and 14.29% (C2).

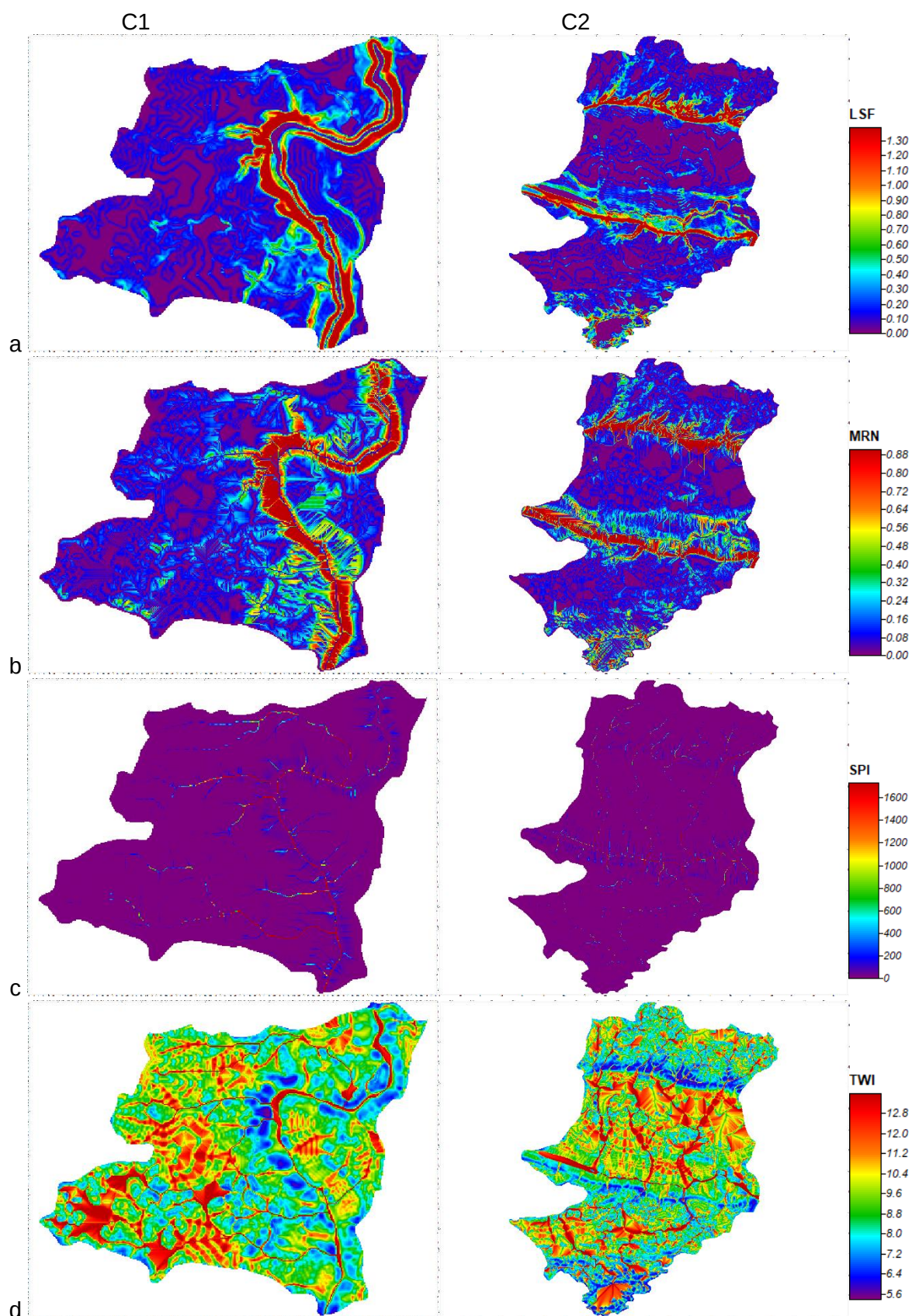


Fig. 2. The spatial image of morphometric characteristics of the study area catchment: C1, C2 – analyzed sub-catchments; a – LSF, b – MRN, c – SPI, d - TWI.

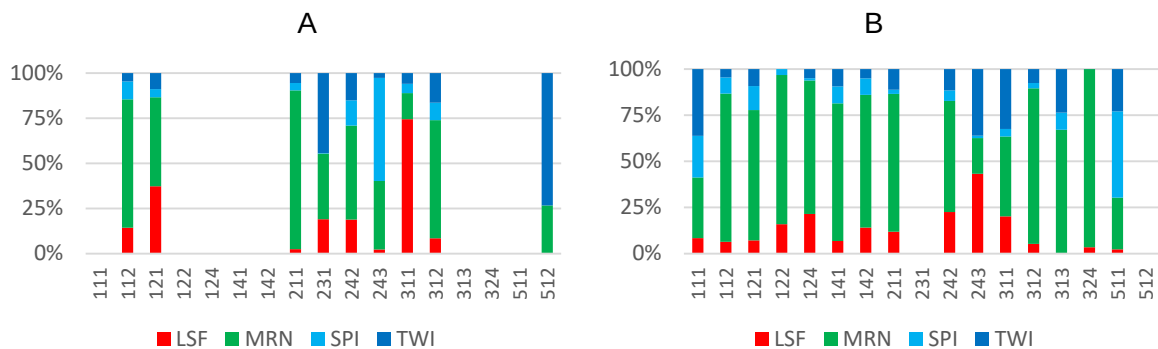


Fig. 3. Percentage of the dominant parameter in Maximum Entropy Model in the examined sub-catchments (C1 - A, and C2 - B) for selected CLC types.

In the case of the C1 catchment, the spatial distribution of the model results indicates that the areas with $AUC > 0.9$ are the edge zone of the Brda River valley (type CLC 3.1.1), and the fragmentarily sandur area (type 2.3.1) (Fig. 4). The total area of the C1 catchment corresponding to the value of $AUC > 0.9$ is 0.64 km^2 . Areas with lower predictive power ($0.7 < AUC < 0.9$) are unevenly distributed for other types of CLC, most concentrated for CLC 2.4.3 located in the bottom of the Brda River valley.

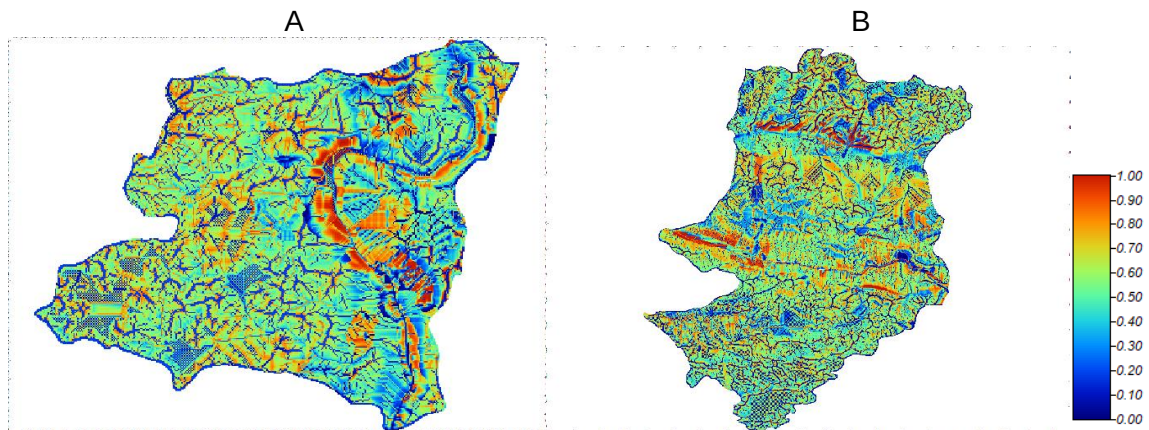


Fig. 4. Spatial differentiation of AUC values for Maximum Entropy Model in examined catchments: A – C1, B – C2.

For the C2 catchment, the spatial distribution of the model results indicates that the areas with $AUC > 0.9$ are fragmentary edge zone (southern) of the moraine plateau (type CLC 1.4.1), fragmentary edge zone (north) of the moraine plateau (type 2.4.3) and partly the edge zone (northern) moraine plateau covered by forest (type 3.1.1) (Fig. 4). The total area of the C2 catchment corresponding to the value of $AUC > 0.9$ is 2.56 km^2 . Areas with lower predictive power ($0.7 < AUC < 0.9$) are unevenly distributed for the remaining types of CLC, most concentrated within the narrow valley of the Brda River.

Conclusion. Based on the results of the conducted research on the assessment of the impact of the catchment area land cover on the prediction of the erosion process, using the Maximum Entropy Method, the following conclusions can be drawn:

1. The lithological, and hydrological characteristics of the catchment determine its erosion potential to a large extent. In the case of the studied catchments, the diversification of the terrain relief showed the highest predictive power in the model. Among the studied indicators, the MRN showed a positive correlation with the potential sources of sediment supply from the catchment. The impact of local morphological conditions of the catchment, which intense modify the sources of supply, transport paths, and deposition, should be taken into account.

2. The modeling results related to the types of CLC: 1.4.1, 2.3.1, 3.1.1, link with the local characteristics of the independent environmental variables (LSF, MRN, SPI, TWI) showed the highest predictive power, illustrated by the value of $AUC > 0.9$.

3. The conducted research showed the need to implement predictive models, including the Maximum Entropy Method, in the qualitative assessment of the erosion process and the circulation of sediments at the catchment scale. These tools can be successfully used to predict areas potentially exposed to denudation, considering the variable land cover, to determine the directions of anti-erosion protection in the catchment. It is a tool for sustainable sediment management in the catchment.

References

1. *Amiri, F.* Estimate of erosion and sedimentation in semi-arid basin using empirical models of erosion potential within a geographic information system. *Air Soil and Water Res.* 2010, 3, 37.
2. *Bosino, A.; Giordani, P.; Quénéhervé, G.; Maerker, M.* Assessment of calanchi and rill–interrill erosion susceptibilities using terrain analysis and geostochastics: A case study in the Oltrepo Pavese, Northern Apennines, Italy. *Earth Surf. Process. Landf.* 2020, 45, 3025–3041.
3. *Bosino, A.; Szatten, D.; Omran, A.; Crema, S.; Crozi, M.; Becker, R.; Bettoni, M.; Schillaci, C.; Maerker, M.* Assessment of suspended sediment dynamics in a small ungauged badland catchment in the Northern Apennines (Italy) using an in-situ laser diffraction method, *Catena* 2022, 209 (1), 105796.
4. *Brzezińska, M.; Szatten, D.; Babiński, Z.* Prediction of Erosion-Prone Areas in the Catchments of Big Lowland Rivers: Implementation of Maximum Entropy Modelling—Using the Example of the Lower Vistula River (Poland). *Remote Sensing* 2021, 13(23), 4775.
5. *Conrad, O.; Bechtel, B.; Bock, M.; Dietrich, H.; Fischer, E.; Gerlitz, L.; Wehberg, J.; Wichmann, V.; Böhner, J.* System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.* 2015, 8, 1991–2007.
6. *Galon, R.* Morfologia doliny i sandru Brdy. *Stud. Soc. Scient. Tor.* 1953, C, 1–6.
7. *Guerra, A.J.T.; Fullen, M.A.; Jorge, M.D.C.O.; Bezerra, J.F.R.; Shokr, M.S.* Slope processes, mass movement and soil erosion: A review. *Pedosphere* 2017, 27, 27–41.
8. *Heymann, Y.; Steenmans, C.; Croisille, G.; Bossard, M.* CORINE Land Cover. Technical Guide; Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg, 1994; p. 136.
9. *Hosmer, D.W.; Lemeshow, S.* Applied Logistic Regression, 3rd ed.; Wiley: New York, NY, USA, 2000; p. 528.
10. *Kornejady, A.; Ownegh, M.; Bahremand, A.* Landslide susceptibility assessment using maximum entropy model with two different data sampling methods. *Catena* 2017, 152, 144–162.
11. Map of the Polish Hydrographic Division; Department of Hydrography and Morphology of River Channels Institute of Meteorology and Water Management. 2007. Available online: <http://mapa.kzgw.gov.pl/> (accessed on 10 December 2016).
12. *Marchi, L.; Fontana, G.D.* GIS morphometric indicators for the analysis of sediment dynamics in mountain basins. *Environ. Geol.* 2005, 48, 218–228.
13. *Melton, M.A.*, 1965. The Geomorphic and Paleoclimatic Significance of Alluvial Deposits in Southern Arizona. *J. Geol.* 73, 1–38.
14. *Merritt, W.; Letcher, R.; Jakeman, A.J.* A review of erosion and sediment transport models. *Environ. Model. Softw.* 2003, 18, 761–799.
15. *Moore, I.D.; Grayson, R.B.; Ladson, A.R.* Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrol. Process.* 1991, 5, 3–30.
16. *Phillips, S.J.; Anderson, R.P.; Schapire, R.E.* Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 2006, 190, 231–259.
17. *Phillips, S.J.; Dudik, M.* Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 2008, 31, 161–175.
18. *Pournader, M.; Ahmadi, H.; Feiznia, S.; Karimi, H.; Peirovan, H.R.* Spatial prediction of soil erosion susceptibility: An evaluation of the maximum entropy model. *Earth Sci. Inform.* 2018, 11, 389–401.
19. *Planchon, O.; Darboux, F.*, 2002. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. *Catena.* 46, 159–176.
20. *Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; McCool, D.K.; Yoder, D.C.* Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE); U.S. Department of Agriculture: Washington, DC, USA, 1997; Volume 703, p. 407.
21. *Saha, S.; Gayen, A.; Pourghasemi, H.R.; Tiefenbacher, J.P.* Identification of soil erosion-susceptible areas using fuzzy logic and analytical hierarchy process modeling in an agricultural watershed of Burdwan district, India. *Environ. Earth Sci.* 2019, 78, 649.
22. *Siriwardena, L.; Finlayson, B.L.; McMahon, T.A.* The impact of land use change on catchment hydrology in large catchment: The Comet River, Central Queensland, Australia. *J. Hydrol.* 2006, 326, 199–214.
23. *Solon, J.; Borzyszkowski, J.; Biedasik, M.; Richling, A.; Badora, K.; Balon, J.; Brzezińska-Wójcik, T.; Chabudziński, Ł.; Dobrowolski, J.; Grzegorzczak, I.; Jodłowski, M.; Kistowski, M.; Kot, R.; Krąż, P.; Lechnio, J.; Macias, A.; Majchrowska, A.; Malinowska, E.; Migoń, P.; Myga-Piątek, U.; Nita, J.*

Papińska, E.; Rodzik, J.; Strzyż, M.; Terpiłowski, S.; Ziśka, W. Psysico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geographia Polonica* 2018, 91(2), 143-170.

24. Sørensen, R.; Zinko, U.; Seibert, J. On the calculation of the topographic wetness index: Evaluation of different methods based on field observations. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. Eur. Geosci. Union* 2005, 2, 1807–1834.

25. Szatten, D. Wpływ zabudowy hydrotechnicznej na występowanie ekstremalnych stanów wody na przykładzie Brdy skanalizowanej. *Inżynieria Ekol.* 2016, 46, 55–60.

26. Szatten, D. Cascade-Dammed Rivers and Flood Phenomena - an Example of Inland Waterway in Bydgoszcz. *Wasserwirtschaft* 2022, 112(S1), 32-33.

27. Szatten, D.; Habel, M.; Pellegrini, L.; Maerker, M. Assessment of Siltation Processes of the Koronowski Reservoir in the Northern Polish Lowland Based on Bathymetry and Empirical Formulas. *Water* 2018, 10, 1681.

28. Szatten, D.; Więclaw, M. Solar Climate Features Taking into Account the Morphometric Conditions of the Area and the Possibility of Using Them in Heliotherapy on the Example of the Cieplce and Kołobrzeg Health Resorts (Poland). *Atmosphere* 2021, 12, 383.

29. Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. In *Agriculture Handbook No. 537*; USDA: Washington, DC, USA, 1978; p. 66. Available online: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF> (accessed on 7 November 2018).

Функціональні значення просторового аналізу в оцінці впливу ґрунтового покриття на прогнозування процесу ерозії

Сжаттен Д., Герман О., Тенговська Н.

Ерозія — це процес, що формує земну поверхню, відповідальний за надходження наносів до річкової системи. Виявлення зон, вразливих до ерозії, є критичним елементом управління наносами у водозбірному басейні, що дозволяє оцінити ступінь їх деградації. Дослідження ґрунтувалося на використанні просторових даних, цифрової моделі рельєфу (DTM) і Corine Land Cover (CLC) на прикладі двох водозбірних басейнів, розташованих на нижній течії річки Брда. Основною метою дослідження було оцінити вплив ґрунтового покриття на просторове прогнозування процесу ерозії в масштабі водозбору. Метод максимальної ентропії використовувався для визначення розподілу просторової ймовірності змінних навколишнього середовища, пов'язаних з процесом ерозії. Результати показали найбільшу прогностичну дію особливостей навколишнього середовища, пов'язаних з рельєфом, та з конкретними типами ґрунтового покриття. Прогностичні моделі можна успішно використовувати для прогнозування територій, потенційно схильних до ерозії.

Ключові слова: ерозія; модель максимальної ентропії; передбачення, модель ґрунтового покриття (CLC); просторовий аналіз; водозбір річки Брда.

Надійшла до редколегії 17.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.4.3>

UDC 556.537

Bonheur M. N.^{1*}, Harmel O. O.¹, Christian T.^{1, 2}, Dieudonne M. N. G.¹, Bernard M.¹

¹ Higher National Polytechnic School, Marien N Gouabi University, Brazzaville, Congo

² Higher Teacher's Training School, Marien Ngouabi University, Brazzaville, Congo

WATER EROSION POTENTIAL OF THE CONGO RIVER IN THE STANLEY-POOL BAY

In this paper, a scientific study on the understanding of the erosion and transfer processes of suspended solids or sediments from the Congo River into the Stanley-Pool Bay was conducted. For this purpose, a treatment of rainfall data over three decades (1990-2020), parameters influencing the process of erosive dynamics leading to the realization of the water erosion map using the Universal Soil Loss Equation (USLE), was done. Using open access spatial data and GIS, this USLE model allowed quantifying the rate of material transported over the three decades: a spatialization of erosion risks on the right bank of the Congo River, notably in the Stanley-Pool Bay, a topography dominated by steep slopes up to 10%, a high erosivity and erodibility and a low soil protection were revealed.

Finally, the results of the study show that about 40% of the study area is subject to soil loss. The erosion risk is very severe despite the vegetation cover.

Key words: Solid transport, sediments, modelling, models, Stanley Pool, Congo River.

Introduction. The Congo River is the longest river in Africa (4,700 km) after the Nile, the second longest in the world after the Amazon in terms of flow (41,000 m³s⁻¹) and has a basin area of 3.7 million km² at its mouth. It serves as a border in its upper part between the Republic

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2022. № 4 (66)

of Congo (Brazzaville side) and the Democratic Republic of Congo (Kinshasa side) and in its lower part between Angola and the Democratic Republic of Congo (Boma and Matadi) in Bas-Congo. Understanding how it works is therefore crucial in the 21st century when water is a major issue for Africa.

Despite the proliferation of agreements and conventions on the environment (RIO+20 in Brazil), it is difficult, especially for African countries, to follow up on the implementation of the decisions of these conventions at the local level; for example, the desilting of large basins such as the Congo River basin.

Upstream of the two capital cities of the Republic of Congo and the Democratic Republic of Congo, Brazzaville and Kinshasa, lies the Stanley Pool (Mbamou Island), a vast depression 21.4 km long and 12.6 km wide on average, marked in the dry season (from June to August, sometimes until September depending on the year) by imposing sandbanks. Recent scientific hypotheses in the field also highlight the accentuation of erosion problems of an anthropic nature that affect the slopes and banks around the Stanley Pool and in the vicinity of Brazzaville. These problems considerably aggravate the silting up of the navigation channels of the Brazzaville River Port.

Numerous studies carried out at the Stanley Pool in Brazzaville and other scientific documents have shown that the Congo River is increasingly experiencing, in the middle part of its course, active sedimentation due to a significant transport of suspended matter, the volume of which seriously disrupts, in the dry season, port activities at the level of the Ubangi and also at the level of Brazzaville in the bay of the Stanley Pool, and more specifically at the Autonomous Port of Brazzaville. Studies have revealed that river navigation on the Ubangi River has become almost impossible for more than 200 days per year since 2002 due to a longer annual low water period.

In Brazzaville, in the Stanley Pool, at the Autonomous Port, since the extension works undertaken in 1975, this port has been confronted with the problems of sediment deposits (imposing sandbanks) like those of the Oubangui, thus disrupting its river traffic, the only means of transporting people and goods to connect the cities and countries drained by this vast hydrographic network (the Congo River basin). Indeed, solutions must be found because the economic, social and cultural impacts on the local activities of the Port, but also on the hydric and biological balance of the Congo River, are very considerable. Water and soil are a necessary capital for human beings. Soil is a resource that renews itself very slowly (even on a millennial scale) and in semi-arid areas the soil is washed away by water, this is called water erosion [1]. The combined action of rain and runoff sometimes leads to irreversible soil loss, and water erosion is considered one of the causes of soil degradation [2]. On the right bank of the Congo River, for several years silting has disrupted port activity and caused economic disruption. Until now, the Maintenance Joint Service of Waterways of the Autonomous Port of Brazzaville has been dredging in some places to temporarily facilitate traffic.

With a view to finding sustainable solutions, several studies have been carried out: the quantification of matter in the Congo River by Spronck [3], the first to quantify matter in solution (82mg/l), i.e. an export of 106×10^6 tons/year. Symoens [4] quantified the transport of dissolved mineral substances on an annual basis at 46.5×10^6 tons/year in 1968, then 35.5×10^6 tons/year in 1980. In order to refine certain results, during a five-year period (1987 to 1992), the solid and dissolved matter transport of the Congo River was measured monthly at the surface, making it possible to evaluate the solid flow of the river [5]. During this study period, the Congo River had a flow of 37700 m³/s, allowing an average export of 91.8×10^6 tons of material distributed as 7.9×10^6 tons of dissolved matter (DM). The 12% of TSS is made up of particulate organic matter (POM) and 29.5% of dissolved matter (DM). The rest of the load corresponds respectively to particulate mineral matter (88% of TSS) and dissolved matter (70.5% of DM). Compared to the world's major rivers, this interannual average concentration of these transports (76.2 mg/l) is low. Laraque and al. [6] estimate that in this year the Congo River transported 26.3 ton/km²/year with an average runoff of 120 mm [7] and a liquid flow of 41,700 m³/s [8]. The total distribution of this solid transport at the main station of Brazzaville, which controls more than 95% of the total basin area, shows that 30.6×10^6 tons of solids are transported per year. All assessments made on the Congo River at the Stanley Pool were made in a global and sporadic way. Kinga-Mouzeo [9], reiterating earlier results, estimates that the average annual tonnage of suspended exports is 40.56×10^6 tons. Molinier [10] carried out a series of monthly samples from

January 1978 to February 1979. At the same time he tried to diversify the sampling points on the measurement sections. The results of his work are very interesting since they show that the values of the contributions in suspension vary in a significant way between the surface and the bottom, contrary to the dissolved contributions which are approximately identical along a vertical.

Several studies are being conducted to solve this problem without taking into account the relationship between various phenomena, namely (i) water erosion which carries the material into the Congo River, (ii) the different materials transported by the river current according to three modes of transport, (iii) as well as the interaction between the minor bed which is the place of deposition of the suspended material which, when the flow velocity decreases in certain places, is deposited to form sandbanks, and the major bed which transports the material.

This study is a contribution to sustainable solutions for the silting problem in the Autonomous Port of Brazzaville. Using satellite data from the Djiri, Tsieme, Lifoula, la Lefini and BRAZZAVILLE stations, the study uses hydrological modelling (Fig. 1) to estimate the rate of material transported by the Congo River on the right bank over three decades (1990-2020).

MATERIALS AND METHODS

Presentation of the study area. The Congo Basin (Fig. 1), with a length of 4700 km, drains a watershed with a surface area of 3,700,000 km² covering a large part of Central Africa, with a high density hydrographic network and a slope of about 0.033% allowing water runoff.

Several projects have been initiated to understand the hydrological, hydrogeological and hydroclimatic functioning of the Congo Basin [11]. The Stanley Pool at its entrance constitutes a control threshold for the Maluku limnometric station.

At this point in the river, the flow undergoes a variation due to the widening of the straight section of the river. A second natural sill can be observed at the exit of the rapids which controls the scales of the Brazzaville Beach. The surroundings of the Stanley Pool are very permeable to water infiltration, thus characterizing the rich potential of the groundwater in the vicinity of the Stanley Pool; the increasing distribution of clays from the mainland to the river increases a decrease in the permeability of the soil in the vicinity of the Stanley Pool. In the area around the Stanley Pool, where the slab is absent, the sandy plateau and the Stanley Pool sandstone form a thick, permeable mass, which is favorable to the deep infiltration of rainwater.

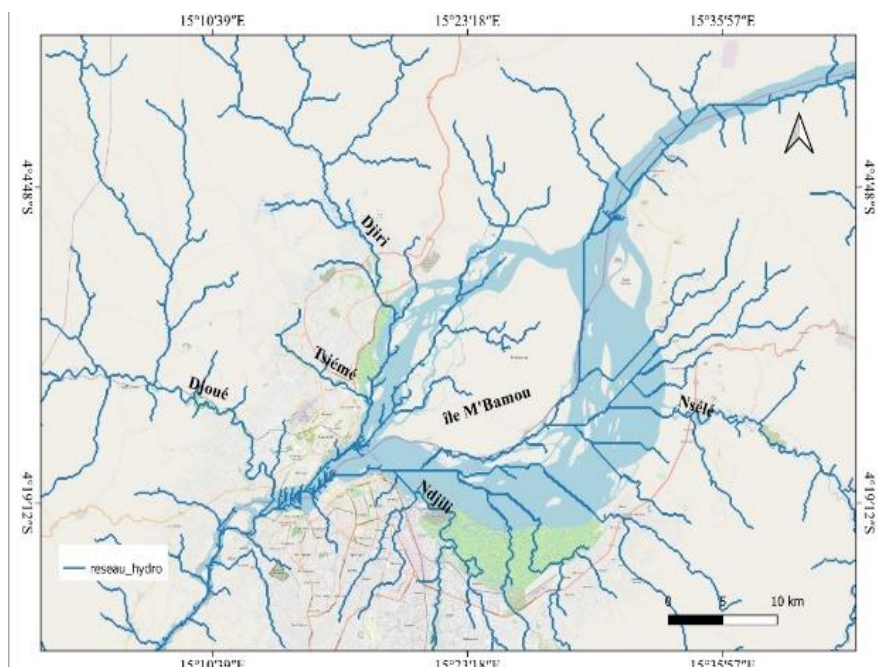


Fig. 1. Hydrographic network of the study area

Materials: data and software used. The data (Table 1) are processed in a multi software platform (Arc Gis 10.4.1 and MS Excel 2010), in order to elaborate a very rich database allowing the manipulation, the update of these data, as well as the visualization.

Table 1. Data and software used

N°	Documents and download platforms Software	Logiciels
1	Digital Terrain Model, Image Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) of 30 m resolution of 2014 Obtained from the website : http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp .	Arcgis 10.4.1. MS
2	Carte numérique du sol du monde « Digital soil maps of the world (DSMW), Obtained from the website: http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116	
3	LANDSAT 8 OLI satellite image of 14/08/2019 with 30 m resolution Precipitation recorded at the Brazzaville station between 1990 and 2020 Obtained from the website: https://gis.ncdc.noaa.gov/maps/ncei/cdo/alltimes	Excel 2010

Presentation of the model. Erosion is a multiplicative function of rainfall erosivity (the R-factor which is the potential energy) multiplied by the resistance of the environment, which includes the K-factor (soil erodibility), LS (the topographical factor), C (the vegetation cover and cultivation practices), P (takes into account the anti-erosion practices) These different factors control: climatic aggressiveness, soil erodibility, slope inclination and length, land use and erosion control practices [12 , 13]:

$$A = R \times LS \times K \times C \times P, \quad (1)$$

where: A is the annual rate of soil loss in ton/ha/year, R is the rainfall erosivity factor, K is the soil erodibility, LS is a dimensionless factor representing slope (S in %) and slope length (L in m), C is a dimensionless factor representing the effect of vegetation cover, P is also a dimensionless factor that accounts for erosion control techniques such as contour ploughing.

RESULTS

R-factor. The R-factor (Erosivity in ton/ha/year) is calculated as follows:

$$R = 0.5 \times P \times 1.73 \quad (2)$$

With: P : Annual precipitation in (mm). Using average annual precipitation in (mm) from different regions in and around the study area.

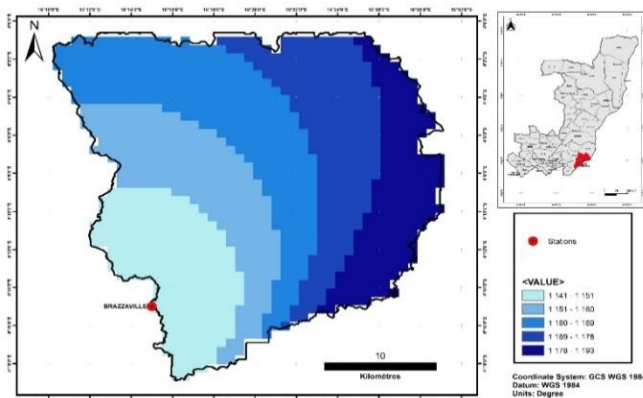


Fig. 2. Rerosivity factor Map

Soil erodibility factor K. The soil erodibility factor K expresses the sensitivity of the soil to water erosion. We evaluated the K index of the different soil types using the equations of WILLIAMS [15] and using the Digital Soil Map of the World (DSMW). Processing this map in ArcGis gave us the rates of different soil types; sand, clay, silt and organic matter. The soil erodibility factor was calculated by the formula of WILLIAMS [15]:

$$FACTORK = f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{orgC} \times f_{hisand}, \quad (3)$$

where: f_{csand} : is a factor that lowers indicator K in soils with high coarse sand content and higher for soils with some sand, f_{cl-si} : gives low soil erosion factors for soils with high rates of silt clay, f_{orgC} : reduces K values in soils with high organic carbon content, f_{hisand} : lowers the K -values for soils with extremely high sand content.

These three equations allowed the calculation of the K-factor, the results are represented. The calculated K values were interpolated using an IDW interpolation method on ArcGIS 10.4.1. The values of the K index in the study area (Fig. 3) range from 0 to 0.1, showing the fragility of the soils susceptible to erosion. The map obtained shows that more than half of the study area represents a high erodibility than the others. The rest of the area has relatively low values of the soil class showing almost no erodibility caused by the forest reserve.

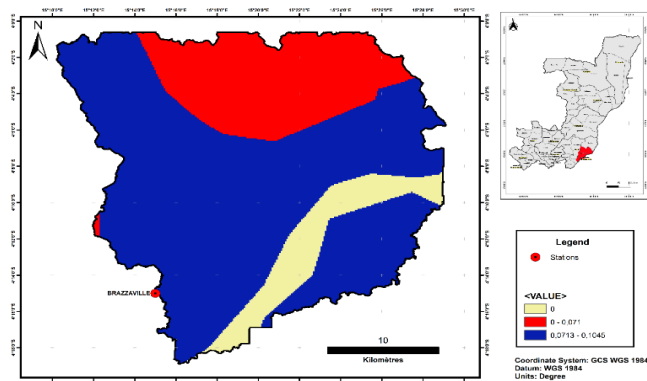


Fig. 3. Erodibility factor Map K

Topographic factor LS. The topographic factor combines the effects of slope length (L) and slope steepness (S) on erosion. These two factors are calculated from the digital terrain model in Arcmap (Eq.4).

$$LS = \left[0.065 + 0.0456 \times (\text{slope}) + 0.006541 \times (\text{slope})^2 \right] \times \left(\frac{\text{slope length}}{\text{constant}} \right)^{NN}, \quad (4)$$

where: Slope = slope inclination (%), Slope length (m), Constant = 22.1 in Sys. Metric (72.5 in Imperial units), NN: see Table 2.

Table 2 : NN Values

Slope	< 1	1 ≤ slope < 3	3 ≤ slope < 5	≥ 5
NN	0,2	0,3	0,4	0,5

The LS factor represents a ratio of soil loss under given conditions, the higher the slope, the greater the risk of erosion. In fact, upstream of the right branch of the Stanley Pool, the slope varies up to 0.1. At these locations, the risk of erosion is very noticeable (Fig. 4).

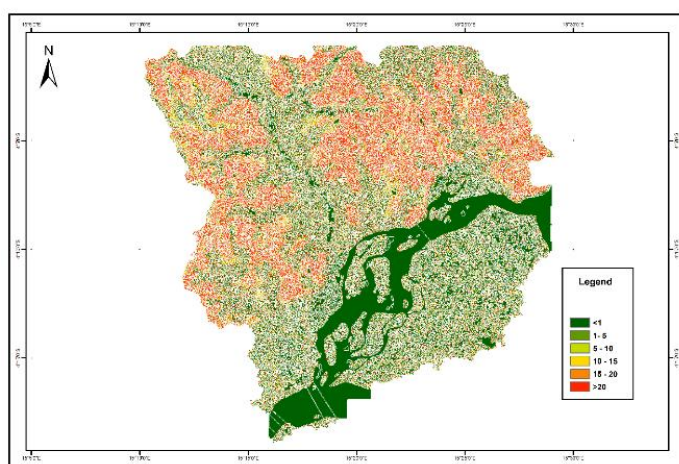


Fig. 4. Topographic factor map LS

Vegetation cover factor C. Vegetation represents the effects of plants, soil cover, soil biomass and soil destructive activities in erosion processes. The determination of this factor is developed from the mapping of vegetation density on a satellite image (LC08 Landsat 8 OLI of 14/08/2019 of 30 m resolution), the latter was analyzed on the Arcgis software platform (version

10.4.1) by calculating the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Afterwards, we used equation (9) of Van der Knijff et al., [16]:

$$\text{Factor } C = \exp\left(\frac{2 - \text{NDVI}}{1 - \text{NDVI}}\right) \quad (5)$$

The C-factor map, presented in Fig. 5, shows variant values between 0.407 and 1.097. These results show that these values correspond to a better protection of the soils and are favorable for forest formations where anthropic activities are low.

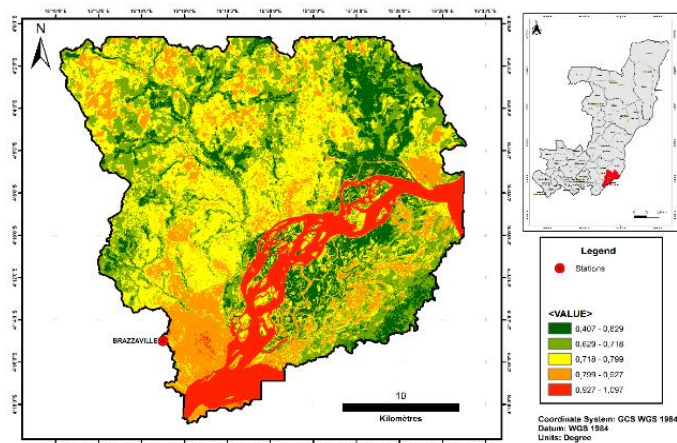


Fig. 5. Vegetation cover factor
Map

Factor of anti-erosion practices P. In the case of the watershed, there are some anti-erosion practices. Thus the factor P, referring to the reality of the field thanks to satellite images and the map in Fig. 6, has been assumed to be equal to 0.8. This map (Fig. 6) shows that about 60% of the study area is relatively protected while the rest is exposed to very high water erosion risks.

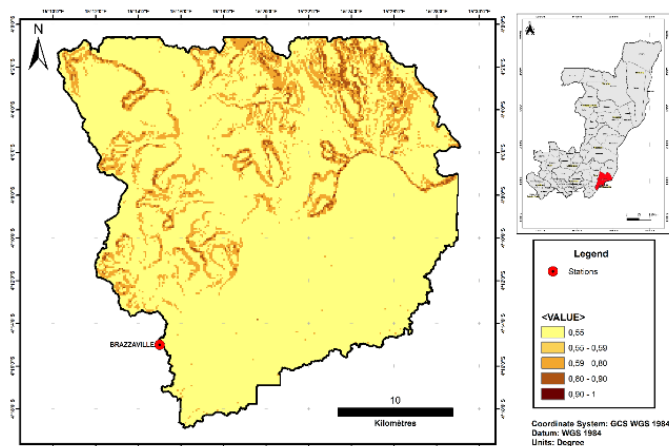


Fig. 6. Map of erosion control practices

Water erosion rates. The multiplication of the different USLE parameters under ArcGis software is given by:

$$\text{Water erosion rate} = R \text{ factor} \times K \text{ factor} \times LS \text{ factor} \times C \text{ factor} \times P \text{ factor} . \quad (6)$$

The simulation yielded the erosion risk map (Fig. 7), informing on the erosion potential in t/ha/year per spatial unit (DTM pixel) at a few points of the watershed with values ranging from 0 to 1381 tons/hectares/year. This map shows a clear spatial variability of water erosion risks within the study area. The right branch of the Congo River, which is a final spillway of the hydrographic network of the city of Brazzaville, is one of the causes.

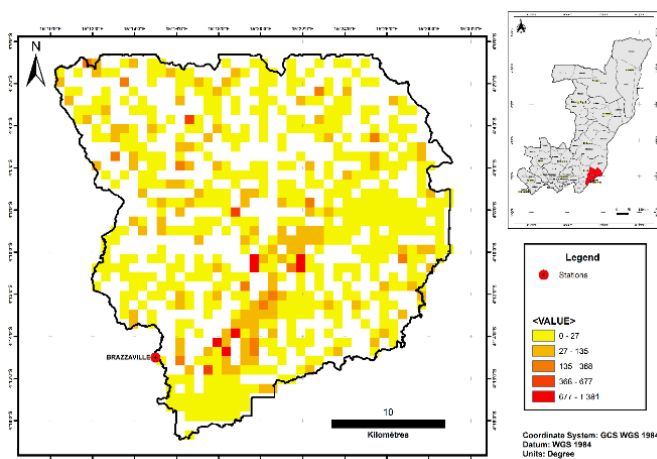


Fig. 7. Soil loss map in (tons/ha/year) in the Watershed

Conclusion. This study is based on the use of open access spatial data and GIS for a spatialization of erosion risks on the right bank of the Congo River, particularly in the Stanley-Pool bay which is the study area. It showed that in this area of the Congo River, the topography is dominated by steep slopes up to 10%, the erosivity is high, the erodibility is high and the soil protection is low. In addition, the existence of an urban and agricultural area in the steep slope zone accentuates the risk of erosion at this location. The results of this study show that approximately 40% of the area is subject to soil loss. The risk of erosion is very severe despite the vegetation cover.

The good management of the hydrographic network, the methods of soil survey by the installation of grass strips are better adapted to face the risk of erosion in this zone, the afforestation of the zones with weak vegetation cover and the support of the efforts undertaken by the population will make it possible to protect in a durable way this territory.

The use of the USLE model, GIS techniques and open access multi-source data can be applied at a reasonable cost to map the risk of erosion at the territorial scale, the analysis of the variability of erosion intensity and the identification of priority areas for soil conservation in the Republic of Congo.

References

1. Elbouqdaoui K., Ezzine H., Badrahoui M., Rouchdi M., Zahraoui M., Ozer A., 2005, Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc)
2. Ben Slimen Abir, 2013. Rôle de l'érosion ravinatoire dans l'envasement des retenues collinaires dans la Dorsale Tunisienne et le Cap Bon. Thèse de doctorat, présentée au centre international d'études supérieures en sciences agronomiques, Montpellier Sup Agro et à l'institut agronomique de Tunisie.
3. Spronck R., 1941, Mesures hydrologiques dans la région divergente du bief maritime du fleuve Congo, Mém. Inst. Roy. Coll. Belge, Sect. Sci. Techn. Coll. 3(1), 3-56.
4. Symoens J. J., 1968, La minéralisation des eaux naturelles, résultats scientifiques, Explo. Hydrobiol. Bassin du Lac Bangwelo et du Luapula, Bruxelles (1).
5. Alain Laraque, Jean Pierre Bricquet, Jean Claude Olivry, & Berthelo M., 1995, Transports solides et dissous du fleuve Congo (bilan de six années d'observations), Grands Bassins Fluviaux, Paris, 22-24 novembre 1993.
6. Alain Laraque, J. C. Olivry J.C., 1996, Evolution de l'hydrologie du Congo-Zaïre et de ses tributaires rive droite et dynamique de ses transports solides et dissous, hydrologie tropicale, géosciences et outils pour le développement, Proc. From the Paris, conference, mai, 1995. Pub. IAHS (238), 271-288.
7. Bricquet J. P., 1990, Régime et bilan hydrologique de l'Afrique Centrale. In : Paysages quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique, R. Lanfranchi et D. Schwartz Ed. Publi. ORSTOM-Collection Didactique. Paris p.42-51.
8. Noel Mokolo, Alain Laraque, Jean Claude Olivry et Jean Pierre Bricquet, 1993, Transport en solution et en suspension pour le fleuve Congo (Zaire) et ses principaux affluents de la rive droite, Hydrological Sciences- journal des sciences hydrologiques, 38, 2, 4.
9. Kinga Mouzéo, 1986, Transport particulaire actuel du fleuve Congo et quelques affluents, thèse Doc, Univ, Perpignon.

10. M. Molinier, 1979, Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville, Cahier ORSTOM, Ser, Hydrol, XVI (1), 55-66.
11. Jean Claude Olivry, J. Pierre, Bricquet, J. Pierre Thiebaut et., Nkamdjou Sigha, 1988, Transport de matière sur les grands fleuves des régions intertropicales : les premiers résultats des mesures de flux particulières sur le bassin du fleuve Congo, Sediment Budgets, IAHS Publ, 174, p, 509-521.
12. R.P. Stone et D. Holborn, 2000. Équation universelle des pertes en terre (USLE).
13. Kempena A, Guardado R.L, Bilembi D, 2015, Estimating Soil Loss by Water Erosion in the Micro watersheds of Brazzaville City.
14. Miloud Koussa & Mohamed-Tewfik Bouziane, 2018, Apport de SIG a la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans le bassin versant de Beni Haroun, Mila, Algérie.
15. Williams J.R. 1995: the topic model in vp singh (ed) computer models of watershed hydrology. Water resource publications. P. 909 - 1000, 1995
16. J.M. van der Knijff, R.J.A. Jones, L. Montanarella., 1999 : soil Erosion risk assessment in Italy, 1999, European commission directorate general JRC Joint Research Centre Space Applications Institute European Soil Bureau

Потенціал водної ерозії річки Конго в затоці Стенлі-пул

Бонер М.Н., Гармель О.О., Крістіан Т., Дьєдонн М.Н.Г., Бернар М.

У цій статті проведено наукове дослідження розуміння процесів ерозії та перенесення завислих твердих речовин або осадів із річки Конго в затоку Стенлі-Пул. З цією метою було виконано обробку даних про кількість опадів за три десятиліття (1990-2020), параметрів, які впливають на процес ерозійної динаміки, що обумовило створення карти водної ерозії за допомогою універсального рівняння втрат ґрунту (USLE). Використовуючи просторові дані відкритого доступу та ГІС, ця модель USLE дозволила кількісно визначити швидкість транспортування матеріалу протягом трьох десятиліть: розподіл ризиків ерозії на правому березі річки Конго, зокрема в затоці Стенлі-Пул, в рельєфі якої переважають круті схили до 10%, виявлено високу ерозійність та еродованість та низьку ґрунтозахищеність.

Нарешті, результати дослідження показують, що близько 40% досліджуваної території піддається втраті ґрунту. Ризик ерозії є дуже великим, незважаючи на наявність рослинного покриву.

Ключові слова: перенос твердих речовин, відкладення, моделювання, моделі, басейн Стенлі, річка Конго.

Надійшла до редколегії 19.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.4.4>

UDC 556.532.5:519.8

Tunio I. A.

Irrigation Department, Government of Sindh. Pakistan

APPLICATION OF HEC-RAS MODEL TO ANALYZE OF SEDIMENT TRANSPORT DYNAMIC PRE AND POST CONSTRUCTION OF FALL STRUCTURES AT LOWER NARA CANAL OFF-TAKING FROM UPPER NARA CANAL, SUKKUR BARRAGE, INDUS RIVER, SINDH, PAKISTAN

This paper presents the research study using the HEC-RAS model to evaluate sediment dynamic problems in lower Nara canal pre and post-construction of fall structures at RD-77 and 101 respectively which is a major tributary of upper Nara canal that off-takes from Sukkur barrage on the left bank of Indus River. As a result, the hydraulic model has computed longitudinal and cross-section, velocity, water surface profiles, and sedimentation dynamics. Sediment transportation without fall structure is aggradation (5.75 ft and degradation (4.50 ft) and with fall structure aggradation (4.25 ft) and degradation (2.75 ft) respectively. Sediment transportation without fall structure is aggradation 500,000 tons and degradation 225,000 tons and with fall structure aggradation 155,000 tons and degradation 125,000 tons. Sediment transportation without fall structure is degradation 600,000 tons and with fall structure is aggradation 110,000 Tons and degradation 165,000 Tons. Sediment transportation without fall structure is aggradation 1,750,000 Tons and with fall structure is aggradation 1,300,000 Tons. Hence the results of the model revealed that aggradation at u/s and degradation at d/s of fall structures that is a true representation of the behavior of fall structures. Whereas, the section is wider than aggradation occurred and degradation is experienced in narrow sections in both scenarios (with and without fall structures). The positive impact of constructed fall structures was analyzed on the morphology of the canal. Hence, the construction of fall structures are essential at the change of country/steeper slope to avoid unnecessary erosion.

Key words: HEC-RAS model, lower Nara canal, Indus River, fall structure, sediment transportation, aggradation degradation.

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2022. № 4 (66)**

Introduction. Large Rivers of World have been receiving Average suspended load annually, Amazon (1200 MT), Huanghe (Yellow) (1080 MT), Ganga-Brahmaputra (1060 MT), Changjiang (Yangtze) 480 MT, Mississippi, 400 MT, Irrawaddy, 260 MT. Indus, 259 MT with delta 29524 km². Indus River receives sediment Load material from two origins: catchment and its banks and bed. It changes behavior and location with temporal, spatial varying channel dimension and pattern and frequently flooding. Morphology of Indus braided with high to low meanders, Reach of the river, where Sukkur barrage is located, has great variability of sediment. Prior to construction of barrages and dams the annual sediment load ranged from 270 to 600 MT (Kimani,1993). Estimated Heavy Sediment load is about 200 MT per year in Tarbela reservoir. And about average 330 MT at Kotri d/s of Sukkur barrage (Karim, A. et al.,2000). Average annual sediment load in the Indus River at Sukkur was 360 MT during 1902 to 1960. Average Sediment Load 0.715 MT per day, Thus approximately 260 MT per Year (Feasibility of Study Sukkur, 2006). Rivers are affected by natural and human factors; rivers usually undergo severe erosion on bed or banks, sedimentation and sectional movements. These factors caused dramatic changes to rivers in long run leading to what is known as geomorphological changes. One of the key topics in river engineering is to investigate river morphology that describes the river geometry, bed shape and longitudinal profile, cross-sections and changes of river shape (Van Rijn, L.C., 1993, Graf, W.H., 1984). Sediment deposition is a culprit in the slow reduction of aquatic habitats and increased water velocity, which changes the morphology of rivers (Ehteram, Ghotbi et al. 2019)

Silting of reservoirs and rivers is another important aspect of sediment transport, the storage capacity of reservoir is reduced by its silting, thereby, reducing its use and life. The design and execution of a flood control is chiefly governed by the peak flood levels, which in turn, depends on the scour and deposition of sediment. Firstly, the bed levels may change by direct scouring or deposition of sediment; and thereby changing the flood levels. Secondly, the scouring and silting on the river banks may create sharp and irregular curves, which increase the flow resistance of the channel, and thereby, raising the flood levels for the same discharge. The phenomenon of sediment transport causes large scale scouring and siltation of irrigation canals, thereby increasing their maintenance. Many poorly designed artificial channels get silted up so badly, then they soon become inoperable, causing huge economic loss to the public exchequer. The artificial channels should, therefore, be properly designed, and should not fail to carry the sediment load admitted at the canal head works. Sediment transport, thus, poses numerous problems, and is a subject of great importance, and possesses enough potential for further research and development. The sediment in a canal is a burden to be borne by the flowing water, and is therefore designated as sediment load. The sediment may move in water either as bed load or as suspended load. Bed load is that in which the sediment moves along the bed with occasional jump into the channel. While, the suspended is the one in which the material is maintained in suspension due to the turbulence of the flowing water (Santosh,2007).

Lane's principle provide visual approach to the interaction b/w the main variables of a river/canal water discharge, slope, and sediment load and sediment size. In this simplified qualitative the river tries to achieve its dynamic equilibrium by adjusting these four main variables. When reduction in water discharge (due to diversion, the river/canal will try to restore its equilibrium by depositing the excess of sediment load (aggradation) Lance's Balance (Raudikivi, 1993).

The sediment particles' movement incorporates two key dred transport modes, bed and suspended load. The bed load which moves very near to the bed is of main concern. The sediment is transported by flowing water and/or it slides along the bed or bounces instantly over the bed. The bed load transport is accumulated when there is low velocity with stream heavier grain sizes. While suspended load occur more at higher stream smaller/lighter grain size moves along the bed and are kept in suspension with moving water (Susana, et al., 2011).

Sediment transport capabilities have been added to the Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS). HEC-RAS can be used to perform sediment routing and mobile bed computations. The existing in HEC-RAS to compute a series of steady flow

profiles used to develop hydrodynamic parameters for sediment transport. The result is a continuous simulation of the change in cross sections as sedimentation processes adjust to the hydraulic conditions imposed by the inflowing water- sediment hydrograph and the base level control boundary conditions.

Sediment routing and mobile boundary simulations are commonly employed in support of various U. S. Army Corp's of Engineer missions. However, many of the core capabilities of HEC-6 have recently been incorporated into HEC- RAS, leveraging the robust, existing, hydrodynamic capabilities in RAS and providing helpful user interfaces for one dimensional sediment transport modeling. The study by Ghimire and De Vantier used a one-dimensional HEC-RAS numerical model integrated with Arc-GIS to develop a sediment deposition model at the Olmsted Locks and Dam area (Ghimire GR et al., 2016). When flow velocity increases gradually over a sedimentary bed, the motion of sediments occur if the bed shear stress (available shear stress) induced by the flow exceeds a certain critical value of shear stress (Ahmad et al., 2011). Flow regime is mainly impacted by interactions of diverse hydraulic and hydrodynamic forces. This leads to a dynamic river system and changing cross-sections due to periodic sedimentation and erosion (Delphi, M., et al., .2010)

Most of the canal network on Indus Basin Irrigation System (IBIS) is directly fed from rivers that may carry heavy sediment particles; heavy silt particles may settle down in canal beds which create serious operation and maintenance problems. Sediment flow in natural channels and rivers varies in several ways in irrigation canals. Though irrigation canals and river both are much similar at the same time there are also many variations such as the width ratio, sediments load, the hydraulics and dynamics (Galappatti, 1983). The design system of canals is adopted in such a way that most of sediment particles remain suspended and being distributed into off-taking canals to reach in irrigation fields. Despite this, these particles tend to settle down and become problem in canals' operation and maintenance. Thus, frequent canals' maintenance and de-siltation is required to keep the canal operational that cause an additional burden on national economy (Munir, 2011),

Nara Canal off-takes from left bank of Sukkur Barrage located on Indus River. This canal reaches its tail after traversing a distance of about 119 canal miles (595RDs) from its head regulator. The Jamrao Weir/Head Regulator controls the flows into the Lower Nara Canal. Two canals namely Jamrao Canal and Jamrao Twin Canal off-take from the right side, as well as the Ranto Canal (which also feeds Chotiari Reservoir) off-takes from the Nara Canal on the left side at the Jamrao canal (SIDA report 2015).

The bed load logically is dependent on the local properties of the channel so that the most of sediment discharge formulae predict bed-load discharge. The bed load formula was chosen mainly because the forecast of suspended sediment transport is more difficult. Most of the sediment discharge formulas predict bed and suspended load discharge, because bed load is logically dependent on the local properties of the channel. The prediction of suspended sediment transport is more difficult since the transport at any cross section depend on the balance between the particles in suspension and their deposition from suspension over a long up stream reach.

Irrigation canals receives high silt load directly from Indus River. Beside this, erosion in canal banks, scour bed as well as non-cohesive bed material further increase the problem. Design of canals' system is made to sustain and maintain regime conditions as most of sediment particles remain in suspension and being distributed into tertiary canals to reach in agricultural fields. Sediment particles tend to settle down in canals due to wider sections having low velocity which create severe silt deposition resulting to reduce the water carrying capacity system. Canal requires de-siltation to keep section capable for taking design discharge which is very costly. To analyze dynamic sedimentation behavior and morphological conditions of the Lower Nara Canal. To analyze dynamic sediment transport impact on Lower Nara Canal profile after construction of Fall structures at RD-77 and RD-101

Study Area and methodology of Using HEC-RAS Model. Study was carried out on Lower Nara canal which receive Water from main Nara canal which off-takes from Sukkur barrage on its left bank. Nara is the largest canal in Sindh, having length of 364 kilometers with its designed capacity of 13,602 cusecs. It behaves like a river and about two million acres of

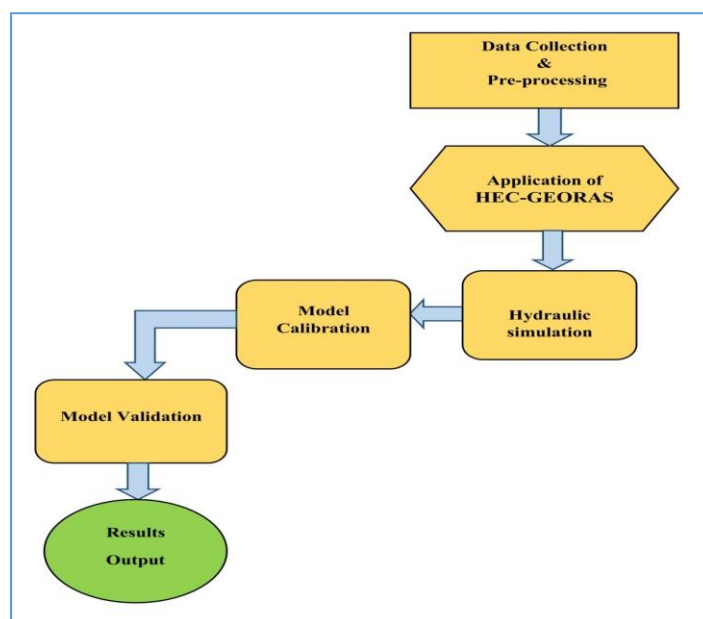


Fig.-2 Shows computing process for application of HEC-RAS Model

Input to the Model. Geometry Data: i) Design parameters of Hydraulic structures ii) longitudinal and cross-section survey of Canal. iii) Remotely sensed freely available Digital Surface Model (DEM) The Digital Surface Model (DEM) has been downward and Cross-section Longitudinal section has been digitized as project area (see fig.3).



Fig.3. Shows Canal Profile and L-Section of Lower Nara RD 01-165

Sediment Data: i) Initial conditions and Transport Parameters; ii) size distribution; iii) Gradation Curve.

The data of sediment samples taken from the canal reach with discharge including grain sizes of canal bed and D50 as shown in table 1.

Table1. Shows Discharge and sediment Concentration

Canal	Location	High Flow (July, 2014) Measurements Data				
		Sediment Concentration				
		Q	Clay	Silt	Sand	Total
	RD	Cusecs	ppm	ppm	ppm	ppm
lower Nara	8+200	6,043	252	764	168	1184

	Location	Low Flow (April, 2014) Measurements Data				
		Sediment Concentration				
		Q	Clay	Silt	Sand	Total
	(RD)	Cusecs	ppm	ppm	ppm	ppm
Lower Nara	8+200	2,882	41	303	166	510

Six different transport functions are currently available in RAS including Ackers and White (1973), Englund- Hansen (1967), Laursen (1958), Myer-Peter-Muller (1948), Toffaleti (1968), and Yang (1972). Total transport capacity is calculated by invoking the *similarity hypothesis* (Armanini, 1992 and Vanoni 1975 after Einstein, 1950) by dividing the sediment gradation curve into discrete size classes, independently computing a transport potential for each size class and then weighted by the relative abundance in the active layer.

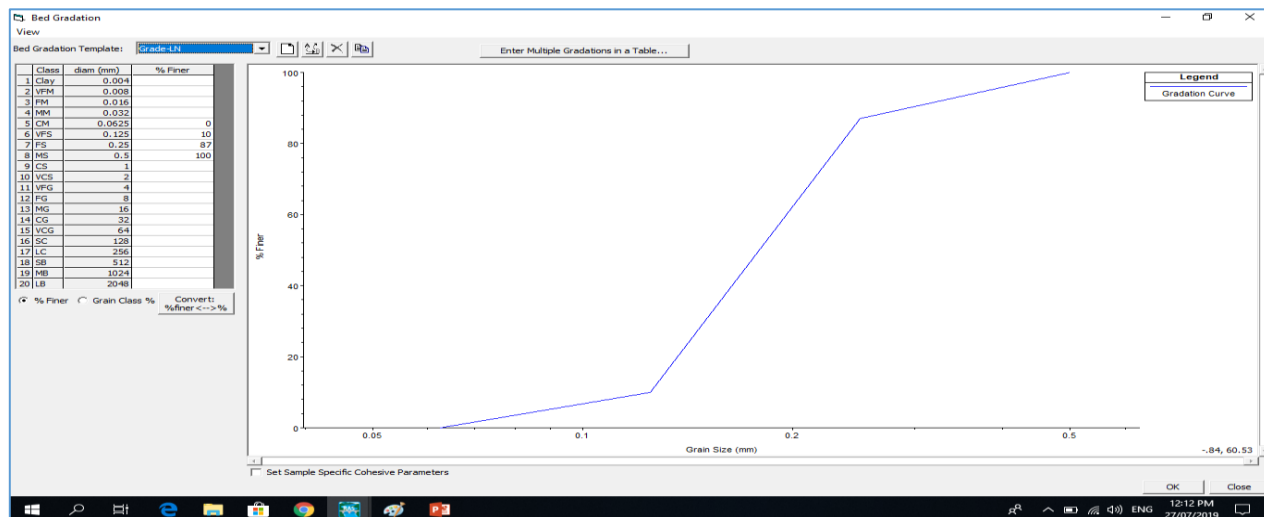


Fig. 4. Bed Material Gradation Curve

Boundary Conditions. i) U/s Condition (Flow Series) ii) D/s Condition (Normal Depth) and iii) Gate Openings. Flow specification for sediment transport computations currently follows the “quasi-steady” flow approach of HEC-RAS. An event or period of record is approximated by computing a series of steady flow profiles (Fig. 1). Each of these each steady flow profiles is then associated with a duration and transport parameters are generated at each crosssection. Usually, however, bathymetry updates are required more frequently than the flow increment duration, so a computational time step is specified. The geometry file is updated and new steady flow hydrodynamics are computed at the beginning of each computational time step.

Results and Discussion. The Geometry data, Hydraulic Data and Sediment Data have been given to HEC-RAS of Model for computing hydraulic and discharge parameters such as total discharge maximum and minimum velocity water surface elevation flow width and Froude No. (see Fig.6) and Model has computed sediment transport.

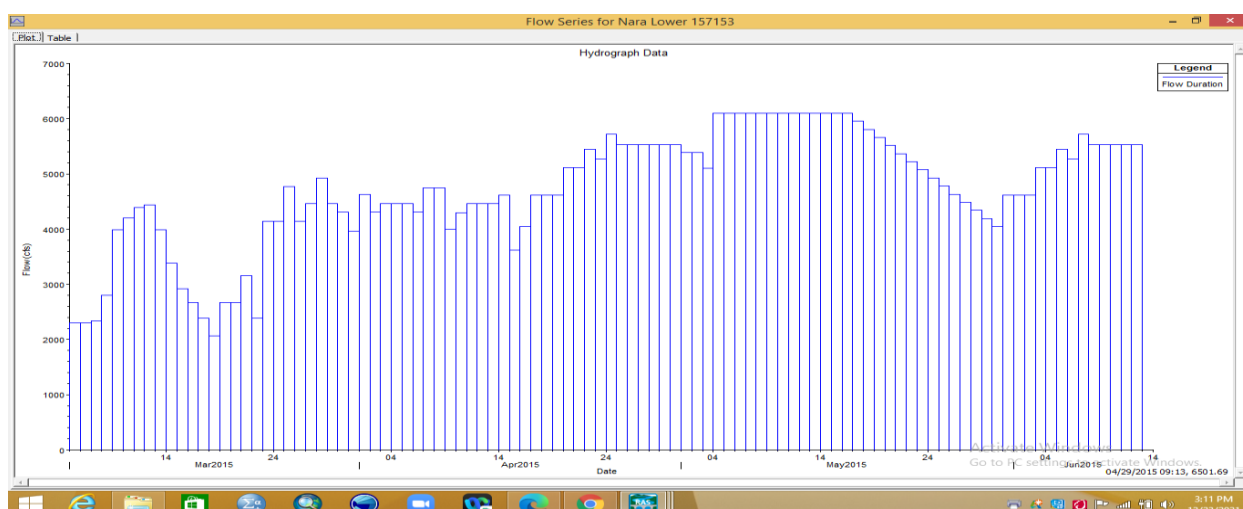


Fig.5. Hydrograph as boundary condition

Table 2. Shows hydraulic parameters

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: 05 River: Nara Reach: Lower Profile: 09Jun2015 0000												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (cfs)	Min Chl El (ft)	W.S. Elev (ft)	Crit W.S. (ft)	E.G. Elev (ft)	E.G. Slope (ft/ft)	Vel Chnl (ft/s)	Flow Area (sq ft)	Top Width (ft)	Froude # Chl
Lower	152146	09Jun2015 0000	5529.20	94.64	104.04		104.10	0.000125	2.04	2716.84	349.72	0.13
Lower	147146	09Jun2015 0000	5529.20	92.99	103.38		103.45	0.000137	2.01	2746.84	383.23	0.13
Lower	142146	09Jun2015 0000	5529.20	90.56	102.62		102.70	0.000162	2.32	2383.49	301.39	0.15
Lower	137145	09Jun2015 0000	5529.20	92.75	101.96		102.02	0.000114	1.85	3003.12	423.40	0.12
Lower	132147	09Jun2015 0000	5529.20	87.48	101.37		101.44	0.000116	2.06	2679.89	315.03	0.12
Lower	127145	09Jun2015 0000	5529.20	89.61	100.59		101.00	0.000067	1.73	3195.33	321.52	0.10
Lower	122145	09Jun2015 0000	5529.20	87.53	100.59		100.64	0.000077	1.90	3067.99	322.42	0.10
Lower	117146	09Jun2015 0000	5529.20	87.77	100.13		100.19	0.000107	1.94	2858.04	357.63	0.12
Lower	112145	09Jun2015 0000	5529.20	86.68	99.74		99.78	0.000064	1.72	3216.66	357.02	0.10
Lower	107146	09Jun2015 0000	5529.20	81.42	99.56		99.58	0.000025	1.26	4387.87	356.04	0.06
Lower	102145	09Jun2015 0000	5529.20	80.33	99.46		99.48	0.000017	1.16	4769.55	348.86	0.05
Lower	97144	09Jun2015 0000	5529.20	85.13	99.32		99.35	0.000037	1.41	3919.61	427.57	0.07
Lower	92148	09Jun2015 0000	5529.20	91.48	98.95		99.02	0.000158	2.05	2703.37	436.44	0.14
Lower	91271.84	09Jun2015 0000	5529.20	91.17	98.45		98.52	0.000175	2.11	2617.77	432.37	0.15
Lower	91020.48	09Jun2015 0000	5529.20	87.31	98.40	89.94	98.43	0.000048	1.47	3873.68	443.62	0.08
Lower	90077	09Jun2015 0000	Inl Struct									
Lower	89043	09Jun2015 0000	5529.20	83.62	94.33		94.39	0.000093	1.97	2801.39	300.31	0.11
Lower	87144	09Jun2015 0000	5529.20	83.72	94.05		94.14	0.000182	2.37	2335.60	346.18	0.15
Lower	82144	09Jun2015 0000	5529.20	84.99	92.93		93.04	0.000269	2.72	2031.57	299.03	0.18
Lower	77143	09Jun2015 0000	5529.20	79.79	91.64		91.76	0.000244	2.79	1980.70	256.16	0.18
Lower	72144	09Jun2015 0000	5529.20	81.19	90.40		90.52	0.000252	2.79	1980.36	265.01	0.18
Lower	66305.85	09Jun2015 0000	5529.20	78.68	89.92	81.90	89.95	0.000058	1.52	3635.20	406.03	0.09
Lower	66147	09Jun2015 0000	Inl Struct									
Lower	66015.6	09Jun2015 0000	5529.20	80.23	88.51		88.59	0.000188	2.21	2506.65	386.84	0.15
Lower	65081	09Jun2015 0000	5529.20	79.90	88.47		88.54	0.000165	2.12	2609.29	387.74	0.14
Lower	62144	09Jun2015 0000	5529.20	77.85	88.27		88.37	0.000195	2.48	2227.60	297.73	0.16
Lower	57144	09Jun2015 0000	5529.20	78.55	87.36		87.45	0.000171	2.34	2359.04	308.01	0.15
Lower	52145	09Jun2015 0000	5529.20	76.76	86.57		86.65	0.000149	2.29	2411.82	289.62	0.14
Lower	47146	09Jun2015 0000	5529.20	76.80	86.08		86.13	0.000075	1.66	3325.25	389.85	0.10
Lower	42147	09Jun2015 0000	5529.20	72.22	85.62		85.68	0.000105	2.05	2694.17	290.14	0.12
Lower	37146	09Jun2015 0000	5529.20	74.89	84.97		85.05	0.000154	2.31	2393.71	289.06	0.14
Lower	32145	09Jun2015 0000	5529.20	71.48	84.20		84.29	0.000152	2.35	2348.32	272.28	0.14
Lower	27146	09Jun2015 0000	5529.20	74.92	83.71		83.75	0.000076	1.59	3477.85	442.18	0.10
Lower	22145	09Jun2015 0000	5529.20	66.09	83.44		83.48	0.000040	1.55	3573.37	291.14	0.08
Lower	17146	09Jun2015 0000	5529.20	71.09	83.05		83.14	0.000135	2.41	2292.85	234.98	0.14
Lower	12144	09Jun2015 0000	5529.20	74.90	81.57	78.14	81.82	0.000700	3.99	1386.07	230.28	0.29

The fig.6 shows the water level/computed flow at RD-01. This figure reveals the visual phenomenon regarding water level in cross section of channel.

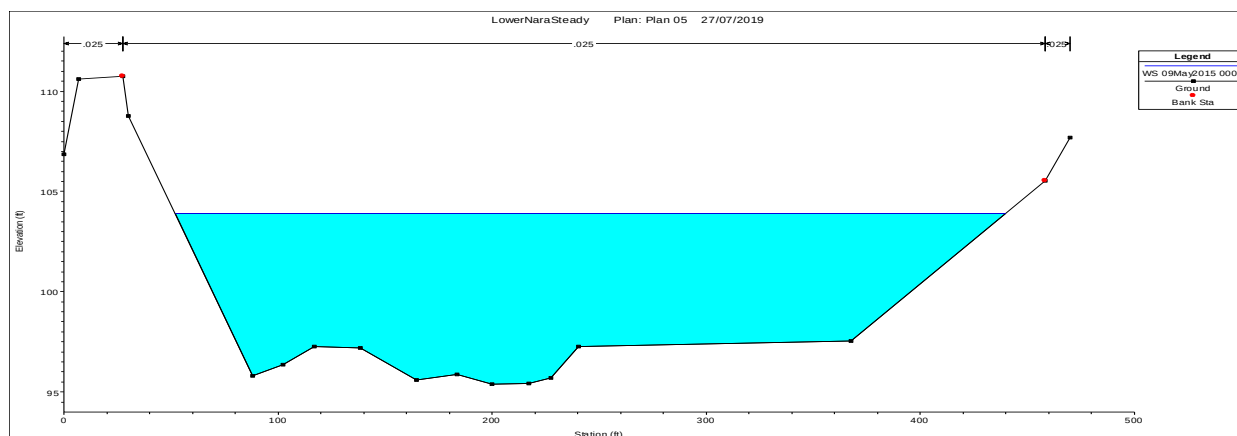


Fig.6. Computed Flow at RD-01

The fig.7 shows the outflow in Lower Naran at Fall Structure (RD-77). While fig.8: 3-D view of Fall Structure in Lower Nara at RD-77. These figures are representing the flow behavior at fall structure in 1-D and 3-D. Hence, result of model are nice as technical and other stakeholders can understand easily phenomenon flow passing through hydraulic structures.

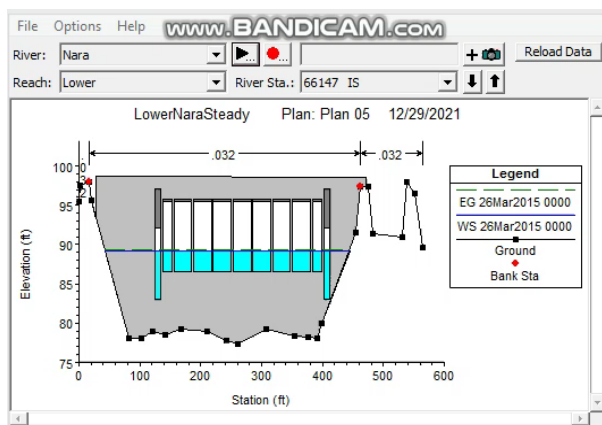


Fig.7. Computed Out Flow in Lower Naran at Fall Structure (RD-77)

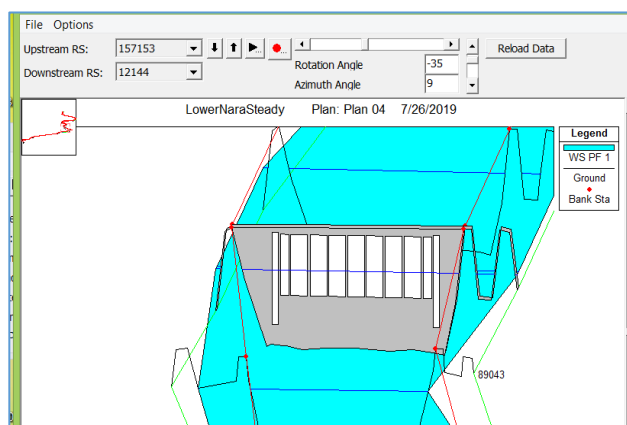


Fig.8. 3-D view of Fall Structure in Lower Nara at RD-77

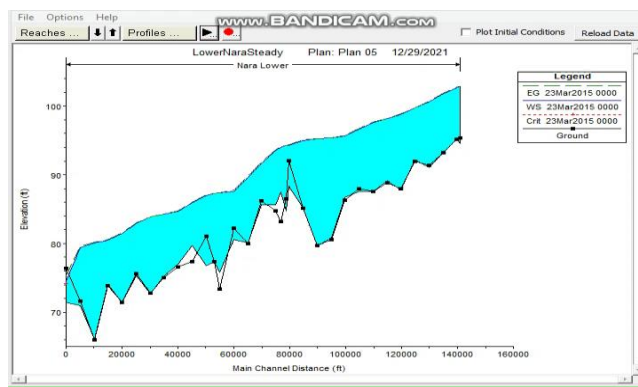


Fig. 9. Profile of L-Section, without Fall Structures at RD-77 and Impact of Sediment Load

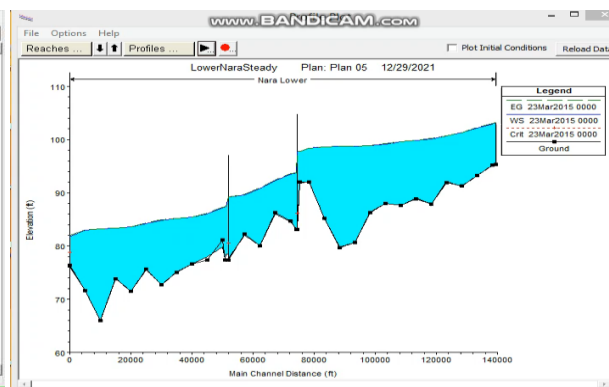


Fig. 10. Profile of L-Section, Fall Structures at RD-77 & 101 and Impact of Sediment Load

The Fig.9 Profile of L-Section, without Fall Structures at RD-77 shows that there is no any hydraulic drop in the channel before construction of fall structure, hence there is no any Impact on velocity and Sediment transport Load. Fig.10: Profile of L-Section, Fall Structures at RD-77 & 101 which reveals the drop/cut off between upstream and downstream of fall structures. Hence. This phenomena has reduced velocity and sediment behavior in channel.

The fig.11, 12 and 13 exhibit that there aggradation and degradation at upstream and downstream of fall structures. This development of aggradation and degradation is true representation of results of model. The Fig.14 Profile shows the maximum velocity without Fall Structure which is 6 ft /sec. The high velocity remained cause of erosion and scouring banks and bed respectively.

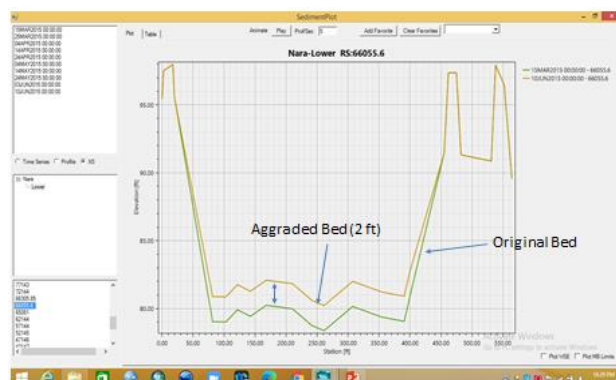


Fig.11. Cross-section at u/s and d/s of Fall-Structure- at RD-77 showing aggradation

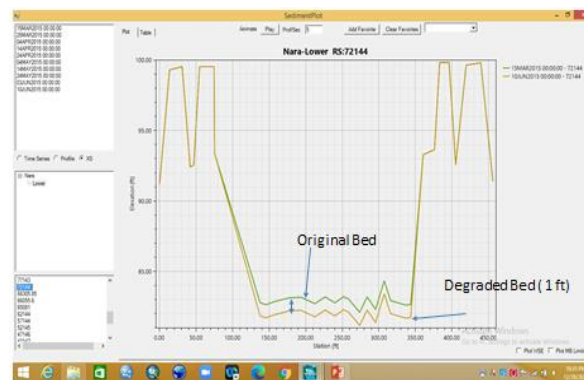


Fig.12. Cross-section at u/s and d/s of Fall-Structure- at RD-77 showing degradation



Fig.13. Cross-section at u/s and d/s of Fall-Structure- at RD-77 showing aggradation and degradation

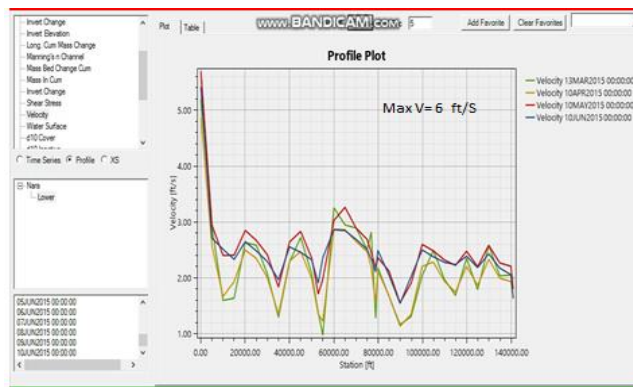


Fig.14. Profile (without Fall Structure)

The fig.15 shows the maximum velocity has been reduced due to construction of fall structure from 6 ft/sec to 3.75 ft/sec. The construction of fall structures which have developed drop and reduced flow velocity and improve the sediment transport. Hence, model is giving good result regarding simulation flow at fall structures.

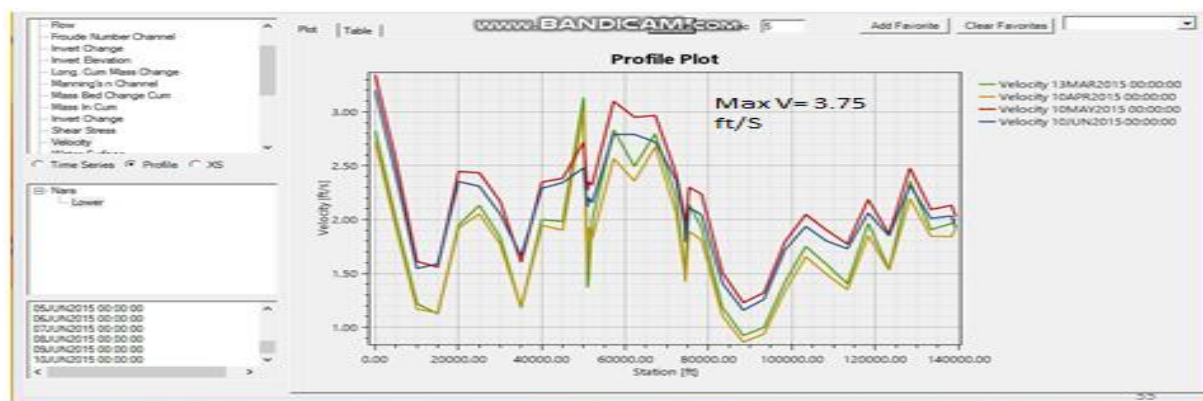


Fig.15. Velocity Profile (with Fall Structure)

The fig.16 shows the water surface in channel before construction of fall structures. The Water surface is changing with increasing discharge in the canal from RD-01 to 115.

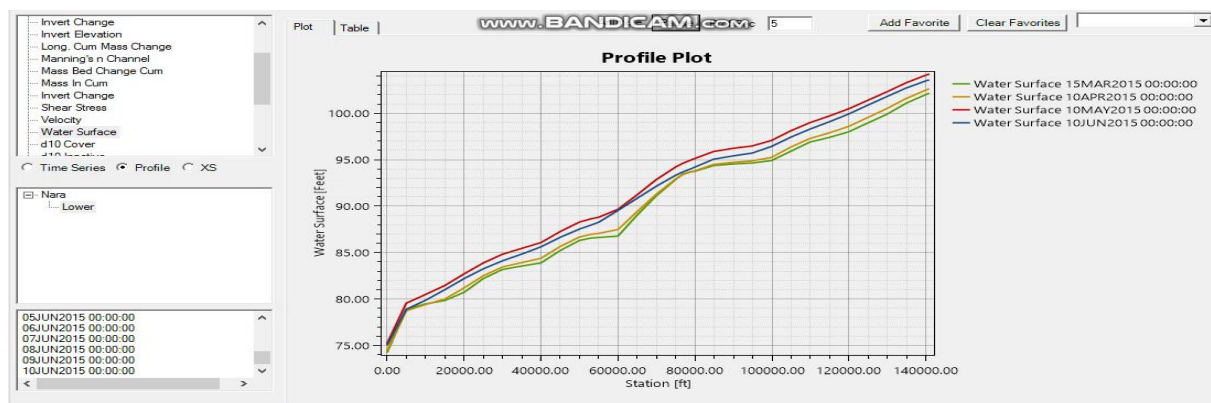


Fig.16. Water Surface (without Fall Structure)

The fig.17 shows that water surface after construction of Fall structures. The Water surface in canal showing drop between fall structures which were constructed RD-77 and RD-101. These structures have reduced water surface and maintenance the velocity of canal for developing the regime conditions.

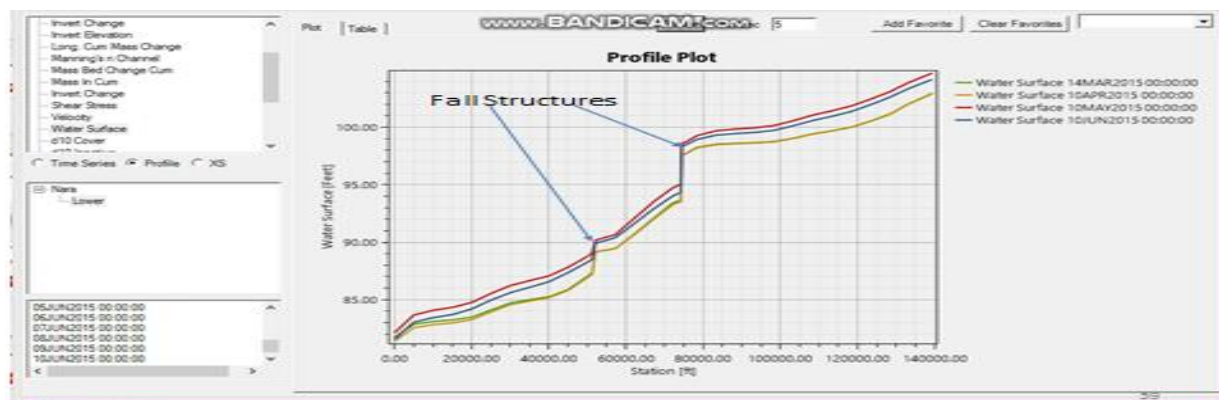


Fig.17. Water Surface (with Fall Structure)

Fig.18 shows Invert Change (Ft) Sediment transportation without fall structure is aggradation (5.75 ft and degradation (4.50 ft), while fig.19 reveals with fall structure aggradation (4.25 ft) and degradation (2.75 ft) respectively.

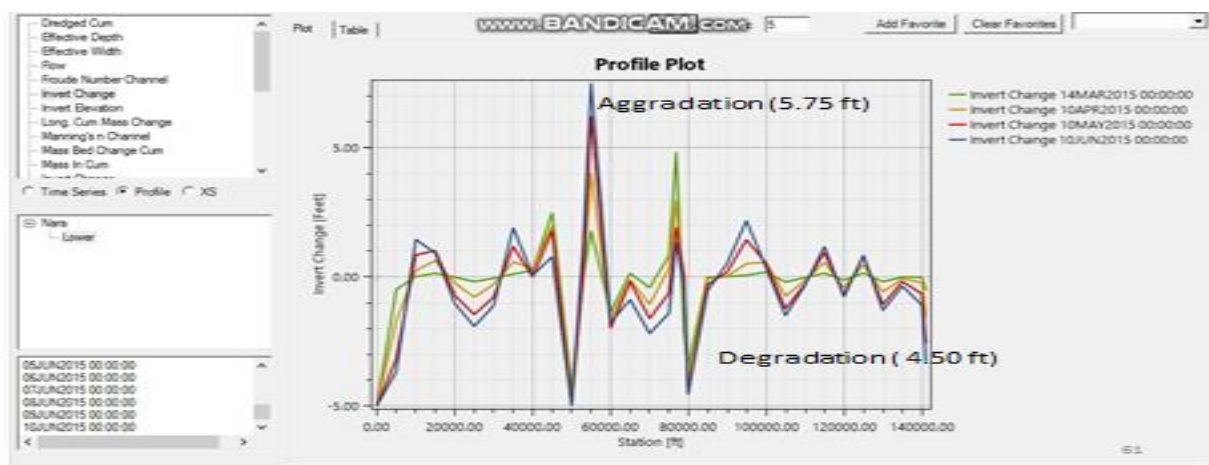


Fig.18. Invert Change (Ft) due to Sediment transportation (without Fall Structure)

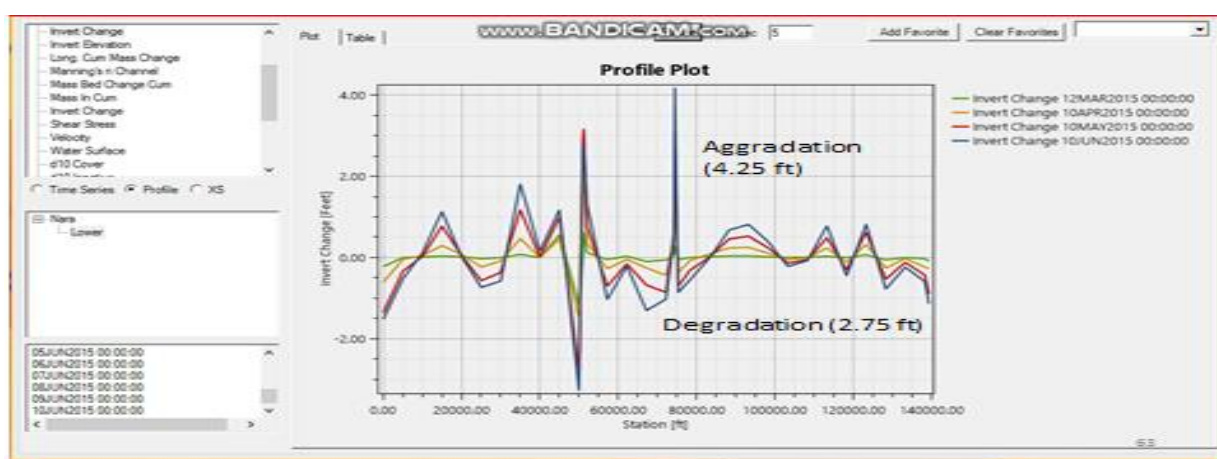


Fig.19. Invert Change (Ft) due to Sediment transportation (with Fall Structure)

Fig.20 and 21 show Mass Bed Change Cum (Tons) Sediment transportation without fall structure is aggradation 500,000 tons and degradation 225,000 tons and with fall structure aggradation 155,000 tons and degradation 125,000 tons respectively.

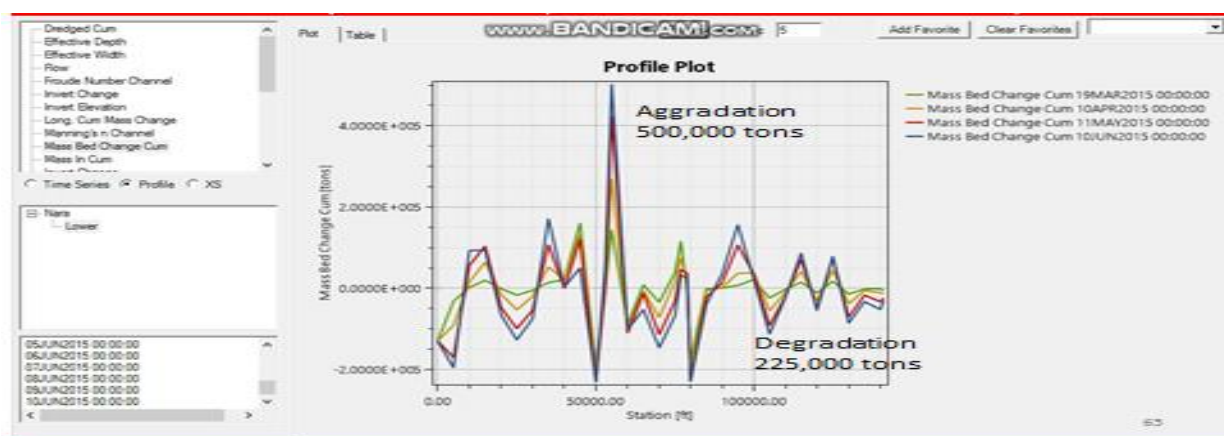


Fig.20. Mass Bed Change Cum (Tons) due to Sediment transportation (without Fall Structure)

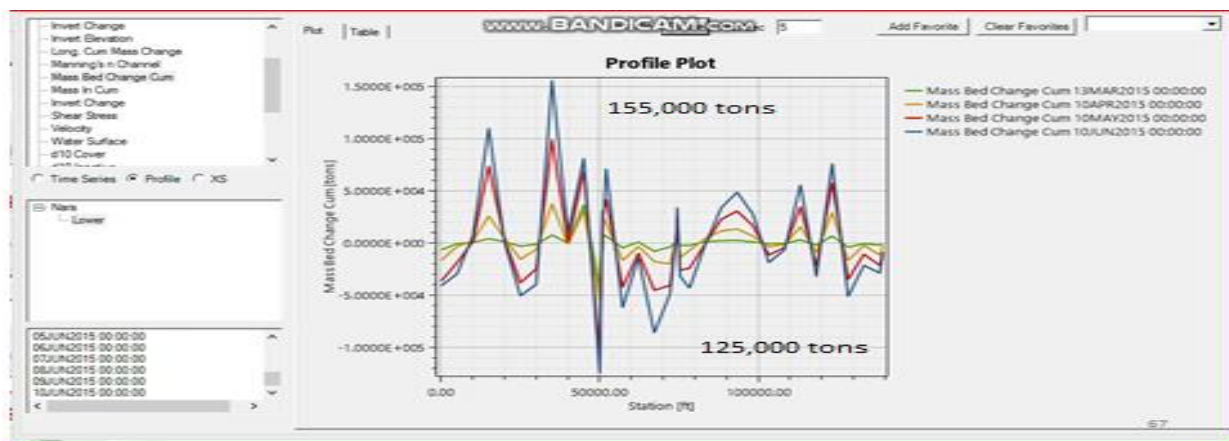


Fig.21. Mass Bed Change Cum (Tons) due to Sediment transportation (with Fall Structure)

Fig.22 and 23 show that Long Cum Mass Change (Tons) Sediment transportation without fall structure is degradation 600,000 tons and with fall structure is aggradation 110,000 Tons and degradation 165,000 Tons respectively.

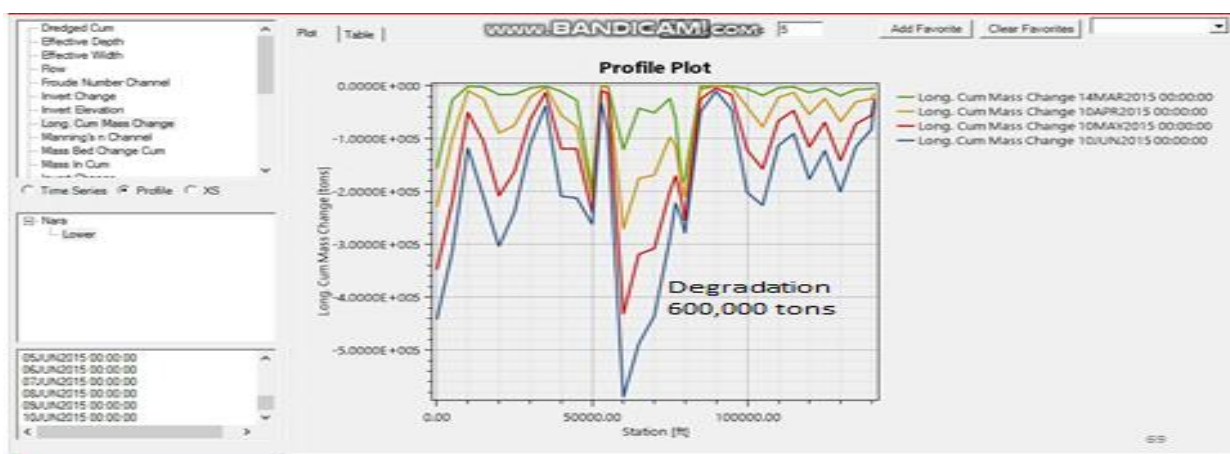


Fig.22. Long Cum Mass Change (Tons) due to Sediment transportation (without Fall Structure)

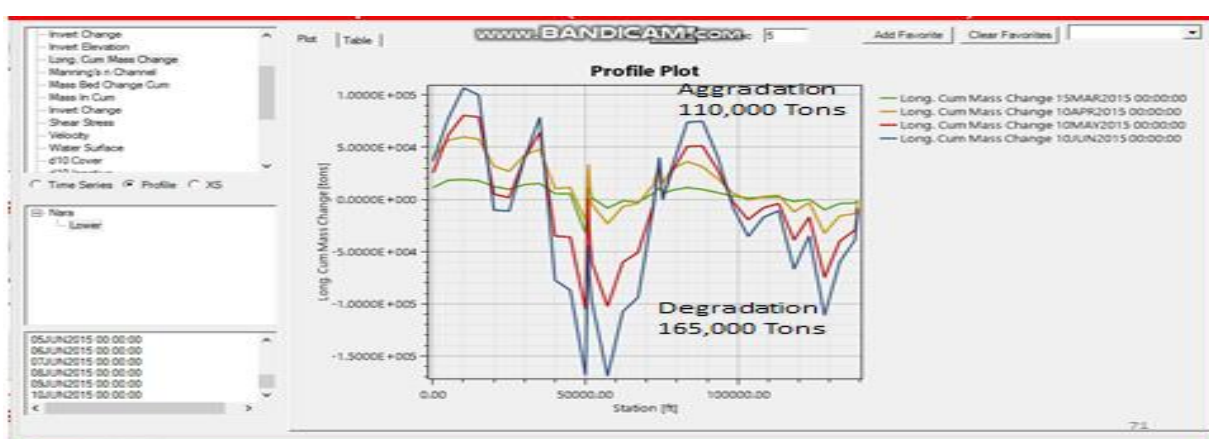


Fig.23. Long Cum Mass Change (Tons) due to Sediment transportation (with Fall Structure)

Fig.24 and 25 exhibit that Mass in Cum (Ton) Sediment transportation without fall structure is aggradation 1,750,000 Tons and with fall structure is aggradation 1,300,000 Tons.

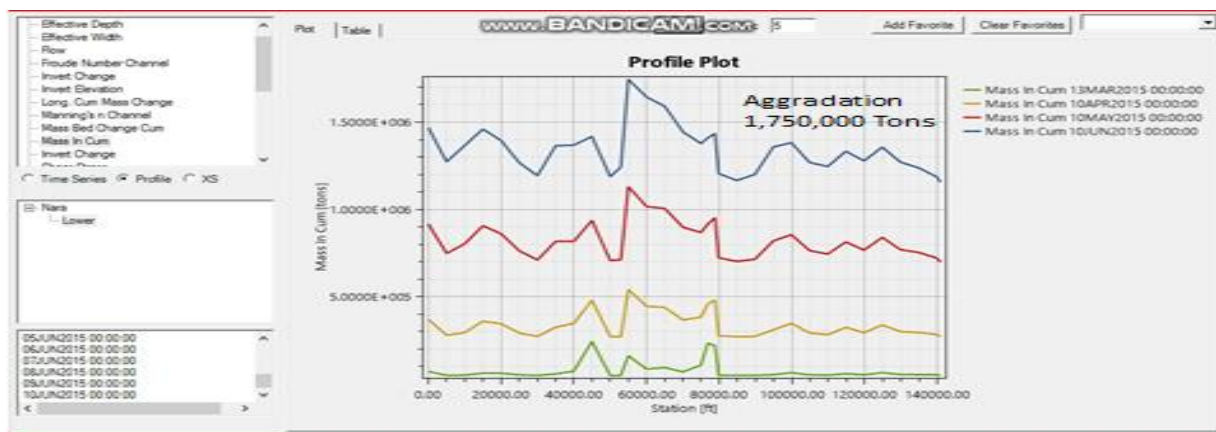


Fig.24. Mass in Cum (Ton) due to Sediment transportation (without Fall Structure)

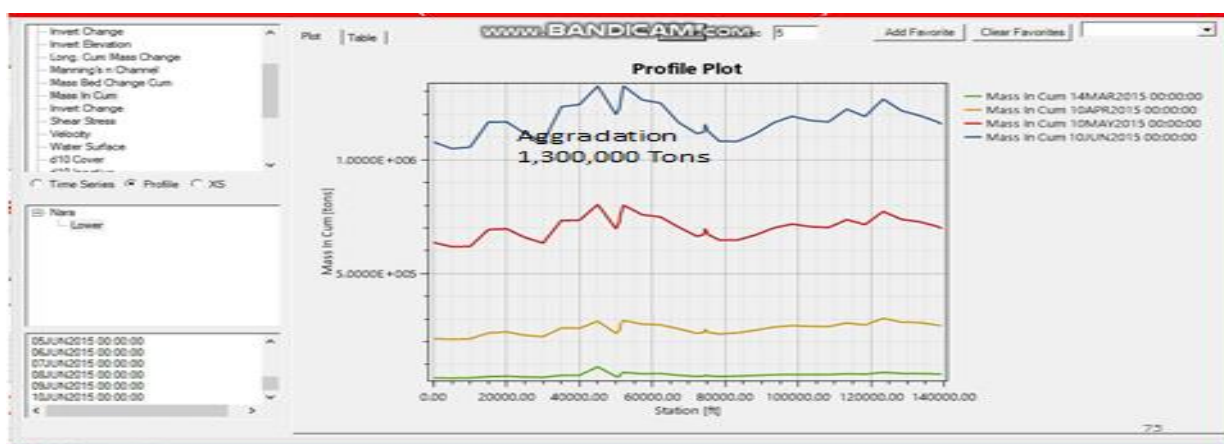


Fig.25. Mass in Cum (Ton) due to Sediment transportation (with Fall Structure)

The results of hydraulic parameters and sediment transport that HEC-RAS now has basic sediment transport capabilities. RAS utilizes quasi-steady hydrodynamics and one of several transport equations to solve the sediment continuity equation. Sediment surpluses and deficits are modified with temporal and physical constraints and translated into bed aggradation and degradation. After each computational time step the RAS geometry file is updated based on bed elevation changes for the hydrodynamics and sediment potential computations to use during the next time step. RAS includes a convenient user interface to specify the necessary data for a sediment analysis and a wide range of available outputs for analyzing a simulation (Stanford Gibson, et al.2006).

Conclusion. As a result, Model has computed longitudinal and cross-section, velocity and water surface profiles and sedimentation dynamic. Further Model results show the sedimentation dynamic computation in Invert Change (Ft) Sediment transportation without fall structure is aggradation (5.75 ft and degradation (4.50 ft) and with fall structure aggradation (4.25 ft) and degradation (2.75 ft) respectively. Mass Bed Change Cum (Tons) Sediment transportation without fall structure is aggradation 500,000 tons and degradation 225,000 tons and with fall structure aggradation 155,000 tons and degradation 125,000 tons. Long Cum Mass Change (Tons) Sediment transportation without fall structure is degradation 600,000 tons and with fall structure is aggradation 110,000 Tons and degradation 165,000 Tons. Mass in Cum (Ton) Sediment transportation without fall structure is aggradation 1,750,000 Tons and with fall structure is aggradation 1,300,000 Tons.

Hence the results of Model revealed that aggradation at u/s and degradation at d/s of fall structures that is true representation of behavior of fall structures. Whereas, section is wider that aggradation occurred and degradation is experienced in narrow section in both Scenarios (with and without fall structures). Positive impact of constructed fall structures was analyzed on

morphology of canal. Hence, the construction of fall structures are essential at change of country/steeper slope to avoid unnecessary erosion.

Reference

1. Karim, A, and Veizer, J., (2000) Weathering processes in the Indus River basin: implications from riverine carbon, sulphur, oxygen and strontium isotopes. *Chemical Geology*, 170, October, 153-177.
2. Krimani (1993) sediment problems in the Indus Basin. Part II. Sedimentation in River channels and flood ways.
3. Feasibility Study of Sukkur barrage (2016), Morphological studies.
4. Van Rijn, L.C., 1993. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas.
5. Graf, W.H., 1984. Hydraulics of sediment transport. 1984: Water Resources Pubns.
6. Ehteram, Ghotbi, Kisi, N. Ahmed, Hayder, M. Fai, et al. Investigation on the Potential to Integrate Different Artificial Intelligence Models with Metaheuristic Algorithms for Improving River Suspended Sediment Predictions *Appl. Sci.*, 9 (2019), p. 4149.
7. Santosh Kumar Garg, 2007, 'Irrigation Engineering and Hydraulic Structures', Book pp 95-96.
8. Raudkivi (1993) Sedimentation. Exclusion and removal of sediment from diverted water.
9. Susana, S., Ginsberg., Aliottal, S. and Argentino, I., (2011), "Sediment Transport
10. Circulation Pattern through Mesotidal Channels System- Chapter. 14", Publisher, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia.
11. Ghimire GR, De Vantier BA. Sediment Modeling to Develop a Deposition Prediction Model at the Olmsted Locks and Dam Area. In: World Environ. Water Resour. Congr. 2016 Hydraul. Waterw. Hydro-Climate/Climate Chang. - Pap. from Sess. Proc. 2016 World Environ. Water Resour. Congr.; 2016. p. 410–20.
12. Ahmad et al., 2011 M.F. Ahmad, P. Dong, M. Mamat, W.B. Wan Nik, M.H. Mohd. The critical shear stresses for sand and mud mixture *Appl. Math. Sci.*, 5 (2) (2011), pp. 53-71
13. Delphi, M., M.M. Shooshtari and H.H. Zadeh, 2010. Sensitivity Analysis of Sediment Transport in Karun River. *International Journal of Environmental Science and Development*, 1(3): 221-224. ISSN: 2010-0264.
14. Galappatti, R., A depth-integrated model for suspended transport, Rep. 83-7, Fac. of Civ. Eng., Delft Univ. of Technol., Delft, Netherlands, 1983.
15. Munir, S., Javaid A. Tariq, Bart Schultz, (2011), "Role of sediment transport in operation and maintenance of supply and demand based irrigation canal", *Proceedings 72nd Annual Session of Pakistan Engineering Congress*, Paper 735, pp. 67-86.
16. WSIP, (2015), "Impact on sediment transport due to developments in Nara canal", *Monitoring and Evaluation Report*, Sindh Irrigation and Drainage Authority, Govt. of Sindh, Hyderabad.
17. Stanford Gibson, et al. (2006), *PROCEEDINGS of the Eighth Federal Interagency Sedimentation Conference (8thFISC)*, April2-6, 2006, Reno, NV, USA.

Застосування моделі HEC-RAS для аналізу динаміки переносу наносів до та після будівництва водоскидних споруд на Нижньому каналі Нара, що відводиться від Верхнього каналу Нара, загородження Сукур, річка Інд, Сінд, Пакистан

Туніо І. А.

У цій статті представлено дослідницьке дослідження з використанням моделі HEC-RAS для оцінки динамічних проблем відкладень у нижній частині каналу Нара, до та після будівництва водоскидних споруд на RD-77 та 101 відповідно, які є основною притокою верхньої частини каналу Нара, що витікає із загородження Сукур на лівому березі річки Інд. За гідравлічною моделлю розраховані поздовжні та поперечні перерізи, швидкість, профілі водної поверхні та динаміку осадо накопичення. Транспортування осаду без водоскидних споруд з структури падіння є аградацією (5,75 футів) і деградація (4,50 футів) і зі структурою падіння, аградацією (4,25 футів) і деградацією (2,75 футів) відповідно. Транспортування осаду без водоскидних споруд зі структурою падіння є аградацією 500 000 тонн і деградацією 225 000 тонн і зі структурою падіння аградація 155 000 т і деградація 125 000 т. Транспортування осаду без водоскидних споруд без структури падіння є деградацією 600 000 т, а зі структурою падіння є аградацією 110 000 т і деградацією 165 000 т. Транспортування осаду без водоскидних споруд без структури падіння є аградацією 1 750 000 тонн, а із водоскидних споруд є аградацією 10 300 т. Результати моделі показали, що аградація при u/s і деградація при d/s структур падіння є справжнім відображенням поведінки структур падіння. Враховуючи, що ділянка є ширшою, ніж відбулася аградація, а деградація спостерігається у вузьких ділянках в обох сценаріях (з та без споруд). Проаналізовано вплив збудованих водоскидних споруд на морфологію каналу. Отже, будівництво споруд для падіння є важливим при зміні місцевості/з більш крутим схилом є важливим, щоб уникнути небажаної ерозії.

Ключові слова: модель HEC-RAS, річка Інд, нижній канал Нара, водоскидна споруда транспортування наносів, аградація, деградація.

Надійшла до редколегії 19.11.2022

Koffi B.¹, Alexis B. L.¹, Alain K. C.², Olivier K. K. J.¹, Kouassi K. L.¹

¹ Jean Lorougnon Guédé University, Côte d'Ivoire

² Péléféro Gon Coulibaly University, Côte d'Ivoire

HYDRODYNAMIC FUNCTIONING OF THE LOBO RIVER RESERVOIR, West-Central of Côte d'Ivoire

Built to improve water supply for the populations of the city of Daloa, the Lobo River reservoir is no longer functioning properly due to human activities near its reservoir. This study, based on a 2D hydrodynamic model, carried out with the Mike21 HD software, allowed the reconstruction of the flows in the Lobo River reservoir. The results of the simulation indicate that the hydrodynamic model could reproduce the variation of water levels at the free surface of the reservoir. Also, the results are very sensitive to the boundary conditions of the model but also to the initial conditions. The results of the influence of pumping on the dynamics of water levels in the Lobo River reservoir showed that water levels are not significantly modified by pumping (less than 1.3 mm). Therefore, pumping has little impact on the hydrodynamics of the Lobo River because the pumped flows are much less than the inflow to the reservoir.

Key words : Hydrodynamics; Modeling; Reservoir; Lobo River.

Introduction. Artificial water storage, created by the construction of water reservoirs, is essential for the sustainable health and well-being of populations as it provides water for human consumption, irrigation, fishing practice and energy production. In addition, water retention reservoirs are also used for recreational activities, flood and drought control (Buyukyildiz et al., 2014; Luís and Cabral, 2021).

Like other African countries, Côte d'Ivoire is not immune to eutrophication phenomena (Koffi et al., 2020b; Kouassi et al., 2013). The advanced eutrophication of some water reservoirs used to supply drinking water to the population sometimes makes it difficult to treat these waters due to siltation at the water intakes. Built to improve the supply of drinking water to the people of the city of Daloa, the Lobo River reservoir has been subject to all kinds of anthropogenic pressures for several years. Despite the efforts made by the competent authorities, recurrent problems of water supply are still observed in several districts of the town of Daloa. However, the water reservoir used to supply drinking water to the population has not yet been the subject of hydrodynamic studies to understand its functioning in order to adopt management strategies. Moreover, the combined effect of climate change, the absence of protection perimeters around the water reservoir, rapid urbanization and agricultural activities could affect the morphology and quality of the water. It is in this context that this study was initiated to understand the hydrodynamic functioning of the Lobo River reservoir.

Material and Methods

Study area. Located in west-central Côte d'Ivoire between longitudes 6°36' 0" and 6°36' 36" West and latitudes 6°57' 0" and 6°57' 30" North, the Lobo River impoundment is located 25 km from the town of Daloa (Fig. 1). This river is one of the tributaries of the Sassandra River (Koffi et al., 2020a; Yao et al., 2012). The Lobo River impoundment is the main source of drinking water supply for the people of the city of Daloa.

Hydrometric data. Hydrometric data from the Adjoukrou station located upstream of the reservoir were used in this study. These data cover the period 2019-2020. All hydrometric data used in this study are at daily time step.

Bathymetric survey. Bathymetric surveys were conducted using a Lowrance Elite Ti 9 echo sounder. This device consists of three parts. Bathymetric measurements were made at a frequency of 450 kHz to allow the waves emitted by the echo sounder to not penetrate the sediment (Lowrance, 2019). The development of a quality hydraulic model is highly dependent on good bathymetry. To this end, the areas covered by the bathymetry take into account the fluvial and lacustrine portion of the Lobo River impoundment reservoir. In order to obtain a regular grid of points, all the data were interpolated by the nearest neighbor method using the MIKE 21 software.



Fig. 1. Study area

Hydrodynamic model. The distribution of currentology and water levels in the Lobo River impoundment were evaluated through the development of 2DH numerical modeling, performed using MIKE 21 FM software (DHI, 2020). This is a software package that simulates the variation of water levels, flows and sediment transport in two dimensions (2D). It solves the classical two-dimensional Saint-Venant equations by the finite volume method on a flexible mesh grid. The vertically integrated conservation of mass and momentum equations used by the MIKE 21 model are used to describe the flow and water level variations (DHI, 2020). A triangular mesh was used to generate the 2D model topography. Next, the mesh is smoothed to achieve the largest possible angles and feature area. After this step, the mesh is interpolated with the initial bathymetry using natural neighbor interpolation. When generating the model mesh, a correction is made to ensure good mesh quality. The domain mesh consists of 8125 nodes and 14628 elements (Fig. 2).

Boundary and initial conditions. Two boundary conditions were imposed in the hydrodynamic model. The flows are imposed as boundary conditions upstream of the domain. For the upstream boundary conditions, we positioned ourselves far enough (4.2 km from the weir) from the lake area to be able to parameterize the model with the river flow. As for the downstream boundary of the model, a constant water level (-1 m) and the spillway of the reservoir allowed to control the hydrodynamic model. In this study, a water level (-1) was imposed as an initial condition. This value represents the initial elevation at the surface of the Lobo River impoundment.

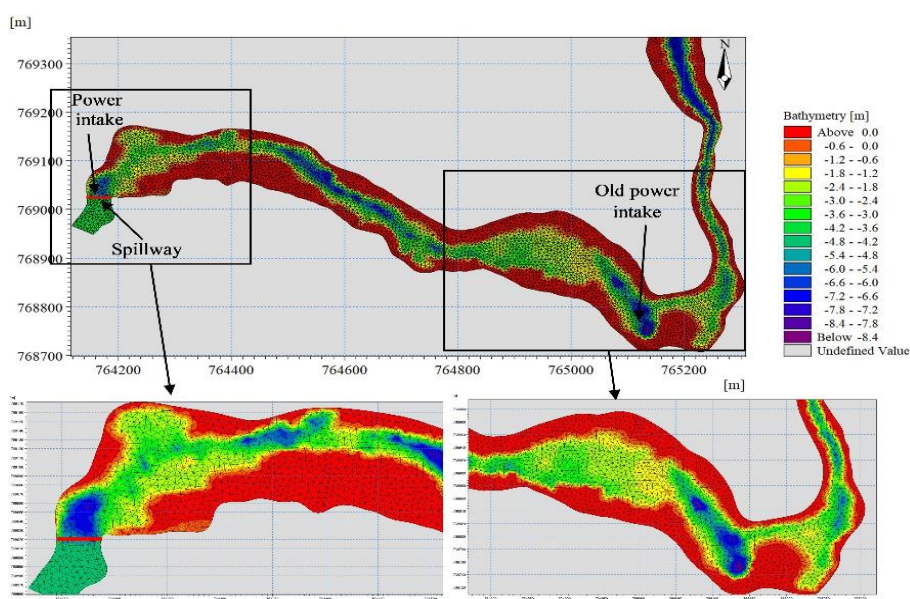


Fig. 2. Meshing of the study area

Results

Calibration and validation model. The results of the calibration of the steady-state model show a good synchronization between the observed water level-discharge curve and the one simulated by the model in periods of low water and high water (Fig. 3). Although the model is able to reproduce the water levels correctly, there are some discrepancies between the observed values and the simulated values for flood flows between 20 m³/s and 47 m³/s. Also, it should be noted that during the various simulations, the time to reach the steady state for very low flows (0.98 m³/s), observed in dry periods, is quite long. On the other hand, for a maximum river flow of 55 m³/s, the time to reach the steady state is quite short. In other words, the lower the flow, the longer it will take to reach the steady state.

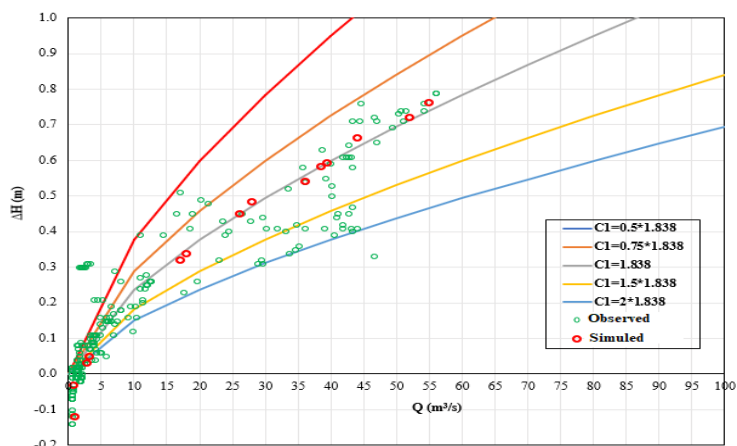


Fig. 3. Calibration and validation model

Velocity distribution. The results of the velocity current distribution are shown in Fig. 4. There is a large variation in velocity currents in the reservoir. The velocities decrease from upstream to downstream. The maximum velocities are observed upstream of the reservoir. The speeds are between 0.054 and 0.76 m/s. It is noted that the maximum speeds are observed at the entrance of the reservoir, where they can reach 0.76 m/s. The currents are directed from East to West. However, in the reservoir, the simulated velocities are relatively weak and included between 0,0051 and 0,36 m/s. They remain relatively weak at the banks. In the vicinity of the spillway of the reservoir, we observe that the flow is accelerated by the presence of the weir and the currents are between 0.04 and 0.40 m/s. A hydraulic load allows the water to create a phenomenon of hydraulic jump downstream of the spillway with an increase of the speeds of the order of 0,45 m/s.

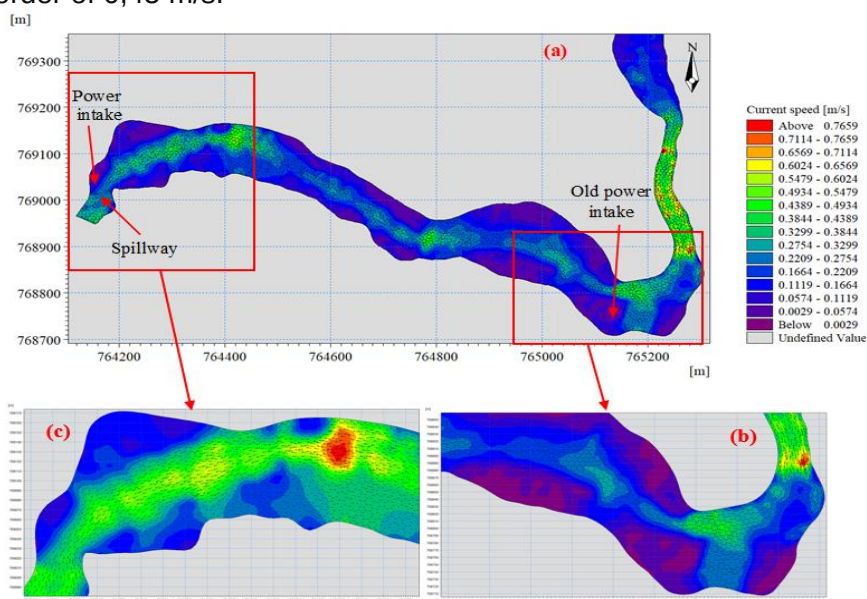


Fig. 4. Velocity current distribution in the Lobo River impoundment (a). In the area of the old (b) and new (c) water intake

Impact of pumping on the variation of water levels in the reservoir. The hydrodynamic model took into account the water intake in the Lobo River impoundment. This intake corresponds to a pumping of $675 \text{ m}^3/\text{h}$, or $0.1875 \text{ m}^3/\text{s}$ continuously. The results show that the water levels from the models of the situations without pumping are very close to those of the situations with pumping. During the driest month of the year (February), the water levels in the Lobo River reservoir are not significantly modified by pumping (less than 1.3 mm). Pumping has little impact on the hydrodynamics of the Lobo River (Fig. 5).

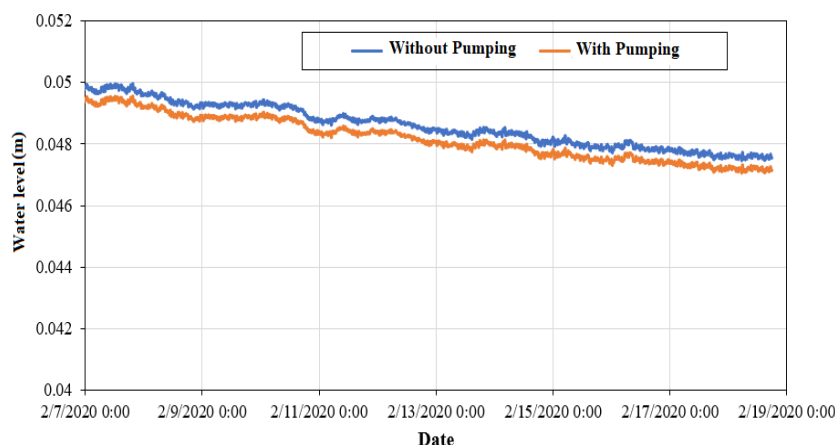


Fig. 5. Water level in the situations before and with water intake during the dry period (February 2020)

Discussion. Simulated current velocities in the Lobo Reservoir, using MIKE 21 FM software, range from 0.051 to 0.72 m/s. The currents decrease from upstream to downstream of the reservoir. This result correlates closely with the work of Giovanni (1994); Kouassi et al. (2013); Teal et al. (2015); Guertault et al. (2018); Tang et al. (2021) who report that when a river enters a reservoir its velocities decrease significantly. However, near the inlet and after the weir, current velocities are observed to be higher than in the open ocean. This increase in current speed at the new water intake is due to the pumping carried out by the water distribution company of Côte d'Ivoire (SODECI) for the supply of drinking water to the town of Daloa. After the weir, the currents are of the order of 0.28 m/s. This phenomenon could be explained by the hydraulic load that allows the water to create a hydraulic jump downstream of the weir. It is also noted that the water intake has very little impact on the variation of levels in the Lobo River reservoir. This weak influence of the water intake on the variation of the water levels in the water reservoir could be due to the fact that the water inflow is largely superior to the pumping flow of the water intake.

Conclusion. This study provided an understanding of the hydrodynamic functioning of the Lobo River impoundment. The results of this study showed that water levels are not significantly modified by pumping (less than 1.3 mm). The pumping has little impact on the hydrodynamics of the Lobo River because the pumped flows are much lower than the inflow to the reservoir. For a better management of the reservoir, this study must continue by updating the bathymetry data and the realization of a sediment transport model in order to quantify and determine the preferential zones of sediment deposition in the Lobo River reservoir.

References

1. Buyukyildiz, M., Tezel, G., Yilmaz, V., 2014. Estimation of the Change in Lake Water Level by Artificial Intelligence Methods. *Water Resour. Manag.* 28, 4747–4763. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0773>
2. DHI, 2017. MIKE 3 FLOW MODEL FM. Mud Transport Module, Hydrodynamic Module (Scientific Documentation). Denmark.
3. Giovanni, D., C., 1994. Alluvionnement des retenues par courants de turbidité. (Thèse de Doctorat). Polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, Suisse.
4. Guertault, L., Camenen, B., Paquier, A., Faure, J.-B., Peteuil, C., 2018. Apport de la modélisation hydro-sédimentaire 1D à l'étude d'une retenue de forme allongée : application à la retenue de Génissiat sur le Haut-Rhône français. *Houille Blanche* 71–76. <https://doi.org/10.1051/lhb/2018034>
5. Koffi, B., Kouadio, Z.A., Kouassi, K.H., Yao, A.B., Sanchez, M., Kouassi, K.L., 2020a. Impact of

Meteorological Drought on Streamflows in the Lobo River Catchment at Nibéhibé, Côte d'Ivoire. J. Water Resour. Prot. 12, 495–511. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.126030>

6. Koffi, B., Kouassi, K.L., Sanchez, M., Kouadio, Z.A., Kouassi, K.H., Yao, A.B., 2020b. Estimation de la sédimentation dans la retenue d'eau de la rivière Lobo à l'aide de la théorie des bassins de décantation, in: XVIèmes Journées, Le Havre. Presented at the Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil, Editions Paralia, pp. 249–258. <https://doi.org/10.5150/jngcgc.2020.028>

7. Kouassi, K.L., Kouame, K.I., Konan, K.S., Sanchez Angulo, M., Deme, M., Meledje, N.H.E., 2013. Two-Dimensional Numerical Simulation of the Hydro-Sedimentary Phenomena in Lake Taabo, Côte d'Ivoire. Water Resour. Manag. 27, 4379–4394. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0417-x>

8. Lowrance, 2019. ELITE Ti, Manuel de l'utilisateur, Lowrance Electronics, Inc. ed. Lowrance Electronics, Inc.

9. Luís, A. dos A., Cabral, P., 2021. Small dams/reservoirs site location analysis in a semi-arid region of Mozambique. Int. Soil Water Conserv. Res. 9, 381–393. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.02.002>

10. Tang, X., Tong, S., Huang, G., Xu, G., Li, X., Lei, K., Yao, S., 2021. Characteristics of sedimentation and channel adjustment linked to the Three Gorges Reservoir. Int. J. Sediment Res. 36, 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.10.003>

11. Teal, M., Bountry, J., Pridal, D., 2015. Modeling Sediment Movement in Reservoirs, U.S. Society on Dams. ed. United States of AmericaUSA.

12. Yao, A.B., Goula, T.A., Kouadio, Z.A., Kouakou, K.E., Kane, A., S Sambo, 2012. Analyse de la variabilité climatique et quantification des Ressources en eau en zone tropicale humide : cas du bassin Versant de la lobo au centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Rev. Ivoirienne Sci. Technol. 19, 136–157. <http://www.revist.ci>

Гідродинамічне функціонування водосховища річки Лобо в західно-центральному Кот-д'Івуарі.

Коффі Б., Алексіс Б. Л., Ален К. С., Олів'є К. К. Ж., Куасі К. Л.

Створене для покращення водопостачання населення міста Далоа, водосховище річки Лобо більше не функціонує належним чином через людську діяльність поблизу цього резервуара. Це дослідження, яке засноване на 2D гідродинамічній моделі, виконане за допомогою програмного забезпечення Mike21 HD, дозволило реконструювати потоки у водосховищі річки Лобо. Результати моделювання свідчать про те, що гідродинамічна модель може відтворити зміну рівнів води вільної поверхні водойми. Крім того, результати дуже чутливі до граничних умов моделі, а також до початкових умов. Результати впливу відкачування води на динаміку рівнів у водосховищі р. Лобо показали, що вони суттєво не змінюються через відкачування (менше 1,3 мм). Тому відкачування слабо впливає на гідродинаміку річки Лобо, оскільки перекачувані потоки набагато менші, ніж приплив до водосховища.

Ключові слова : гідродинаміка ; моделювання ; водосховище ; річка Лобо.

Надійшла до редколегії 17.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.4.6>

УДК 556.535.3:627.43(282.247.314)

Гуляєва О.О.¹, Усов О.Є.²

¹ПрАТ «Укргідроенерго»

²Інститут гідробіології НАН України

ОЦІНКА ЗМІНЕНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ ДНІСТРА ЯК ОСНОВА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКОЛОГІЧНОГО СТОКУ

У роботі розглянуті практичні аспекти впровадження концепції екологічного стоку в Україні згідно з Водною Рамковою Директивою. На прикладі Дністра застосовано гідрологічний метод, який слугує першим кроком встановлення параметрів екологічних витрат води. Проаналізована трансформація водного режиму внаслідок зарегулювання стоку за допомогою індикаторів гідрологічних змін. Апробація такого підходу підтвердила можливість його застосування на річках України за умов наявності тривалих рядів гідрологічних спостережень. Отримані результати можуть слугувати основою для розробки програми гідроекологічних досліджень для встановлення екологічно обґрунтованого режиму експлуатації водосховищ.

Ключові слова: екологічний стік, індикатори гідрологічних змін, витрата води, гідрологічні характеристики, Дністер.

Актуальність дослідження. На сьогодні у міжнародній практиці екологічний стік використовується для досягнення доброго стану водних об'єктів та впроваджується для вирішення практичних задач щодо встановлення мінімальних можливих та оптимальних

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2022. № 4 (66)

витрат води нижче гребель та водозаборів. У Брисбенській Декларації 2018 року [1] міститься терміновий заклик до дій щодо захисту та відновлення екологічного стоку та водних екосистем з точки зору їх біорізноманіття, внутрішньої цінності та екосистемних послуг як центрального елементу комплексного управління водними ресурсами та як основи управління водними ресурсами і сталого розвитку.

Важливість запровадження екологічного стоку в управління водними річковими басейнами підкреслюється введенням окремого керівного документу № 31 «Екологічний стік» у Водну Рамкову Директиву ЄС №2000/60/ЄС (ВРД) [2]. Це, в свою чергу, зобов'язує Україну розглядати сучасний стан національного надбання з проблематики та перспектив розвитку концепції екологічного стоку, а також адаптувати власне бачення до європейських стандартів. Зокрема, екологічний стік має бути визначений в національному законодавстві з узгодженням до загального розуміння європейських директив та обов'язково включатися у плани управління річковими басейнами, правила експлуатації водосховищ гідроелектростанцій, а також в процес отримання дозвільної та передпроектної документації. Реалізація концепції екологічного стоку має відбуватися, насамперед, шляхом регламентації та оптимізації роботи гідротехнічних споруд, режимів роботи ГЕС, станцій водозабору, тощо.

Аналіз виконаних досліджень. Для оцінки екологічного стоку міжнародною науковою спільнотою розроблено досить багато підходів та методів [2–7]. На практиці така різноманітність певною мірою може слугувати перешкодою, оскільки водні менеджери постають перед складним питанням вибору найбільш оптимального методу, який найкраще відповідатиме наявним умовам та існуючій інформації. У зв'язку з цим був запропонований покроковий трьохрівневий ієрархічний підхід, який дозволяє оцінювати екологічний стік при різному рівні доступності ресурсів та досліджень [2, 8]. До першого початкового рівня, через простоту застосування та низьку вартість, відносять так звані «настільні» методи (“hydrologic desktop methods”), що базуються на гідрологічних підходах. В більшості доступних гідрологічних підходах аналізуються п'ять основних компонентів гідрологічного режиму (величина водності, сезонність, тривалість, періодичність та мінливість (зміна гідрологічних характеристик у часі)), що пов'язані з розумінням екологічної реакції на гідрологічні зміни, та враховують внутрішньорічні та багаторічні коливання стоку [9–13]. Ці методи для визначення параметрів екологічного стоку, як правило, автономно не використовують, вони слугують основою для подальшого застосування комплексних методологій.

Використовуючи рекомендації керівного документу [2] в цій роботі ми розглянули можливість застосування методу індикаторів гідрологічних змін (ІНА) на річці Дністер. Він був запропонований Richter et al. [9] для оцінки трансформації елементів гідрологічного режиму річок та озер, що пов'язані з антропогенним навантаженням. Більшість європейських комплексних методів оцінки екологічного стоку ґрунтуються саме на ІНА [10]. В Україні ІНА широко не використовується, однак є приклади його часткового застосування для статистичного аналізу максимального стоку та аналізу впливу водосховищ [14, 15].

Отже, **метою** даної публікації є оцінка трансформації водного стоку Дністра внаслідок зарегулювання із використанням гідрологічного методу як першого кроку при визначенні параметрів екологічного стоку.

Вихідні дані та методи дослідження.

Як зазначено в Додатку II 1.4 до ВРД, оцінка змін гідрологічного режиму повинна починатися з інвентаризації всього басейну річки. Така оцінка певною мірою виконана в рамках розробки Плану управління річковим басейном Дністра [16] та спеціального тематичного звіту щодо впливу дністровських водосховищ на стан Дністра [15] – додатку до Транскордонного діагностичного аналізу басейну річки Дністер у рамках проекту ГЕФ/ПРООН/ОБСЄ/СЕК ООН «Сприяння транскордонному співробітництву та комплексному управлінню водними ресурсами у басейні річки Дністер». Згідно з [16] забори води, противопаводковий захист, коливання рівнів води нижче гребель гідроелектростанцій, регулювання стоку шляхом створення водосховищ та ставків в тій чи іншій мірі негативно впливають на природний гідрологічний режим річок.

На Дністрі найбільшими водосховищами є Дністровське та Дубосарське. Їх основні мофрометричні характеристики наведені в [15, 17]. Водосховища мають багатоцільове

призначення та забезпечують потреби зрошення, водопостачання, боротьби з повенями та паводками, вироблення електроенергії, судноплавства, рекреації та ін.

Дубосарське водосховище, що розташоване на відстані 351 км від гирла (рис. 1), здійснює у межений період - фактично тижневе, а в повені – добове регулювання стоку. Дністровське водосховище, що розташоване на відстані 677,7 км від гирла, здійснює сезонне з переходом на річне регулювання стоку – отже є головним регулятором на Дністрі, потребує більшої уваги з точки зору навантаження на гідрологічний режим та є об'єктом нашого дослідження.

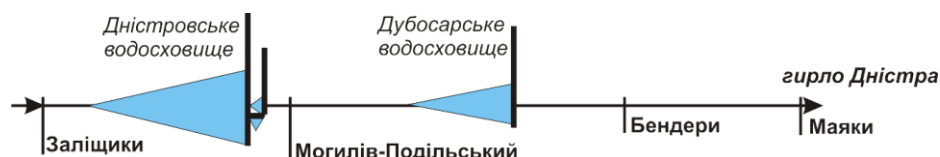


Рис.1. Лінійна схема розміщення руслових дністровських водосховищ

З метою оцінки трансформації гідрологічного режиму в роботі використані моніторингові ряди щоденних середньодобових витрат води постів Гідрометцентру України з 1990 по 2020 роки. Оцінку природного стоку здійснювали на основі даних гідрологічних створів у руслі Дністра (г/п Заліщики) та його притоках Серет, Збруч, Жванчик, Смотрич, Студениця, Ущиця, Нічлава, Калюс та Лядова. Аналіз зарегульованого стоку проводили ґрунтуючись на витрати води в створі Могилів-Подільський. В процесі виконання аналізу здійснювали просторове порівняння природного та зарегульованого стоку. Такий підхід дав можливість виключити кліматичний вплив на стокові характеристики річки.

Розрахунок статистичних даних, компонентів та показників річкового стоку проводили із застосуванням методу індикаторів гідрологічних змін (ІНА) за допомогою відповідного програмного забезпечення ІНА v.7.1 [18]. Для статистичної оцінки режиму водного стоку метод ІНА включає 33 гідрологічні характеристики, які є екологічно значущими для функціонування водних та наводководних систем (таблиця 1) [9, 19]. Перевагою методу є те, що за допомогою цих характеристик можна здійснити детальний порівняльний аналіз гідрологічних даних «до впливу» і «після впливу» та оцінити ступінь зміни режиму природного стоку. Програма ІНА дозволяє отримувати результати параметричної (середнє значення) та непараметричної (медіана/процентиль) статистики. Основною вимогою застосування методу є наявність багаторічного стокового ряду (20 років і більше).

Таблиця 1. Екологічно значущі гідрологічні характеристики [9]

Групи гідрологічних характеристик	Гідрологічна характеристика		Екологічна значущість групи
Величини місячних характеристик (середні або медіанні значення) група 1 12 показників	ІНА ₁	Витрата води у січні (м ³ /с)	забезпечення належних умов існування для водних організмів; підтримка ґрунтової вологи для рослин; забезпечення водою наземних тварин; покращення кормових умов для хижаків та ін. формування необхідного температурного та кисневого режимів; стабілізація продукційно-деструкційних процесів у водній масі.
	ІНА ₂	Витрата води у лютому (м ³ /с)	
	ІНА ₃	Витрата води у березні (м ³ /с)	
	ІНА ₄	Витрата води у квітні (м ³ /с)	
	ІНА ₅	Витрата води у травні (м ³ /с)	
	ІНА ₆	Витрата води у червні (м ³ /с)	
	ІНА ₇	Витрата води у липні (м ³ /с)	
	ІНА ₈	Витрата води у серпні (м ³ /с)	
	ІНА ₉	Витрата води у вересні (м ³ /с)	
	ІНА ₁₀	Витрата води у жовтні (м ³ /с)	
	ІНА ₁₁	Витрата води у листопаді (м ³ /с)	
	ІНА ₁₂	Витрата води у грудні (м ³ /с)	

Величини та тривалість спостережень екстремальних витрат води група 2 12 показників	ІНА ₁₃	1-денна мінімальна витрата (м ³ /с)	забезпечення балансу конкурентоспроможних, рудеральних і стресостійких рослин; створення місць для розвитку рослин; формування механізмів посухостійкості рослин за умов водного дефіциту; формування русла річки та фізичного середовища існування; забезпечення обміну поживними речовинами між руслом та заплавою; підтримка розвитку певних видів рослин на територіях заплави; збільшення площ природних нерестовищ та забезпечення умов для розмноження риб; обмеження розвитку інвазійних видів; покращення кормових умов для хижаків та ін.
	ІНА ₁₄	3-денна мінімальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₁₅	7-денна мінімальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₁₆	30-денна мінімальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₁₇	90-денна мінімальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₁₈	1-денна максимальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₁₉	3-денна максимальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₂₀	7-денна максимальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₂₁	30-денна максимальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₂₂	90-денна максимальна витрата (м ³ /с)	
Дати спостереження екстремальних витрат води група 3 2 показника	ІНА ₂₃	Число днів без стоку	забезпечення доступу до спеціальних місць проживання під час розмноження; встановлення необхідної поведінки для мігруючих риб в період нересту.
	ІНА ₂₄	Індекс базисного стоку ²	
Тривалість та періодичність спостережень низьких та високих витрат води група 4 4 показника	ІНА ₂₅	Календарна дата спостереження 1-денної мінімальної витрати	формування механізмів посухостійкості рослин за умов водного дефіциту; збільшення площ природних нерестовищ та забезпечення умов для розмноження риб; розмноження водоплаваючих птахів; підтримка різноманітності рослин у водно-болотних угіддях; утримання та накопичення поживних речовин; формування субстрату русла; підтримка сольового режиму гирлових ділянок та лиманів; контроль розвитку прибережної рослинності та ін.
	ІНА ₂₆	Календарна дата спостереження 1-денної максимальної витрати	
	ІНА ₂₇	Кількість періодів з низькою водністю	
	ІНА ₂₈	Тривалість маловодного періоду, днів у році	
Частота та інтенсивність зміни гідрологічної ситуації група 5 3 показника	ІНА ₂₉	Кількість періодів у році з високою водністю	формування водного стресу у рослин при зниженні рівня води; утримання тварин у пастках на островах та водно-болотних угіддях при підвищенні рівня води; осушення прибережних ділянок, загибель малорухомих водних організмів.
	ІНА ₃₀	Тривалість багатоводного періоду, днів у році	
	ІНА ₃₁	Інтенсивність збільшення витрат води - (м ³ /с)/доба	
	ІНА ₃₂	Інтенсивність зменшення витрат води - (м ³ /с)/доба	
	ІНА ₃₃	Частота зміни гідрологічної ситуації	

¹ 3-, 7-, 30- і 90-денні мінімуми та максимуми розраховуються методом ковзних середніх відповідної тривалості для кожного можливого періоду, який повністю знаходиться у межах водного року.

² Індекс базисного стоку отриманий шляхом відношення величин 7-денного мінімуму до середньорічної витрати води

Додатково ІНА пропонує розрахунок 34 характеристик для п'яти різних типів екологічного стоку: екстремально низький стік, низький стік, підвищений стік (стік в межах русла до виходу води на заплаву), незначні повені (паводки) та катастрофічні повені (паводки) [9, 19]. Тобто, фактично гідрограф стоку розчленовують за екологічно релевантними фазами водного режиму. Вони характеризують повний спектр умов, які необхідно підтримувати для збереження екологічної цілісності річки.

Загалом при аналізі зміненого гідрологічного режиму використовуючи метод ІНА можна користуватися 67 характеристиками. Однак метод ІНА, незважаючи на переваги здійснення такої точної оцінки змін гідрологічного режиму, не дає жодних порогових значень та рекомендованих показників екологічного стоку. В деяких наукових працях запропоновано зміни ранжувати на три класи: 0-33% – відсутні або незначні, 34-67% – середні, 68-100% – зміни високого ступеню [9].

Виклад основного матеріалу. Результати дослідження аналізу змін гідрологічних характеристик з використанням параметричної статистики представлені по групах згідно з табл. 1. Загалом, середні витрати води за 31-річний період природного та зарегульованого стоку мало відрізняються і становлять 265 м³/с та 253 м³/с відповідно. Зменшення річного стоку Дністра нижче Дністровського комплексного гідровузла в середньому на 4,8 % скоріш за все обумовлено величиною додаткового випаровування з поверхні водосховища та наявністю на цій ділянці річки водозаборів міст Кам'янець-Подільський та Хотин, а також, ймовірно, недостатньою точністю обліку стоку регулярними спостереженнями в створі Могилів-Подільський через його внутрішньодобові коливання [15].

Внутрішньорічний перерозподіл стоку представлений в таблиці 2. Практично всі зміни гідрологічних характеристик в створі Могилів-Подільський відносяться до класу незначних. Єдиний місяць, який потребує уваги з точки зору перерозподілу стоку це березень. Він характеризується зменшенням стоку на 34,3 % від природного і відноситься до класу середніх змін. Це пов'язано, перш за все, з акумулюванням води у Дністровському водосховищі до нормального підпірного рівня з метою проведення екологічного попуску у квітні-травні [20].

Результати обчислень змін середніх значень характеристик групи 2 представлені в табл. 3. Порівняння даних гідрологічних рядів за період 1990–2020 роки вказує на те, що після створення водосховища мінімальний стік збільшився, особливо це стосується 3- та 7-денного – на 30,3% та 32,1% відповідно. Одночасно спостерігається зменшення максимальної середньодобової витрати води – на 32%. Серед групи 2 найбільших трансформацій середнього ступеню зазнає індекс базисного стоку, відслідковується його збільшення на 41,9%.

Таблиця 2. Середні значення місячних витрат води природного і зарегульованого стоку та відсоток відхилення змінених гідрологічних характеристик

Група 1 (м ³ /с)		Природний стік – притік води до Дністровського водосховища включаючи бокову притоку (1990-2020 рр.)	Зарегульований стік (витрати води в створі Могилів- Подільський) (1990-2020 рр.)	Відхилення, %
ІНА ₁	Витрата води у січні	189	175	-7,3
ІНА ₂	Витрата води у лютому	223	186	-16,6
ІНА ₃	Витрата води у березні	359	236	-34,3
ІНА ₄	Витрата води у квітні	431	397	-7,8
ІНА ₅	Витрата води у травні	317	310	-2,2
ІНА ₆	Витрата води у червні	332	331	-0,3
ІНА ₇	Витрата води у липні	297	317	6,9
ІНА ₈	Витрата води у серпні	225	268	19,0
ІНА ₉	Витрата води у вересні	208	219	5,1
ІНА ₁₀	Витрата води у жовтні	201	207	3,0
ІНА ₁₁	Витрата води у листопаді	210	202	-4,0
ІНА ₁₂	Витрата води у грудні	191	183	-4,0
Середня щорічна витрата води		265	253	-4,8

Таблиця 3. Середні значення екстремальних величин природного і зарегульованого стоку та відсоток відхилення змінених гідрологічних характеристик

Група 2		Природні екстремальні величини (1990-2020 рр.)	Екстремальні величини зарегульованого стоку (1990-2020 рр.)	Відхилення, %
ІНА ₁₃	1-денна мінімальна витрата	87,5	108	23,1
ІНА ₁₄	3-денна мінімальна витрата	90	117	30,3
ІНА ₁₅	7-денна мінімальна витрата	93	123	32,1
ІНА ₁₆	30-денна мінімальна витрата	110	136	24,2
ІНА ₁₇	90-денна мінімальна витрата	151	159	5,06
ІНА ₁₈	1-денна максимальна витрата	1873	1275	-32,0
ІНА ₁₉	3-денна максимальна витрата	1586	1177	-25,8
ІНА ₂₀	7-денна максимальна витрата	1190	1030	-13,5
ІНА ₂₁	30-денна максимальна витрата	690	632	-8,4
ІНА ₂₂	90-денна максимальна витрата	454	419	-7,8
ІНА ₂₃	Число днів без стоку	0	0	–
ІНА ₂₄	Індекс базисного стоку	0,36	0,51	41,9

Характеристики групи 3 вказують на календарні періоди, коли протягом року відмічається мінімальна та максимальна величини витрати води. Так, за період дослідження, природна мінімальна витрата води, яка коливається в межах від 55 до 127 м³/с, переважно припадає на зимовий період або на кінець літа-початок осені. Мінімальна витрата води зарегульованого стоку з величинами 95–133 м³/с майже третину випадків спостерігається у березні. В інші періоди кількість спостережень мінімальних значень в році зменшується, особливо в літньо-осінній сезон. Загальне відхилення проходження мінімальної витрати становить 59 %, що відноситься до класу середніх змін. Сезони, коли проходять максимальні витрати води на ділянці річки нижче Дністровського водосховища, залишилися практично аналогічними з природними умовами – це періоди значних весняних повеней або літніх паводків.

Група 4 складається з характеристик, які описують тривалість і періодичність коливань водності та визначають тривалість маловодного та багатоводного періодів в році. В якості порогової витрати води для встановлення маловодного періоду нами використано показник мінімального попуску через буферний гідровузол з величиною 104 м³/с згідно з додатком 5 Правил експлуатації [17]. Для визначення багатоводного періоду задана порогова витрата води 405 м³/с, яка є, на нашу думку, екологічно значущою, оскільки в нижній течії Дністра на деяких ділянках починається вихід води на заплаву [15]. Результати щодо характеристик тривалості маловодного та багатоводного періодів природного та зарегульованого стоку наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Середні значення тривалості та періодичності коливань маловодного і багатоводного періодів природного та зарегульованого стоку, відсоток відхилення змінених гідрологічних характеристик

Група 4		Порогові витрати води	Природний стік (1990-2020 рр.)	Зарегульований стік (1990-2020 рр.)	Відхилення, %
ІНА ₂₇	Кількість періодів з низькою водністю	104	3,7	2,1	-43,2
ІНА ₂₈	Тривалість маловодного періоду, днів у році		8,9	0,5	-94,1
	Загальна тривалість маловодного періоду в році		33	1	-96,9
ІНА ₂₉	Кількість періодів у році з високою водністю	405	7,6	9,4	19,7
ІНА ₃₀	Тривалість багатоводного періоду, днів у році		7,1	5,3	-25,4
	Загальна тривалість багатоводного періоду в році		54	50	-7,4

Середня тривалість маловодного періоду в природних умовах складає 33 дні у році, нижче Дністровського водосховища це значення становить в середньому один день. Тобто, спостерігається суттєве скорочення як тривалості (до 94,1%), так і періодичності спостережень низьких витрат води, що пов'язано з виконанням Дністровським комплексним гідровузлом функції водозабезпечення. Найбільш маловодним (за період з 1990 по 2020 рр.) виявився 2015 рік, де більше третини року (138 днів) меженні природні витрати становили менше порогової величини 104 м³/с. Нижче за течією, в створі Могилів-Подільський, ця тривалість в період гідрологічної посухи 2015 року, склала всього лише два дні. Загалом в останні роки для природного стоку прослідковується тенденція до збільшення тривалості маловодного періоду. Середня загальна тривалість багатоводного періоду в природних умовах складає 55 днів у році, нижче Дністровського водосховища це значення практично не змінюється і становить в середньому 50 днів. Зміни щодо тривалості і періодичної багатоводного періоду класифікуються як незначні.

Групу 5 представляють характеристики, що виявляють зміни інтенсивності підвищення витрат води на підйомі гідрографа та зниження на спаді (позитивних або негативних послідовних добових різниць), а також частоту цих змін. Результати аналізу отриманих середніх значень характеристик групи 5 наведені в табл. 5.

Таблиця 5. Середні значення інтенсивності і частоти зміни добових витрат води природного та зарегульованого стоку та відсоток відхилення змінених гідрологічних характеристик

Група 5		Природні величини (1990-2020 рр.)	Величини зарегульованого стоку (1990-2020 рр.)	Відхилення, %
ІНА ₃₁	Інтенсивність збільшення витрат води, (м ³ /с)/доба	53,1	46,3	-12,7
ІНА ₃₂	Інтенсивність зменшення витрат води, (м ³ /с)/доба	-30,0	-42,8	42,4
ІНА ₃₃	Частота зміни гідрологічної ситуації	101	199	97,2

Суттєвих перетворень (97,2 %) зазнала частота гідрологічних змін (коливань витрат води), що, скоріше за все, пов'язано з проходженням хвиль попусків води Нижньодністровської ГЕС в районі г/п Могилів-Подільський. Не зважаючи на те, що програма не враховує внутрішньодобові коливання, при дискретних вимірах середньодобових коливань цілком можливе випадкове потрапляння на різні фази. Слід зазначити, що з віддаленням на 80 км від Дністровського гідроенергетичного комплексу попускові хвилі трансформуються і їх вплив на екосистему суттєво зменшується [21].

Підсумовуючи масштаби змін 33-х гідрологічних характеристик, можна побудувати гістограму, ранжуючи їх за категоріями: змінами високого ступеню, середніх та незначних змін (рис. 2).

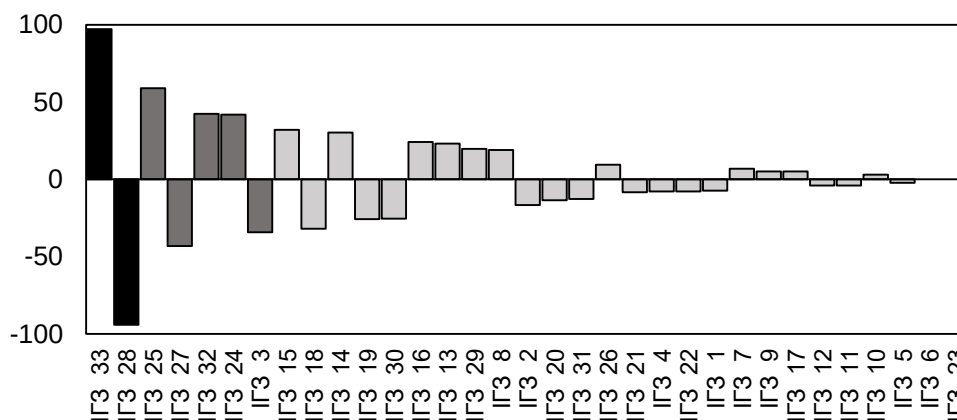


Рис. 2. Гістограма розподілу змін гідрологічних характеристик (у відсотках) внаслідок зарегулювання стоку (чорним кольором позначено зміни високого ступеню, темно сірим та світло сірим – середні та незначні зміни відповідно)

Отже, аналіз змін 33-х гідрологічних характеристик показав, що зарегулювання стоку Дністровським водосховищем призвело до ряду трансформацій у водному режимі. До змін високого ступеню відноситься:

- збільшення частоти зміни гідрологічної ситуації (ІНА₃₃) неподалік Дністровського комплексного гідровузла;
- зменшення тривалості маловодного періоду (ІНА₂₈).

До середніх змін відносяться показники, що вказують на:

- зміщення спостережень 1-денної мінімальної витрати на більш ранні терміни;
- зменшення періодичності спостережень маловодного періоду;
- збільшення інтенсивності зниження витрат на спаді гідрографа;
- збільшення значення індексу базисного стоку;
- зменшення середньомісячних витрат води у березні.

Під час аналізу трансформацій 34 характеристик для п'яти різних типів екологічного стоку детально вивчалися способи поділу гідрографу на екстремальний низький стік, низький стік, підвищений стік, незначні повені (паводки) та катастрофічні паводки. Він може бути здійснений автоматично програмою, або користувачем. Так, наприклад при поділі гідрографа для річки Південний Буг автори дослідження [14] під час аналізу максимальних витрат використовували алгоритм, який запропоновано розробником ІНА [9]. Однак, на наш погляд, для Дністра він є недосить вдалим, оскільки не враховує всю специфіку гідроморфологічних природних умов річки. Запропоновані граничні показники для поділу на різні типи екологічного стоку наведені в табл. 6.

Таблиця 6. Граничні природні показники для поділу гідрографа на типи екологічного стоку

Тип екологічного стоку	Значення граничних витрат води	Обґрунтування
Екстремальний низький стік	нижче 104 м ³ /с	характеристика мінімального стоку згідно з [17]
Низький стік	нижче 189 м ³ /с*	50-ий процентиль як запропоновано ІНА
Підвищений стік	вище 302 м ³ /с	75-ий процентиль як запропоновано ІНА
Незначні повені (паводки)	максимальна витрата 486 м ³ /с і більше	характеристика визначена згідно з [22]
Екстремальні повені (паводки)	максимальна витрата 2190 м ³ /с і більше	небезпечна відмітка на г/п Могилів-Подільський складає 600 см, що згідно з кривою координат відповідає витраті 2190 м ³ /с

* – значення підвищеного стоку розпочинається тоді, коли щоденні витрати води зростають більше ніж на 25% за день і закінчується, коли відбувається зниження щоденних витрат води менше ніж на 10% за добу.

Приклад поділу гідрографа стоку за 2020 рік для г/п Заліщики на різні типи екологічного стоку наведено на рис.3.

Результати дослідження аналізу змін деяких характеристик різних типів екологічного стоку з використанням параметричної статистики представлені в табл. 7. До змін високого ступеню відноситься суттєве скорочення тривалості спостереження екстремально низького стоку та збільшення більше ніж у два рази періодичності фази підвищеного стоку при одночасному незначному скороченні його тривалості. До середніх змін належить: зменшення періодичності екстремальних паводків та деякого збільшення інтенсивності зміни витрат на спаді гідрографа фази підвищеного стоку.

Отримані значення характеристик можуть мати практичний інтерес при встановленні регламентів штучних гідрографів. Наприклад, у рекомендаціях роботи [20] було запропоновано перегляд діючих вимог щодо добового приросту витрат води на підйомі гідрографа під час здійснення весняного попуску, який наразі на Міжвідомчій комісії по встановленню режимів роботи дніпровських та дністровських водосховищ в переважній більшості узгоджується на рівні 50 м³/с. Як видно з отриманих даних, під час формування незначних повеней інтенсивність збільшення природних витрат води складає в середньому 186 м³/с на добу (див. табл. 7).

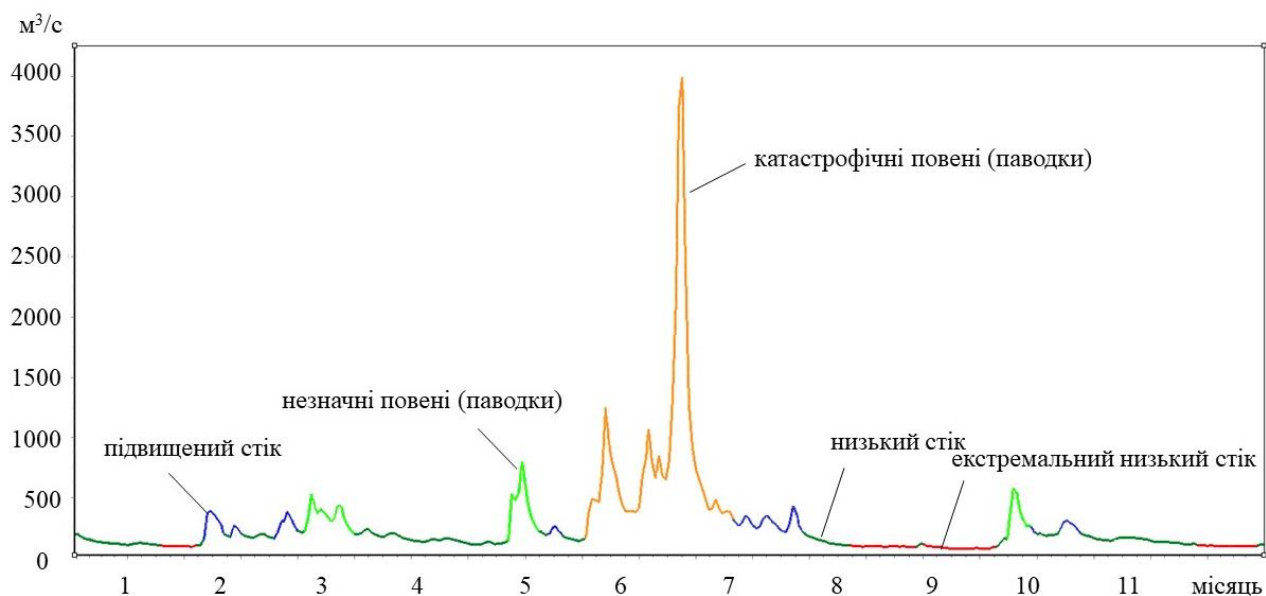


Рис. 3. Поділ гідрографа стоку на типи екологічного стоку в створі г/п Заліщики на прикладі 2020 року

Таблиця 7. Зміна середніх значень деяких характеристик різних типів екологічного стоку

Типи екологічного стоку та їх характеристики		Природні значення (1990-2020 рр.)	Значення зарегульованого стоку (1990-2020 рр.)	Відхилення, %
Екстремально низький стік	середня витрата, м³/с	91,7	99,2	8,2
	тривалість, днів у році	11	1,4	-87,3
	періодичність, кількість раз у році	3,9	2,8	-28,7
Низький стік	середня витрата, м³/с	179	169	-5,6
Підвищений стік	середня витрата, м³/с	325	288	-11,1
	тривалість, днів у році	5,3	3,4	-37,2
	періодичність, кількість раз у році	7,1	15,6	118
	інтенсивність збільшення витрат води, (м³/с)/доба	73,7	74,6	1,2
	інтенсивність зменшення витрат води, (м³/с)/доба	-32,9	-54,6	66,0
Незначні повені (паводки)	середня витрата, м³/с	885	785	-11,3
	тривалість, днів у році	18,7	18,2	-2,7
	періодичність, кількість раз у році	4,0	3,7	-6,5
	інтенсивність збільшення витрат води, (м³/с)/доба	186	123	-33,9
	інтенсивність зменшення витрат води, (м³/с)/доба	-61,0	-72,2	18,4
Екстремальні повені (паводки)	середня витрата, м³/с	3389	3280	-3,2
	тривалість, днів у році	44,9	39,7	-11,7
	періодичність, кількість раз у році	0,26	0,01	-62,5
	інтенсивність збільшення витрат води, (м³/с)/доба	310	233	-24,9
	інтенсивність зменшення витрат води, (м³/с)/доба	-152	-140	-7,8

Висновки. В роботі визначені основні зміни гідрологічного режиму Дністра внаслідок зарегулювання стоку на основі аналізу 33-х гідрологічних характеристик та 34-х характеристик різних типів екологічного стоку. Загалом суттєві або середні трансформації гідрологічного режиму зарегульованого стоку можна розділити на декілька категорій. Перша, що пов'язана зі змінами екстремальних величин, стосується важливих питань водозабезпечення та захисту населення від паводків. В цій категорії при встановленні певних регламентів витрат води та досягненні цілей ВРД необхідно проявляти певну гнучкість при управлінні, і чітко розуміти екологічні наслідки. В другу категорію відносяться характеристики, що визначають частоту зміни гідрологічної ситуації та інтенсивність зменшення витрат води на спаді гідрографа у фазі підвищеного стоку. Ці характеристики переважно пов'язані з добовим регламентом експлуатації ГЕС. Особливої уваги, на наш погляд, потребує оцінка наслідків зменшення витрат води у березні, особливо в гирловій ділянці Дністра.

Однак, визначені вищевказані гідрологічні зміни мало що говорять про ступінь впливу на біоту та біологічні процеси. Залишається складна робота з інтерпретації та документування специфічних для організмів і угруповань реакцій на ці гідрологічні зміни. Висування гіпотез, побудова і перевірка моделей відбувається на наступних рівнях ієрархічного підходу з оцінки і впровадження екологічного стоку.

Список літератури

1. Arthington AH, Bhaduri A, Bunn SE, Jackson SE, Tharme RE, Tickner D, Young B, Acreman M, Baker N, Capon S, Horne AC, Kendy E, McClain ME, Poff NL, Richter BD and Ward S The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows. *Front. Environ. Sci.* 2018. 6:45. doi: 10.3389/fenvs.2018.00045
2. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive / CIS guidance document n°31. Technical Report. European Union. 2015. 108 p.
3. Tharme R. E. "A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers" // *River Research and Applications*. 2003.19: 397-441.
4. Petts G.E. Instream Flow Science For Sustainable River Management // *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 2009. 45:1071–1086. doi: 10.1111/j.1752-1688.2009.00360.x
5. Linnansaari T., Monk. W.A., Baird D.J. and Curry. R.A. Review of approaches and methods to assess Environmental Flows across Canada and internationally // *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2012. 039. Viii. 74 p.
6. Poff. N. L., Richter. B. D., Arthington. A. H. et al. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards // *Freshwater Biology* 2010. 55:147-170.
7. Bussetini M., Vezza P. Guidance on Environmental Flows. Integrating E-flows Science with Fluvial Geomorphology to Maintain Ecosystem Services. 2019. WMO-No. 1235, 52 p.
8. Opperman JJ, Kendy E, Tharme RE, Warner AT, Barrios E, Richter BD. A Three-Level Framework for Assessing and Implementing Environmental Flows // *Front. Environ. Sci.* 2018. 6:76. doi: 10.3389/fenvs.2018.00076
9. Richter B.D., Baumgartner J.V., Powell J. and Braun D.P. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems // *Conservation Biology*. 1996. 10(4). 1163-1174.
10. Rinaldi. M., B. Belletti; W. Van de Bund, W. Bertoldi, A. Gurnell, T. Buijse, E. Mosselman. Review on eco-hydromorphological methods / Editors N. Friberg. M. O'Hare and A. Poulsen. 2013. Deliverable of the EU FP7 REFORM project.
11. Poff. N.L., J.D. Allan, M. B. Bain et al. The natural flow regime: a new paradigm for riverine conservation and restoration // *BioScience*.1997.47.769-784.
12. Arthington A.H. Environmental flows. Saving rivers in the Third Millennium. 2012. University of California Press. 406 pp.
13. Junk. W. J.; P. B Bayley and R.E. Sparks The Flood Pulse Concept in River Floodplain Systems. In: Doge. D.P. (Ed.). *Proc. Int. Large River Symp (Lars)*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.. 1989. 106: 110-127.
14. Л. О. Горбачова, В. С. Приходькіна, Б. Ф. Христюк, Т. О. Заболотня, В. О. Розлач. Статистичний аналіз максимального стоку води річки Південний Буг за методом «Indicators of hydrologic alteration» // *Український гідрометеорологічний журнал*, 2021, No 27. pp. 42-54 doi: 10.31481/uhmj.27.2021.05 ISSN 2311-0902 (print). 2616-7271 (online).

15. V. Hrebin, V. Hubanov, O. Hulciaeva et al. Analysis of the effects of Dniester reservoir on the state of the Dniester river. Report of the Moldovan-Ukrainian expert group, thematic supplement to the Transboundary Diagnostic Analysis of the Dniester / technical editing N. Denisov. Vienna-Geneva-Kyiv-Chisinau, 2019. 64 p.
16. План управління річковим басейном Дністра (2025-2030) / Ярошевич О., Афансьєв С.. Дністровське басейнове управління водних ресурсів та ін. Версія 1. липень 2021. 232 с.
17. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України № 209 від 23 травня 2022 року «Про затвердження Правил експлуатації водосховищ Дністровського комплексного гідровузла», зареєстровано в Міністерстві юстиції України 13 червня 2022 року за № 635/37971.
18. The Nature Conservancy. Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual. 2009. URL: <https://www.conservancygateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicAlteration/Documents/IHAV7.pdf>
19. Richter. B. D. and G. A. Thomas. Restoring environmental flows by modifying dam operations // Ecology and Society. 2007. 12(1) URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art12/>
20. Oksana Hulciaeva, Nickolai Denisov Analysis of the goals, limitations and opportunities for optimizing the regime of spring ecological reproductive releases from the Dniester reservoir / Global Environment Facility project "Enabling Transboundary Cooperation and Integrated Water Resources Management in the Dniester River Basin. OSCE. Kyiv-Geneva, 2020. 19 p.
21. Гуляєва О.О. Попусковий режим Дністровського гідроенергетичного комплексу та його вплив на абіотичні компоненти екосистеми транскордонної ділянки Дністра / Всеукраїнська конференція молодих вчених «Метеорологія, гідрологія, моніторинг в контексті екологічних викликів». Київ, 2016. С. 22–23.
22. Кожем'якін Д. В. Характеристика паводкового режиму р. Дністер – м. Заліщики // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2016. Т. 4. С. 53-62. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2016_4_7

References

1. Arthington AH, Bhaduri A, Bunn SE, Jackson SE, Tharme RE, Tickner D, Young B, Acreman M, Baker N, Capon S, Horne AC, Kendy E, McClain ME, Poff NL, Richter BD and Ward S The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows. Front. Environ. Sci. 2018. 6:45. doi: 10.3389/fenvs.2018.00045
2. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive / CIS guidance document n°31. Technical Report. European Union. 2015. 108 p.
3. Tharme R. E. "A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers" // River Research and Applications. 2003.19: 397-441.
4. Petts G.E. Instream Flow Science For Sustainable River Management // JAWRA Journal of the American Water Resources Association 2009. 45:1071–1086. doi: 10.1111/j.1752-1688.2009.00360.x
5. Linnansaari T., Monk. W.A., Baird D.J. and Curry. R.A. Review of approaches and methods to assess Environmental Flows across Canada and internationally // DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012. 039. Viii. 74 p.
6. Poff. N. L., Richter. B. D., Arthington. A. H. et al. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards // Freshwater Biology 2010. 55:147-170.
7. Bussettini M., Vezza P. Guidance on Environmental Flows. Integrating E-flows Science with Fluvial Geomorphology to Maintain Ecosystem Services. 2019. WMO-No. 1235, 52 p.
8. Opperman JJ, Kendy E, Tharme RE, Warner AT, Barrios E, Richter BD. A Three-Level Framework for Assessing and Implementing Environmental Flows // Front. Environ. Sci. 2018. 6:76. doi: 10.3389/fenvs.2018.00076
9. Richter B.D., Baumgartner J.V., Powell J. and Braun D.P. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems // Conservation Biology. 1996. 10(4). 1163-1174.
10. Rinaldi. M., B. Belletti; W. Van de Bund; W. Bertoldi; A. Gurnell; T. Buijse; E. Mosselman Review on eco-hydromorphological methods / Editors N. Friberg. M. O'Hare and A. Poulsen. 2013. Deliverable of the EU FP7 REFORM project.
11. Poff. N.L., J.D. Allan, M. B. Bain et al. The natural flow regime: a new paradigm for riverine conservation and restoration // BioScience.1997.47. p. 769-784.
12. Arthington A.H. Environmental flows. Saving rivers in the Third Millennium. 2012. University of California Press. 406 pp.
13. Junk. W. J.; P. B Bayley and R.E. Sparks. The Flood Pulse Concept in River Floodplain Systems. In: Doge. D.P. (Ed.). Proc. Int. Large River Symp (Lars). Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.. 1989. 106: 110-127.

14. L. O. Horbachova, V. S. Prykhodkina, B. F. Khrystiuk, T. O. Zabolotnia, V. O. Rozlach Statystychnyi analiz maksimalnogo stoku vody richky Pivdennyi Buh za metodom «Indicators of hydrologic alteration» [Statistical analysis of the maximum water flow of the Southern Bug River using the "Indicators of hydrologic alteration" method] // Ukrainian hydrometeorological journal. 2021. 27. pp. 42-54 doi: 10.31481/uhmj.27.2021.05 ISSN 2311-0902 (print). 2616-7271 (online).
15. V. Hrebin, V. Hubanov, O. Hulciaeva et al. Analysis of the effects of Dniester reservoir on the state of the Dniester river. Report of the Moldovan-Ukrainian expert group, thematic supplement to the Transboundary Diagnostic Analysis of the Dniester / technical editing N. Denisov. Vienna-Geneva-Kyiv-Chisinau, 2019. 64 p.
16. Plan upravlinnia richkovym baseinom Dnistra (2025-2030) [Management plan of the Dniester river basin] / Yaroshevych O. Afansiev S. Dnistrovske baseinove upravlinnia vodnykh resursiv et al. Version 1. 2021. 232 c.
17. Nakaz Ministerstva zakhystu dovkilia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy № 209 vid 23 travnia 2022 roku «Pro zatverdzhennia Pravyl ekspluatatsii vodoskhovyshch Dnistrovskoho kompleksnogo hidrovuzla», zareiestrovano v Ministerstvi yustytzii Ukrainy 13 chervnia 2022 roku za № 635/37971 [Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine No. 209 of May 23, 2022 "On Approval of the Rules for the Operation of Reservoirs of the Dniester Hydropower Complex", registered in the Ministry of Justice of Ukraine on June 13, 2022 under No. 635/37971.].
18. The Nature Conservancy. Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual. 2009. URL: <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicAlteration/Documents/IHAV7.pdf>
19. Richter. B. D. and G. A. Thomas. Restoring environmental flows by modifying dam operations // Ecology and Society. 2007. 12(1) URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art12/>
20. Oksana Hulciaeva, Nickolai Denisov. Analysis of the goals, limitations and opportunities for optimizing the regime of spring ecological reproductive releases from the Dniester reservoir / Global Environment Facility project "Enabling Transboundary Cooperation and Integrated Water Resources Management in the Dniester River Basin. OSCE. Kyiv-Geneva, 2020. 19 p.
21. Hulciaeva O. Popuskovy rezhy Dnistrovskoho hidroenerhetychnoho kompleksu ta yoho vplyv na abiotychni komponenty ekosystemy transkordonnoi dilianky Dnistra [The release flow regime of the Dniester hydropower complex and its impact on the abiotic components of the ecosystem of the transboundary section of the Dniester] / Vseukrainska konferentsiia molodykh vchenykh «Meteorolohiia, hidrolohiia, monitorynh v konteksti ekolohichnykh vyklykiv». Kyiv, 2016. C. 22–23.
22. Kozhem'iakin D. V. Kharakterystyka pavodkovoho rezhymu r. Dniester – m. Zalishchyky [Characteristics of the flood regime of the Dniester River - Zalishchyki] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2016. T. 4. C. 53-62. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghe_2016_4_7

**Analysis of altered hydrological regime of the Dniester river as basic for ecological flows assessment
Hulciaeva O.O. Usov O.Ye.**

The theoretical and practical aspects of implementing the concept of ecological flow in Ukraine in accordance with the Water Framework Directive and CIS guidance document n°31 "Ecological flows" are examined in the article. On the example of the Dniester, a hydrological method has been applied which is the first step in a three-tiered hierarchy approach to accommodate ecological flows applications. The transformation of the water regime owing to flow regulation has been analyzed using hydrological alteration indicators.

With the help of the specific IHA v.7.1 software, a spatial comparative analysis between the average daily discharges water in hydrologic sections Zalyshky, including the lateral tributaries, and Mohyliv-Podilskyi from 1990 to 2020 has been carried out. In the article 33 hydrologic parameters which characterize attributes of the flow regime relevant to the ecosystem functioning and 34 parameters for various types of ecological flow have been analyzed using parametric statistics. As a result, we came to the conclusions that duration, peak flow, timing of extreme values (minimum and maximum flow) and characteristics that determine the frequency of changes in the hydrological situation and fall rate of high flow pulses are subjected to the greatest changes due to regulations flow.

As a result of the intra-annual redistribution of runoff by the reservoir, the discharge water on March is suffered the greatest transformation. It is related with the accumulation of water in the Dniester reservoir to the normal water level for the purpose of carrying out ecological release on April-May. The obtained values of the characteristics may have a keen practical interest in establishing regulations for artificial spring hydrographs of release.

Approbation of IHA method confirmed the possibility of its application on the rivers of Ukraine, provided long-term series of hydrological monitoring are available. The obtained results can serve as a basis for the development of a hydroecological monitoring programs for establishment an ecologically justified mode of operation of reservoirs. But there is still a lot of work of investigating and documenting organism- and community-specific responses to the above-mentioned hydrological alterations.

Key words: ecological flows, indicators of hydrological alteration, hydrological parameters, discharge of flow, Dniester river.

Надійшла до редколегії 23.11.2022

Сокольчук К.І.

Інститут гідрології Словацької академії наук, Словацький сільськогосподарський університет в Німрі

ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ МЕТОДІВ ПРОСТОРОВОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ДО ГІДРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ НА ПРИКЛАДІ БАСЕЙНУ РІЧКИ ПРИП'ЯТЬ (В МЕЖАХ УКРАЇНИ)

Стаття присвячена опису та порівнянню методів просторової інтерполяції гідрологічних даних. Розглядаються чотири методи просторової інтерполяції: метод зворотних зважених відстаней (IDW), триангуляція (TIN), сплайн-інтерполяція та Kriging. Джерелом даних є промірна гідрологічна мережа, розташована на території басейну Прип'яті та прилеглих річкових басейнів, в межах України. Було створено картосхеми просторового розподілу середньорічного модулю стоку та оцінено точність отриманих значень. Встановлено, що метод IDW дає кращі результати для узагальнення гідрологічних даних по досліджуваній території. Наступним за надійністю є метод сплайн-інтерполяції, з плавними переходами. Він також може вважатись одним з найбільш перспективних для впровадження. Kriging відрізняється невеликими похибками, але доволі значним неприродним викривленням результатів та кількістю артефактів. Найменш надійним серед досліджуваних методів став метод TIN.

Ключові слова: просторова інтерполяція, геоінформаційні системи, IDW, TIN, Kriging, Spline, модуль стоку, Прип'ять

Вступ. Дані інструментальних вимірювань на мережі гідрологічних спостережень є основою гідрологічних розрахунків та прогнозів. Просторова репрезентативність даних залежить від щільності гідрологічної мережі, яка обумовлює гідрологічну вивченість території, точність визначення водних ресурсів.

Для отримання нерозривної карти розподілу характеристик стоку по досліджуваних територіях необхідно застосовувати різні методи просторової інтерполяції. Вибір оптимального методу залежить від вибірки даних, щільності мережі спостережень, фізико-географічних умов території та особливостей просторового розподілу кожної конкретної характеристики [5]. На сьогоднішній день найбільш зручні методи інтерполяції передбачають використання геоінформаційних систем (ГІС). ГІС є необхідними та корисними інструментами в управлінні поверхневими водами, опис їх можливостей переваг використання ГІС можна знайти в працях українських та міжнародних дослідників [2, 7, 8, 9, 10, 11].

Об'єктом дослідження є територія басейну річки Прип'ять в межах України. Незважаючи на низку робіт, присвячених інтерполяції гідрологічних даних у межах басейну Прип'яті, повноцінні порівняння різних методів інтерполяції на практиці не проводились. Аналізи такого типу проводяться для річкових басейнів по всьому світу, але їх результати неможливо точно екстраполювати на території з іншими природними умовами. Варто також зазначити, що басейн р. Прип'ять має недостатньо щільну мережу спостережних пунктів і нерівномірний розподіл гідрологічних постів по всьому басейну [15]. Це накладає додаткові обмеження для просторової інтерполяції при вивченні річкових басейнів та управління річковими басейнами.

Метою даної роботи є порівняння ефективності методів TIN, IDW, сплайн та Kriging при просторовій інтерполяції гідрологічних даних, висвітлення особливостей результатів інтерполяції та оптимальних налаштувань для кожного методу.

Вихідні дані та методи досліджень. Дане дослідження проводиться на базі даних спостережень з басейну річки Прип'ять, в межах України. Прип'ять — річка в Україні, розташована у Волинській, а також частково в Рівненській і Київській областях та в Білорусі. Найбільша річка серед правих приток Дніпра, впадає в Київське водосховище. Загальна площа басейну річки становить 121 тис. км². Білоруська частина басейну займає приблизно 43% площі водозбору, українська – близько 57% [14].

Басейн Прип'яті займає майже всю північно-західну частину України. Постійні пости гідрологічної вимірювальної мережі розташовані на правому березі Прип'яті. Басейн

Прип'яті має добре розвинену гідрографічну мережу, близько 10,5 тис. річок і струмків. Найбільш значними правобережними притоками є Турія, Стохід, Стир, Горинь, Ствига, Уборть, Словечна, Солонь, Уж.

Клімат на території досліджуваного басейну помірно континентальний з теплим і вологим літом і досить м'якою зимою. Весна тривала і нестійка, з частим чергуванням холодних і теплих періодів, літо тепле і дощове. Річна кількість опадів на території басейну коливається від 550 до 600 мм [4].

Для водного режиму характерні тривала весняна повінь, короткочасна літня межень, яка порушується дощовими паводками та майже щорічними осінніми підвищеннями рівня води. На весну припадає 65% річного стоку [16].

Більша частина басейну Прип'яті розташована в межах Поліської низовини, південно-західна частина басейну — на Волинській височині. Рельєф переважно рівнинно-хвилястих низовин і рівнин. Басейн Прип'яті є однією з найбільш заболочених і лісистих територій України. Рельєф однорідний, ландшафт і метеорологічні умови змінюються плавно, що дозволяє розраховувати на достовірні результати просторової інтерполяції. Враховуючи подібні фізико-географічні умови сусідніх вододілів, для отримання більш достовірних результатів було використано також дані з басейну р. Тетерів та р. Південний Буг.

В якості основної гідрологічної характеристики для даного дослідження обрано середній багаторічний модуль стоку. Він розрахований на основі даних стаціонарних гідрологічних постів. Ця характеристика широко використовується для створення картографічних матеріалів, порівняння вододілів тощо. За допомогою ГІС розраховано центри для водозборів, визначених гідрологічними постами, їх представлено на рис. 1. Дослідження базується на даних 33 постійних гідрологічних постів спостережень, 28 у межах басейну Прип'яті та 5 за його межами.

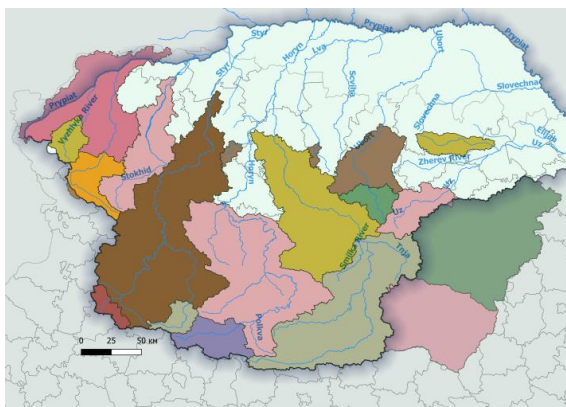


Рис. 1. Поділ басейну Прип'яті на окремі водозбори

Максимальне значення модулю стоку становить $5,94 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, мінімальне $2,1 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, а середнє по досліджуваній території $3,84 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$. Середня тривалість спостережень за стоком води становить понад 60 років. Враховуючи певну нерівномірність розвитку мережі гідрологічних спостережень, для подальшої оцінки та усереднення даних використовувалися всі наявні дані з діючих гідрологічних постів. За відсутності даних в окремі роки вони заповнювалися за допомогою кореляційних залежностей. Серії спостережень достатньо репрезентативні, а параметри стоку в цілому надійні та неупереджені. Ця закономірність порушується для двох рядів даних: на постах Прип'ять - Річиця та Норин - Славенщина [15]. Імовірно фізико-географічні особливості їх басейнів і антропогенна діяльність вплинули на середньорічний стік на цих станціях. Однак, враховуючи, що інтерполяція відбувається від центрів водозборів, а ймовірні причини різких змін середньорічного стоку є специфічними для території цих водозборів загалом, ці дані також були використані в дослідженні.

Порівнювали чотири методи просторової інтерполяції, а саме триангуляцію, метод зворотного зважування відстаней, Kriging та сплайн. За необхідності та з метою порівняння використовувалися також різні базові налаштування.

Перший метод - триангуляція (TIN), заснований на лінійній інтерполяції і близький до ручної лінійної інтерполяції. Початкові точки з'єднуються таким чином, щоб отримана поверхня була покрита трикутниками і жодна зі сторін трикутника не перетинала сторони інших трикутників. Значення поверхні в точках сітки, що знаходяться всередині трикутника, розраховуються виходячи з того, що вони належать площині, котра проходить через вершини конкретного трикутника [17]. Отримана поверхня обов'язково проходить

через усі початкові точки, в яких значення поверхні вже задані. Недостатня кількість вихідних точок призводить до появи на карті великих прямолінійних відрізків; результат, отриманий у цьому випадку, буде помилкою методу [3].

Метод зворотних зважених відстаней базується на обчисленні вагових коефіцієнтів, за допомогою яких “зважуються” значення поверхні у вихідних точках при побудові інтерполяційної функції. Побудована функція використовується в подальшому для розрахунку значень поверхні у вузлах Grid-сітки. Ваговий коефіцієнт, що надається окремій вихідній точці для розрахунку значення поверхні у вузлі Grid-сітки, пропорційний степені зворотної відстані від вихідної точки до розрахункового вузла Grid-сітки. Степінь зворотної відстані та критична відстань (або кількість вихідних точок), при перевищенні якої взаємний вплив точок при відтворенні поверхні стає несуттєвим, задаються дослідником. При обчисленні значення поверхні у вузлі Grid-сітки (при побудові інтерполяційної функції) сума всіх вагових коефіцієнтів вихідних точок, що при цьому використовуються, дорівнює одиниці, а ваговий коефіцієнт кожної вихідної точки є долею цієї загальної одиничної ваги. Якщо вихідна точка співпадає з вузлом Grid-сітки, то ваговий коефіцієнт цієї вихідної точки приймається рівним одиниці, а для всіх інших вихідних точок – нулю. В такому разі значення у вузлі Grid-сітки повністю співпадає зі значенням поверхні у вихідній точці, тобто метод працює як точний інтерполятор. Недоліком методу зворотних зважених відстаней є генерація структури ізоліній типу “бичаче око” навколо точок з великими або малими значеннями величини поверхні. Для зменшення впливу згаданих точок при реалізації методу можна задати значення параметру, що згладжує інтерполяційну функцію. Однак чим більше параметр, що згладжує, тим менший вплив має кожна вихідна точка на розрахункове значення у вузлі Grid-сітки. [13]. Для цього дослідження було використано два значення, $P=2$ та $P=5$, вони є орієнтовними та в межах яких результати є відносно надійними для наявних даних.

Сплайн — третій метод інтерполяції, який оцінює значення за допомогою математичної функції, котра мінімізує загальну кривизну поверхні. Метод підганяє математичну функцію до заданої кількості найближчих вхідних точок, проходячи через точки вибірки. Цей метод дуже корисний для генерування величин, що плавно змінюються, таких як висота, висота ґрунтових вод або концентрація забруднення. Можна з значним ступенем достовірності припустити, що гідрологічна характеристика вододілів має схожі особливості розподілу.

Варто зазначити, що в українській науковій літературі сплайн не є вичерпно представленим для гідрологічної інтерполяції. Це може бути пов'язано зокрема з відсутністю цього методу в стандартному наборі інструментів однієї з найпоширеніших ГІС (QGIS), тобто необхідно застосовувати SAGA ГІС-модуль в QGIS, чи інше програмне забезпечення.

Kriging — четвертий метод, який був обраний для порівняння. Він припускає, що відстань або напрямок між точками вибірки відображає просторову кореляцію, яка може бути використана для пояснення зміни поверхні. Інструмент Kriging підбирає математичну функцію для визначеної кількості точок або всіх точок у межах заданого радіуса, щоб визначити вихідне значення для кожного місця [3].

IDW та сплайн називають методами детермінованої інтерполяції, оскільки вони безпосередньо базуються на навколишніх вимірних значеннях та на визначених математичних формулах, які визначають гладкість отриманої поверхні. Kriging представляє в даному дослідженні геостатистичні методи, які базуються на статистичних моделях та включають в себе автокореляцію, статистичні зв'язки між вимірними точками. Завдяки цьому геостатистичні методи не тільки мають можливість створювати поверхню прогнозування, але також забезпечують певну міру достовірності та точності прогнозів [3, 12].

Оцінку використаних методів проводили шляхом визначення відмінностей між фактичними значеннями модулю стоку та значеннями, знятими зі створених карт. Оцінка проводилася двома способами. Перший – це оцінка відмінностей точок спостереження, використаних для процедури інтерполяції (22 “неконтрольні точки” спостереження із загальних 28 точок). Цей тип оцінки необхідний для визначення точності процедури інтерполяції щодо існуючих (заданих) точок спостереження. Для другого типу оцінювання

було відібрано 6 точок із 28 у межах досліджуваної території та виключено з вихідної бази даних процедури інтерполяції ("контрольні точки"). Оцінку проводили на основі порівняння виміряних (реальних) та інтерпольованих значень у цих контрольних точках. Це було зроблено для перевірки доцільності використання карт, отриманих під час досліджень, для вивчення гідрологічно невивчених водозборів. Точки вибиралися за принципом рівномірного розподілу по території. Гідрологічні пости водозборів, прилеглих до басейну Прип'яті, в цій оцінці не враховувалися.

Щоб обчислити середню абсолютну похибку (MAE) отриманих результатів, усі індивідуальні відмінності зводять у квадрат, підсумовують і суму ділять на загальну кількість перевірених точок [1].

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y_p|}{n} \quad (1)$$

де y_i - фактичне значення, отримане із спостережень, y_p - прогнозоване значення, отримане шляхом інтерполяції, n - кількість точок.

Квадратний корінь із цього значення позначається як RMSE (середньоквадратична помилка):

$$RMAE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_p)^2}{n}} \quad (2)$$

Відхилення також представлено у відсотках шляхом ділення середньої абсолютної похибки на середній реальний (виміряний) модуль стоку.

Порівняння такого типу не може базуватися лише на математичній оцінці результатів. Було оцінено також форму ізоліній, наявність помилок на інтерпольованій поверхні, які називаються артефактами — небажаними ефектами, які є результатом використання високоточних ГІС для обробки низькоточних просторових даних, позиційних помилок, помилок атрибутів тощо [6]. Також було враховано загальну відповідність розподілу середнього багаторічного модулю стоку в межах досліджуваної території.

Результати. Для досягнення цілей дослідження було створено мапи просторового розподілу середніх багаторічних модулів стоку з застосуванням різних методів просторової інтерполяції.

Результати порівняння фактичних та інтерпольованих значень наведено в таблиці 1. В абсолютних значеннях найменшу похибку має метод експоненціального методу Kriging, другим за точністю є метод IDW. Найбільші похибки демонструють значення, отримані з допомогою лінійної TIN і сферичного Kriging. При цьому в середньому всі отримані значення відхиляються від фактичних значень середньорічного багаторічного модулю стоку менше ніж на 6%, тобто всі методи дають результат, близький до виміряних значень.

Таблиця 1. Оцінка методів інтерполяції

Метод інтерполяції	Порівняння					
	неконтрольних точок			контрольних точок		
	Похибка середньорічного модулю стоку		Середнє відхилення	Похибка середньорічного модулю стоку		Середнє відхилення
	MSE	RMSE	%	MSE	RMSE	%
	0,14	0,38	4,03	0,55	0,74	15,13
Kriging сферичний	0,17	0,41	4,78	0,35	0,59	9,70
Kriging експоненціальний	0,08	0,29	2,25	0,31	0,56	8,42
TIN кубічна	0,15	0,38	3,85	0,43	0,65	11,63
TIN лінійна	0,18	0,43	5,07	0,36	0,60	10,20
IDW, P=5	0,11	0,33	3,02	0,42	0,65	11,66
IDW, P=2	0,10	0,31	2,73	0,18	0,43	5,43

Оцінка точності отриманих карт під час перевірки для раніше виділених контрольних точок, як і очікувалося, показала більші похибки, але загальні тенденції зберігаються. Kriging показує найточніші результати, за якими послідовно йдуть IDW, TIN і сплайн. Останній метод демонструє значення похибок, що перевищує 15% для оцінки басейнів у межах досліджуваної території.

З усіх чотирьох використаних методів лише IDW дає можливість проводити також екстраполяцію даних (рис. 2). Це дозволяє оцінити значення для більшої частини басейну Прип'яті в межах України. Однак через відсутність спостережних пунктів оцінка їх точності у найвіддаленіших від вихідних точок частинах ускладнена. На рисунку також видно формування ефекту "бичачих очей", тобто інформація не інтерполюється рівномірно по всій території, особливо при збільшенні коефіцієнта відстані. Проте, враховуючи інтерполяцію від центрів водозборів, переважно повільну зміну фізико-географічних умов формування стоку на досліджуваній території, що опосередковано підтверджується невеликими похибками, застосування методу є досить виправданим.

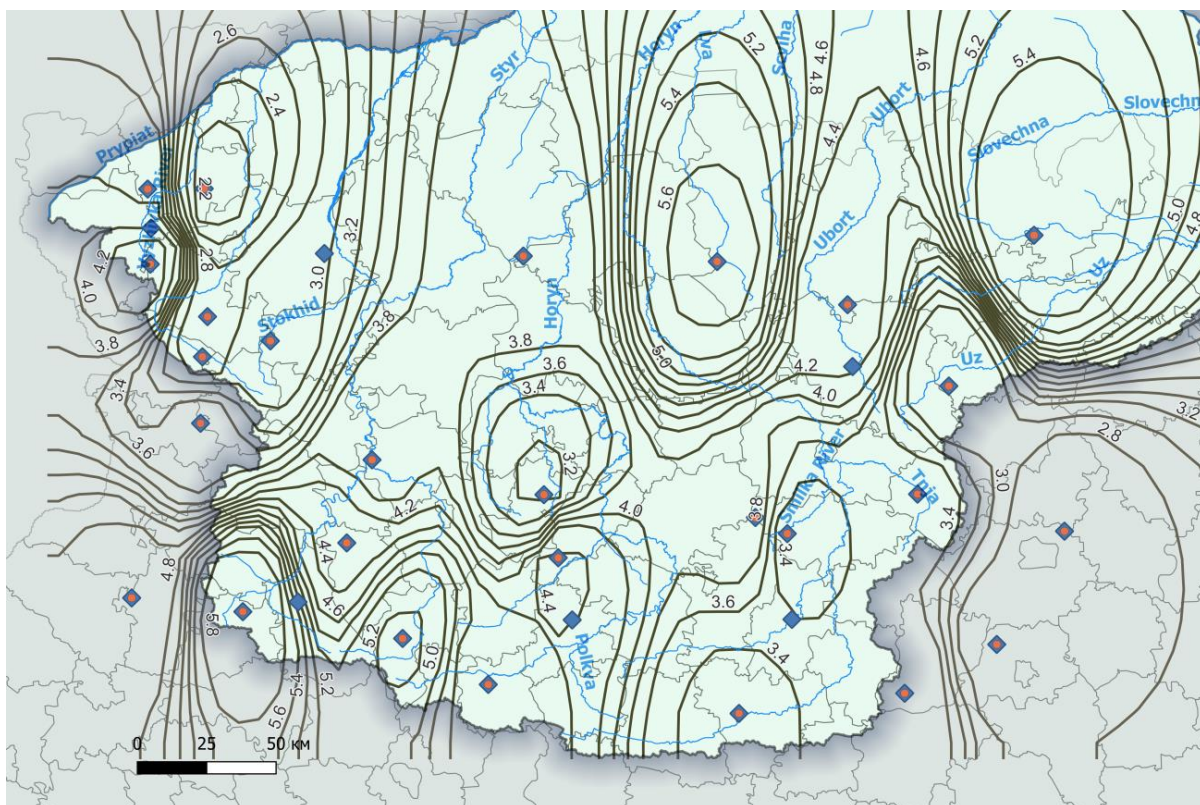
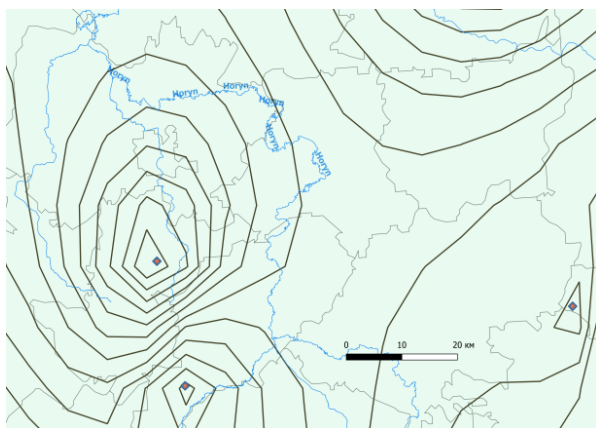


Рис. 2. Ізолінії просторового розподілу модулю стоку по басейну Прип'яті в межах України, створені методом IDW, з $P=5$



Форма отриманих ізоліній достатньо плавна, однак можуть формуватись окремі ділянки з досить гострими кутами. Приклад цього представлено на рис. 3. Не було помічено утворення артефактів.

Рис. 3. Ізолінії, отримані з допомогою методу IDW ($P=2$)

Інтерполяції іншими трьома методами дають результати лише в межах, автоматично визначених вхідними даними. Це не дозволяє повною мірою оцінити водозбори, недостатньо чи нерівномірно охоплені мережею гідрологічних спостережень. Кожен із методів має свої переваги, недоліки та особливості, зумовлені як механізмами їх роботи, так і особливостями механізму роботи QGIS.

При інтерполяції методом Kriging переходи між значеннями більш плавні, відсутня проблема “бичачих очей”. Однак більш детальний аналіз отриманих растрових шарів та виділених із них ізоліній показав, що в деяких точках ізолінії різко змінюють напрям ізоліній і утворюється порівняно значна кількість артефактів. Дані ефекти представлено на рис. 4а – 4д. При цьому не має різниці між експоненційним та сферичним Kriging, використання обох механізмів дає значні викривлення.

При цьому викривлення та артефакти поширені відносно рівномірно по всій території, що може додатково свідчити про системність недоліків методу. Використання Kriging для детального вивчення місцевості може вимагати додаткових операцій з очистки, відсіювання артефактів та хибних результатів, що ймовірно збільшить загальні похибки.

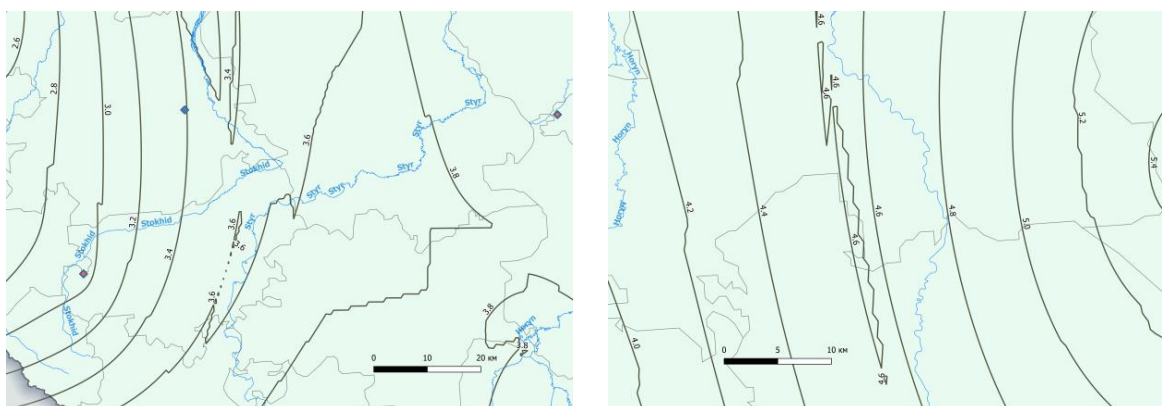


Рис. 4. Артефакти та спотворення ізоліній просторового розподілу модулю стоку, отриманих методом: а) *Kriging exponential*; б) *Kriging spherical*.

При інтерполяції за допомогою методу TIN ізолінії також не є гладкими (рис. 5). Можна побачити окремі великі прямокутні області з однаковими значеннями модулю стоку, тобто метод може дати неточні результати. Окрім цього, результати на межі отриманої ділянки інтерполяції на півночі сильно спотворюються при використанні кубічного TIN через особливості механізму інтерполяції в QGIS. Для перевірки неможливо розраховувати на достовірні значення граничних точок, що також було враховано при розрахунках для табл. 1. Варто зазначити, що застосування TIN не призвело до утворення артефактів на поверхні.

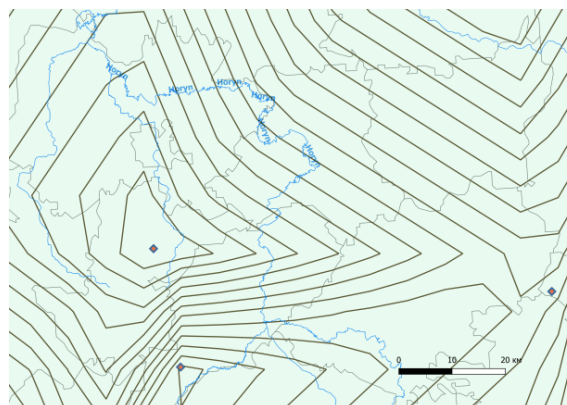


Рис. 5. Ізолінії, отримані з допомогою методу IDW ($P=2$)

Останнім з застосованих методів просторової інтерполяції був метод сплайн. Результати інтерполяції представлено на рис. 6.

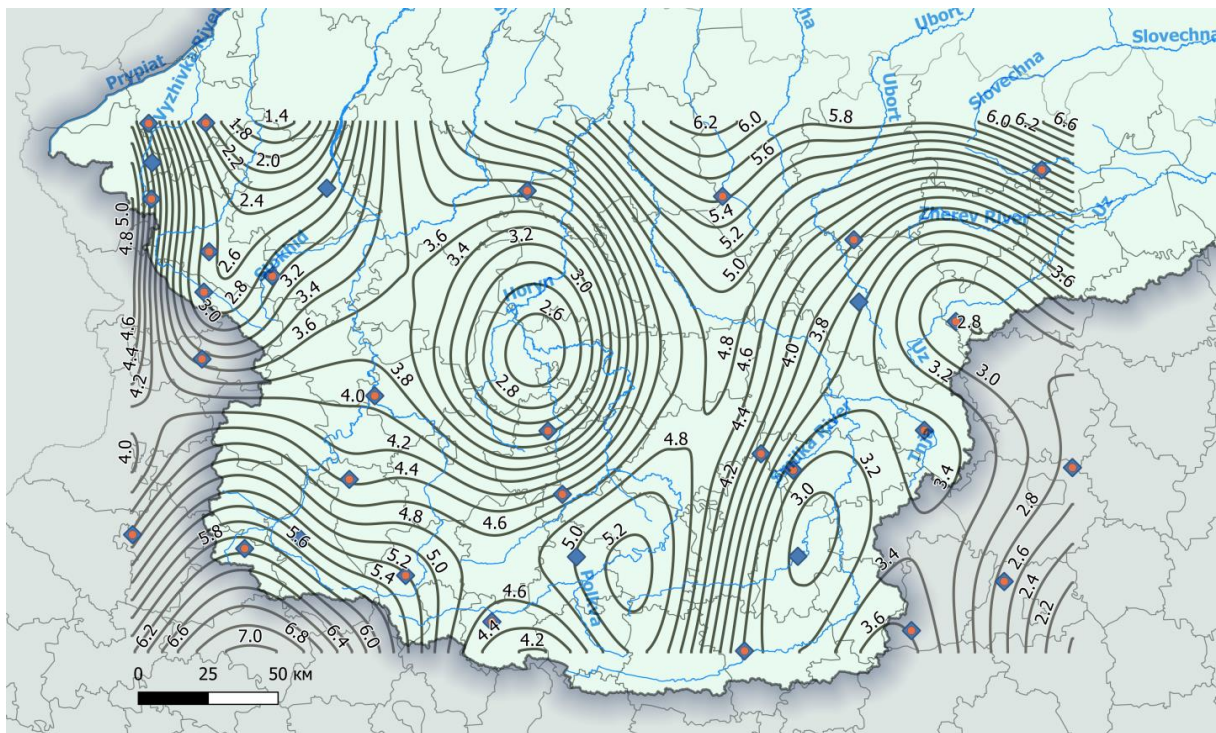


Рис. 6. Ізолінії просторового розподілу модулю стоку по басейну Прип'яті в межах України, створені методом Spline

Переходи між значеннями та ізолінії є дуже плавними, артефактів немає. З усіх представлених методів сплайн єдиний не потребує пост-обробки для застосування картосхем з метою візуального супроводу. Необхідними є подальші аналізи з іншими вихідними даними для оцінки перспектив зменшення похибок отриманих значень.

Висновки. За результатами роботи, враховуючи як похибки, так і візуальну оцінку, дійшли висновку, що метод IDW є кращим для інтерполяції даних по досліджуваній території. Ізолінії доволі плавні, не було помічено артефактів, малі похибки отриманих значень. Перевагою може бути також обмежена екстраполяція даних.

Наступним за надійністю є метод сплайн. Істотними перевагами є найбільш плавні ізолінії серед усіх інших методів, відсутність артефактів, що, разом з невеликими в абсолютному вимірі похибками, дозволяє говорити про значну перспективність його застосування.

Метод Kriging дозволяє отримати результати з відносно невеликими похибками; однак існує необхідність пост-обробки чи вдосконалення вихідних програм, які забезпечують інтерполяцію.

Метод TIN в жодному з варіантів не може бути застосований для точного дослідження меж водозбору та ділянок за межами визначеної території. Враховуючи неможливість швидкого збільшення кількості реперних точок та зазначені вище аспекти, даний метод може рекомендуватись лише для уточнення даних у центральній частині правобережжя басейну р. Прип'ять.

Отримані результати можуть бути використані для аналізу закономірностей просторового розподілу гідрологічних характеристик у басейні Прип'яті та попередніх досліджень водозборів, недостатньо охоплених станціями спостережень. Ці висновки можна з обережністю застосовувати до водозборів інших річок зі схожими умовами, тобто для рівнинних водозборів з плавною зміною умов формування стоку із середньою площею водозбору від 1000 до 10 000 км². Враховуючи повну відсутність у базі даних річок з площею водозбору менше 100 км², отримані висновки потребують окремого підтвердження їх придатності для аналізу малих річок.

Ця стаття також може бути використана як ілюстративний приклад відмінностей між різними методами інтерполяції.

Список літератури

1. Azpurua, M.A, Ramos K.D. Comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. Progress in Electromagnetics Research, Vol. 14, 2010. P. 135–145.
2. Dzhalalvand A., Gaidukova E.V., Burlov V.G.et al. Applying methods of spatial interpolation to hydrological data on example of reception basin of Karun river (Iran). International Research Journal, 2019. №2 (80). URL: <https://research-journal.org/archive/2-80-2019-february/primenienie-metodov-prostranstvennoj-interpolyacii-k-gidrologicheskim-dannym-na-primere-vodosbora-r-karun-iran> (accessed: 09.09.2022). - doi: 10.23670/IRJ.2019.80.2.006
3. ESRI. How Kriging works. ArcGIS for Desktop [Electronic resource] // Environmental Systems Research Institute, 2016. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm> (accessed 01.10.2022)
4. Nabyvanets, Y., Osadcha, N., Hrebin, V., Vasylenko, Y., Koshkina, O. Development of draft river basin management plan for Dnipro river basin in Ukraine: phase 1, step 1. Description of the characteristics of the river basin. EUWI+ Project. 2019.
5. Ghasemi, M., Mahdavi, A., Jafarzadeh A.A. Compare Kriging and IDW interpolation methods for soil mapping. The 2nd National Conference on Environment Hazard of Zagros, Tehran, 5 March 2015.
6. Goodchild M.F., Kemp K.K., NCGIA Core Curriculum in GIS.National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara CA.1990.
7. Hammouri N., El-Naqa A. Hydrological modeling of ungauged wadis in arid environments using GIS: a case study of Wadi Madoneh in Jordan. Revista mexicana de ciencias geológicas, 24, 2007. P. 185–196.
8. Korniienko, V., Obodovskyi, O., Snizhko, S. The spatial analysis of the hydropower modules distribution for the Pripyat basin within Ukraine using open GIS technologies. 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 2021, 1–6. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521142>
9. Kusre, B.C., Baruah C., Bordoloi P.K., Patra S.C. Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India). Applied Energy, Volume 87, Issue 1, January, 2010. P. 298–309, URL: doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.019.
10. Pochaievets, O., Obodovskyi, O., Lukianets, O., Grebin, V. Algorithm research and evaluation of minimum water flow of mountain rivers using GIS. 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 2021. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521123>
11. Sami, K., Mohsen, B. A., Afef, K., Fouad, Z. Hydrological Modeling Using GIS for Mapping Flood Zones and Degree Flood Risk in Zeuss-Koutine Basin (South of Tunisia). Journal of Environmental Protection, 2013. 4(12), 1409–1422. URL: <https://doi.org/10.4236/JEP.2013.412161>
12. Watson, D. F., Philip G. M. "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation." Geoprocessing 2, 1985.315–327.
13. Іщук О.О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: навчальний посібник / К.: ВПЦ "Київський університет", 2003.196 с
14. Паламарчук М.М. Закорчевна Н.Б. Водний фонд України: довідковий посібник. 2-е вид., доп. Київ. Ніка-Центр, 2006. 320 с.
15. Соколючук К.І. Оцінка репрезентативності рядів спостережень та вибірових параметрів розподілу середнього річного стоку води річок на правобережній частині басейну Прип'яті. Гідрологія, Гідрохімія, Гідроекологія. 2019. № 2 (53) р. 31-37.
16. Сусідко М. М., Лук'янець О. І. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки. Наукові праці УкрНДГМІ, 2004. Вип. 253. с.196-200.
17. Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посібник. Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х.: ХНАМГ, 2010. 313 с.

References

1. Azpurua, M.A, Ramos K.D. Comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. Progress in Electromagnetics Research, Vol. 14, 2010. P. 135–145.
 2. Dzhalalvand A., Gaidukova E.V., Burlov V.G.et al. Applying methods of spatial interpolation to hydrological data on example of reception basin of Karun river (Iran). International Research Journal, 2019. №2 (80). URL: <https://research-journal.org/archive/2-80-2019-february/primenienie-metodov-prostranstvennoj-interpolyacii-k-gidrologicheskim-dannym-na-primere-vodosbora-r-karun-iran> (accessed: 09.09.2022). - doi: 10.23670/IRJ.2019.80.2.006
 3. ESRI. How Kriging works. ArcGIS for Desktop [Electronic resource] // Environmental Systems Research Institute, 2016. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm> (accessed 01.10.2022)
 4. Nabyvanets, Y., Osadcha, N., Hrebin, V., Vasylenko, Y., Koshkina, O. Development of draft river basin management plan for Dnipro river basin in Ukraine: phase 1, step 1 Description of the
- ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2022. № 4 (66)**

characteristics of the river basin. EUWI+ Project. 2019.

5. Ghasemi, M., Mahdavi, A., Jafarzadeh A.A. Compare Kriging and IDW interpolation methods for soil mapping. The 2nd National Conference on Environment Hazard of Zagros, Tehran, 5 March 2015.

6. Goodchild M.F., Kemp K.K., NCGIA Core Curriculum in GIS. National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara CA.1990.

7. Hammouri N., El-Naqa A. Hydrological modeling of ungauged wadis in arid environments using GIS: a case study of Wadi Madoneh in Jordan. Revista mexicana de ciencias geológicas, 24, 2007. P. 185–196.

8. Korniienko, V., Obodovskyi, O., Snizhko, S. The spatial analysis of the hydropower modules distribution for the Pripyat basin within Ukraine using open GIS technologies. 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 2021, 1–6. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521142>

9. Kusre, B.C., Baruah C., Bordoloi P.K., Patra S.C. Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India). Applied Energy, Volume 87, Issue 1, January, 2010. Pages 298–309, URL: doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.019.

10. Pochaievets, O., Obodovskyi, O., Lukianets, O., Grebin, V. Algorithm research and evaluation of minimum water flow of mountain rivers using GIS. 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 2021. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521123>

11. Sami, K., Mohsen, B. A., Afef, K., Fouad, Z. Hydrological Modeling Using GIS for Mapping Flood Zones and Degree Flood Risk in Zeuss-Koutine Basin (South of Tunisia). Journal of Environmental Protection, 2013. 4(12), 1409–1422. URL: <https://doi.org/10.4236/JEP.2013.412161>

12. Watson, D. F., Philip G. M. "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation." Geoprocessing 2: 1985. 315–327.

13. Ishchuk O. O. Prostorovyi analiz i modeliuvannia v HIS: navchalnyi posibnyk [Spatial analysis and modeling in GIS: a tutorial] / K.: VPTs "Kyivskyi universytet", 2003. 196 s

14. Palamarchuk M.M. Zakorchevna N.B. Vodnyi fond Ukrainy: Dovidkovyi posibnyk [Water fund of Ukraine: reference guide]. 2-e vyd., dop. Kyiv. Nika-Tsent, 2006. 320 s.

15. Sokolchuk K.I. Otsinka reprezentatyvnosti riadiv sposterezhen ta vybirkovykh parametriv rozpodilu serednoho richnoho stoku vody richok na pravoberezhnii chastyni baseinu Prypiati [Assessment of the representativeness of the series of observations and sample parameters of the distribution of the average annual water flow of rivers on the right bank of the Pripyat River basin]. Hidrolohiia, Hidrokhimiia, Hidroekolohiia. 2019. № 2 (53) p. 31-37.

16. Susidko M. M., Lukianets O. I. Raionuvannia terytorii Ukrainy za stupenem hidrolohichnoi nebezpeky [Zoning of the territory of Ukraine according to the degree of hydrological danger] . Naukovi pratsi UkrNDHMI, 2004. Vyp. 253. s.196-200.

17. Shypulin V. D. Osnovni pryntsyipy heoinformatsiinykh system: navch. Posibnyk [Basic principles of geographic information systems: a study guide]. Khark. nats. akad. misk. hosp-va. Kh.: KhNAMH, 2010. 313 s.

Sokolchuk K.I.

Application of different spatial interpolation methods to hydrological data on the example of the Pripyat river basin (within Ukraine)

The article is devoted to the description and comparison of methods of spatial interpolation for hydrological data. Four spatial interpolation methods are considered: inverse distance weighted interpolation (IDW), triangulation (TIN), spline interpolation and Kriging. The data source is a permanent measuring hydrological network located on the territory of the Pripyat river basin and adjacent river basins, within the borders of Ukraine. Based on them, maps of the spatial distribution of the average annual specific discharge were created. Relief, physical and geographical conditions are changing smoothly, allowing spatial interpolation with sufficiently reliable results.

The accuracy of the obtained results was assessed by mathematical and visual comparison. According to both of them was established, that IDW method gives better and results for the interpolation of hydrological data on the studied territory. The isolines are quite smooth, no artifacts were noticed, the errors of the obtained values are small. IDW is also easy to use, changing inner settings, such as distant coefficient, could significantly decrease negative effects. A certain extrapolation of the data can also be an advantage.

The next most reliable method is the spline interpolation. The smoothest transitions between values and correspondingly extracted isolines, lack of artifacts make its results closer to the expected nature of changes in hydrological parameters. It can also be considered one of the most promising for implementation.

Kriging is characterized by small errors, but rather significant unnatural distortion of the results and the number of artifacts. It is valid for both spherical and exponential versions.

The TIN method was the least reliable among the studied methods. If it is necessary to clarify the data in the central parts of the territory over which the values are interpolated, it is better to use the linear version, which demonstrated slightly less distortion.

Key words: Spatial interpolation, GIS, IDW, TIN, Kriging, Spline, specific discharge, Pripyat.

Надійшла до редколегії 28.10.2022

Капуста Т.Я., Сивий М.Я., Бицюра Л.О.

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

АНАЛІЗ СТАНУ ВИВЧЕНОСТІ РІЧОК БАСЕЙНУ ДНІСТРА В МЕЖАХ ТЕРНОПІЛЬЩИНИ

Мета дослідження полягає у аналізі вивченості річково-басейнових систем лівих приток Дністра, розташованих в межах Тернопільської області України. Наведено інформацію стосовно виконаних раніше узагальнень щодо вивченості річок басейну від праць XIX сторіччя до сучасних монографічних видань та окремих статей.

Аналіз стану вивченості річок регіону та їх басейнів свідчить про те, що серед трьох основних напрямів досліджень: гідрологічного, гідрохімічного та фізико-географічного найбільше уваги у працях вітчизняних вчених XIX – початку XXI сторіччя приділено саме аналізу різних аспектів гідрологічного режиму річок регіону: багаторічних коливань їх стоку, внутрішньорічному розподілу, характеристикам максимальних витрат води повеней та дощових паводків, аналізу меженного стоку, динаміці руслових процесів, стоку наносів та ін. Значно меншу увагу привернули дослідження гідрохімічного режиму та якості води, гідроекологічна складова.

Серед вітчизняних науковців, що мають найбільші здобутки у вивченості річково-басейнових систем Поділля слід відзначити представників Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Одеського державного екологічного університету, Львівського національного університету імені Івана Франка, Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського, Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка.

Ключові слова: історія досліджень; Дністер; Тернопільська обл.; річково-басейнові системи; вивченість; основні публікації.

Вступ. Територія Тернопільської області становить 13,8 тис. км² (2,3 % території України). Вона розташована в басейнах Дніпра (річки Горинь та Іква) (18 % території області) та Дністра (річки Золота Липа, Коропець, Стрипа, Джурин, Серет, Нічлава, Збруч) (82 %) [14]. До басейну річки Дністер в межах Тернопільської області належить 1174 річок і струмків загальною довжиною 5195 км, в т. ч. дві середніх річки Серет та Збруч, 16 водосховищ загальною площею водного плеса 2348 га, об'ємом води 52,7 млн м³ та 927 ставків, водойм загальною площею водного плеса 4764 га, об'ємом води 45,5 млн м³ [51].

Дністер є найбільшою в області річкою. Загальна довжина річки 1362 км, в межах України – 705 км, в межах Тернопільської області – 262 км; загальна площа водозбору 72100 км², в межах України – 52690 км², в межах області – 11307 км² [51].

Метою нашого дослідження є аналіз вивченості річково-басейнових систем лівих приток Дністра, розташованих в межах Тернопільської області України. Басейни зазначених річок відносяться до Подільської, найбільшої за площею, частини басейну Дністра, розташованої на Волино-Подільському плато.

Аналіз виконаних раніше досліджень. Річка Дністер друга за довжиною та водністю річка України, яка відрізняється неоднорідністю та різноманітністю умов формування стоку води як власне самого Дністра за його довжиною, так й чисельних його приток. Тому питанню вивченості басейну цієї річки та басейнам її приток завжди приділялась увага науковців.

Перший, достатньо детальний аналіз існуючої на кінець 30-х років минулого століття мережі спостережень в межах басейну, вивченості його природних умов та господарського використання наводиться в праці А.П. Доманіцького [26].

Наступні узагальнення щодо вивченості річок басейну з'являються в працях вчених колишнього інституту гідрології та гідротехніки АН УРСР (назва теперішнього інституту гідромеханіки АН України в 1944-1964 рр.). Слід відзначити колективні праці співробітників інституту за редакціями відомих гідрологів того часу – А.В. Огієвського, Г.І. Швеця, М.І. Дрозда, М.С. Каганера та ін. [13,36,55,59] Вони містять детальні відомості щодо гідрографічної мережі басейнів річок – приток Дністра, їх основних морфометричних характеристик, опис фізико-географічних умов, узагальнення результатів спостережень на гідрологічних постах. По мірі накопичення матеріалів спостережень за водним режимом

річок басейну та зростанням тривалості рядів даних, здійснювалися подальші узагальнення стокових характеристик річок, що знаходило своє відображення у довідкових виданнях кінця 80-х, початку 90-х років XX сторіччя [35,56]. Впродовж останніх двох десятиліть з'являються монографічні та довідникові видання, що містять сучасну інформацію стосовно природних умов водозборів, їх кліматичних характеристик, окремих елементів гідрологічного режиму та антропогенного навантаження. Слід відзначити два довідкових видання за редакцією В.І. Вишневського із співавторами [11,12], що містять узагальнені дані спостережень по річках басейну, відповідно, по 2000 та 2020 рр. Дані щодо об'єктів водного фонду Тернопільської області можна знайти у виданні за авторством М.М. Паламарчука та Н.Б. Закорчовної [43], друге видання якої вийшло в 2006 р. Узагальнені матеріали Державного агентства водних ресурсів України відносно наявності в межах області та окремих її районів водосховищ і ставків наведено у довіднику за редакцією В.К. Хільчевського та В.В. Гребеня, опублікованому в 2014 р. [14]. Низка публікацій, що містять аналіз вивченості річок - приток Дністра в межах Тернопільської області, вийшла протягом останніх двох десятиліть при підготовці дисертаційних досліджень вченими Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, Львівського національного університету імені Івана Франка, Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Одеського державного екологічного університету та інших установ [7,20,37,38,42,46]. Значно меншу кількість публікацій присвячено узагальненню якісних характеристик поверхневих вод річок регіону та їх гідрохімічному режиму. Серед останніх публікацій можна відзначити колективну монографію за редакцією В.К. Хільчевського та В.А. Сташука [19], що вийшла друком в 2013 р.

Незважаючи на досить велику кількість публікацій, особливо з аналізом даних гідрологічного режиму річок Тернопілля, до цього часу не існує комплексних досліджень саме річково-басейнових систем регіону. Увага переважної більшості вчених зосереджена на аналізі умов формування стоку та характеристик гідрологічного та гідрохімічного режиму власне Дністра. Вирішення завдання аналізу гідроекологічних та гідрохімічних характеристик його приток є метою нашого дослідження.

Виклад основного матеріалу. Дністер з давніх часів використовувався як транспортна артерія для сполучення Галичини з Молдовою та Причорномор'ям. Саме потреби судноплавства обумовили проведення перших гідрографічних досліджень на Дністрі та складання його гідрографічної карти (друга половина XVIII сторіччя), а також початок (у середині XIX сторіччя) регулярних спостережень за рівнями води [19].

Розвиток мережі спостережень. В 1850 р. було відкрито перші 4 водомірні пости на Верхньому Дністрі. Впродовж 50-70-х років XIX сторіччя кількість водомірних постів на Верхньому Дністрі досягає 11. Протягом 70-90-х років XIX сторіччя розпочинаються спостереження на Середньому та Нижньому Дністрі. Зокрема, у 1877 р. розпочато спостереження за рівнями води на водомірному посту р. Дністер – м. Заліщики, що знаходиться в межах сучасної Тернопільської області. На початку XX сторіччя Дністер відносять до однієї з найбільш вивчених у відношенні рівневого режиму річок [26]. Спостереження за стоком води на річках басейну починаються дещо пізніше – з 80-х років XIX сторіччя. Зокрема, існуючі довідкові джерела містять інформацію по стоку води на посту р. Дністер – м. Бендери з 1881 р. Хоча у роботі В.М. Лохтіна [34] містяться місячні та річні величини стоку Дністра біля м. Могильов за 1854-1885 рр. З 90-х років XIX сторіччя спостереження за стоком води розпочинаються ще на кількох водомірних постах, розташованих, переважно, у верхній частині басейну. На водомірному посту р. Дністер – м. Заліщики регулярне вимірювання витрат води розпочато від 1895 р.

На початок першої світової війни (1914 р.) в басейні Дністра (на головній річці та її притоках) функціонувало близько 100 водомірних постів [38]. Військові дії, що охопили значну частину басейну впродовж 1914-1918 рр., призвели до катастрофічного зменшення кількості постів та погіршення якості отриманих даних. На 1919 р. в межах басейну функціонувало лише 4 водомірні пости. Наслідком військових дій стала втрата значної частини матеріалів спостережень на річках басейну, переважно по його австро-угорській частині.

Відновлення мережі розпочалося у 20-х роках минулого сторіччя. Першими було

відновлено спостереження на тих постах, що діяли раніше, згодом відкривали нові. Зокрема, у 1920-х рр. активно зростає кількість постів на подільських притоках Дністра. Станом на 1939 р. в межах басейну (що територіально був розділений між колишнім СРСР, Польською республікою та Румунією) налічувалося понад 140 водомірних постів. Друга світова війна та поширення військових дій на всю територію басейну призвели до закриття переважної більшості постів, а по тих постах, що функціонували в цей час, в наявності лише неповні дані. Знов виявилася втраченою значна частина матеріалів спостережень по постах, що працювали в межах польської та румунської частин басейну у міжвоєнний час (20-30-ті роки XX сторіччя). Отже, істотним недоліком стаціонарних гідрометричних спостережень у межах басейну за період від їх початку до середини XX сторіччя є перервність рядів спостережень практично по всіх постах.

По завершенні Другої світової війни мережа спостережень в басейні відновлюється та досягає максимального розвитку наприкінці 60-х, у першій половині 70-х років минулого сторіччя. Кількість гідрологічних (як стали називати колишні водомірні) постів досягла 110 одиниць. Скорочення мережі спостережень (під приводом її оптимізації, що не завжди була обґрунтованою) наприкінці 80-х років XX сторіччя призвело до значного (близько 20%) зменшення кількості гідрологічних постів. Протягом останніх 30 років існуюча мережа спостережень змінювалася мало. На сьогодні (2022 р.) в межах української частини басейну Дністра функціонує 67 гідрологічних постів (на 63 з них вимірюються витрати води). Ще 27 гідрологічних постів в даний час налічується в межах молдавської частини басейну та 1 – в межах його невеликої польської частки.

Ситуація, описана вище, є типовою і для гідрологічних постів, розташованих в межах лівобережної, подільської частини басейну Дністра на території Тернопільської області. В різний час на річках регіону працювало (частково працює зараз) близько 20 постів – табл.1.

Таблиця 1 Перелік гідрологічних постів та періоди спостережень за рівнями та витратами води на них

№ п/п	Річка	Гідрологічний пост	Наявні матеріали спостережень (роки) за:	
			рівнями води	витратами води
1	Золота Липа	м. Бережани	1940,1941,1945-2020	1940,1941,1945-2020
2	Золота Липа	с. Задарів	1902-11, 1913, 1914,1925-29, 1940,1941,1945-2020	1955-2020
3	Циніївка (Золота Липа)	с. Потутори	1940,1945-76	1953-77
4	Коропець	м. Підгайці	1940,1946-2020	1945-2020
5	Коропець	смт Коропець	1948-2020	1948-2020
6	Коропець	с. Гать	1947-58,1961-69	-
7	Коропець	с. Велика Добрань	1955-69	-
8	Стрипа	х. Каплинці	1945-2020	1945-2020
9	Стрипа	м. Бучач	1963-2020	1912,1913,1923-29,1963-2020
10	Серет	смт Велика Березовиця	1897-1900,1902-06,1908-11, 1913, 1920-22,1924-29, 1940,1941, 1945-60,1962-2020	1961-2020
11	Серет	м. Чортків	1940,1941, 1944 -2020	1898-1911, 1913, 1923-29,1940,1941, 1944-2020
12	Серет	с. Городище	1945-64	1945-64
13	Гнізна (Серет)	с. Плебанівка	1924-29, 1940, 1941,1944-88	1954-88
14	Нічлава	с. Стрілківці	1945-2020	1955-2020
15	Збруч	м. Волочиськ	1944-2020	1957-2020
16	Збруч	с. Завалля	1972-2020	1971-2020
17	Збруч	Заваллівська ГЕС	-	1960-71
18	Збруч	с. Вітківці	-	1933-43, 1945, 1946,1956-61
19	Гнила (Збруч)	с. Личківці	1946-88	1962-88

Перші водомірні пости (з вимірюванням рівнів води) на лівобережних притоках Дністра в межах регіону було відкрито за часів Австро-Угорщини – у 80-90-х роках XIX сторіччя на річках Золота Липа, Коропець, Стрипа, Серет. Вимірювання витрат води на окремих постах (р. Стрипа – м. Бучач, р. Серет – м. Чортків) розпочалося від початку XX сторіччя. Якщо матеріали спостережень за стоком води по зазначених постах є в наявності, то значна кількість даних по рівнях води за період до Першої світової війни є втраченою. Збереглися лише дані вимірів рівнів води по постах р. Золота Липа – с. Задарів (з 1902 р.) та р. Серет – смт Велика Березовиця (з 1897 р.). Значна частина даних спостережень за міжвоєнний період (1920-1939 рр.), коли територія досліджень перебувала у складі Польської республіки, також є втраченою. Особливо «провальними» є 1930-ті роки, дані за які практично відсутні. Винятком є пост на р. Збруч – с. Вітківці, по якому збереглися дані за період 1933-1943 рр. Частина постів відновила спостереження від 1940 р., але їх було перервано бойовими діями під час Другої світової війни. Звільнення території області від німецьких окупантів сприяло відновленню мережі гідрометричних спостережень та відкриттю нових постів. Наприкінці 40-х років XX сторіччя на притоках Дністра в межах області працювало 15 гідрологічних постів. Максимальною їх кількість була у 1960-х роках – 18 постів. З кінця 80-х років минулого сторіччя кількість постів на подільських притоках Дністра в межах Тернопільської області лишається незмінною і становить 11 одиниць. По 2 розташовано на річках Золота Липа (м. Бережани, с. Задарів), Коропець (м. Підгайці, смт Коропець), Стрипа (х. Каплинці, м. Бучач), Серет (смт Велика Березовиця, м. Чортків), Збруч (м. Волочиськ, с. Завалля) та 1 пост на р. Нічлава (с. Стрілківці) – див. рис.

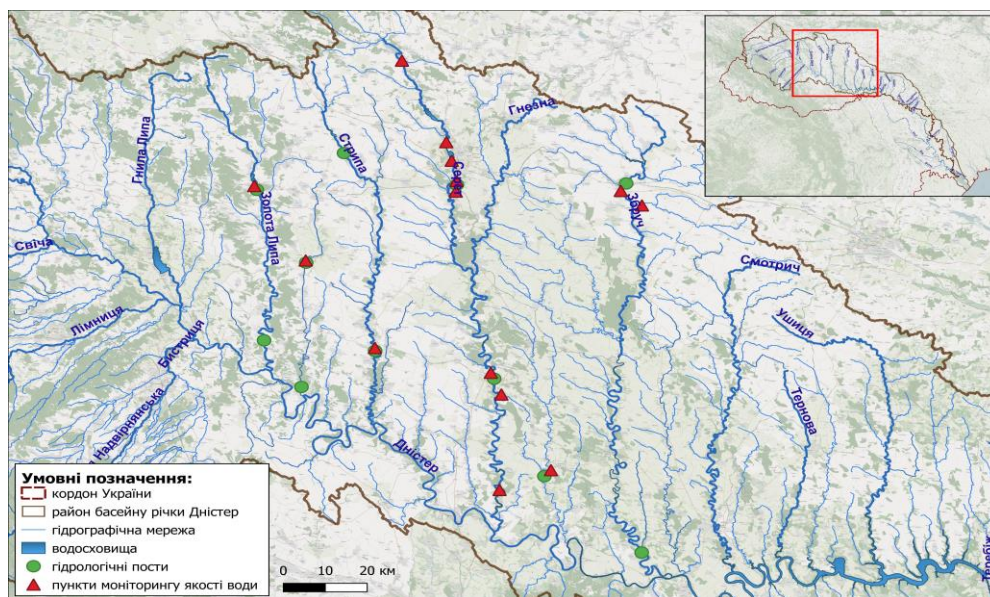


Рис. Картосхема розташування діючих (на 01.01.2022 р.) гідрологічних постів та пунктів моніторингу якості води Держводагентства України на притоках Дністра в межах Тернопільської обл.

Більшість постів охоплюють площу водозбору до 1 тис. км². Лише в створах 2 постів (р. Серет – м. Чортків та р. Збруч – с. Завалля) площа водозбору перевищує 3000 км². Відносно репрезентативності даних спостережень слід відзначити, що практично по всіх діючих постах є перерви у спостереженнях за період до другої половини 40-х років XX століття (табл.1).

Діюча на сьогодні (на 01.01.2022 р.) на річках Тернопільської обл. мережа пунктів моніторингу якості води Державного агентства водних ресурсів України включає 14 створів – див. рис. На жаль, більшість з них було відкрито лише з 2019 р., оскільки Постановою Кабінету Міністрів України №758 від 19 вересня 2018 р. прийнято новий порядок здійснення державного моніторингу вод. З тих пунктів моніторингу, що до цього працювали на річках регіону, лишилося лише 5. Вони розташовані у створах питних

водозаборів та мають достатньо довгі періоди спостережень – табл.2. Всі вони обрані нами для аналізу. Крім того, залучено інформацію ще по 4 пунктах моніторингу, що працювали до 2019 р., але мають тривалі та безперервні періоди спостережень.

Таблиця 2. Перелік створів моніторингу якості води Держводагентства України, обраних для аналізу, та періоди спостережень на них

№ п/п	Річка	Розміщення моніторингового створу	Призначення водозабору	Період спостережень, роки
1	Золота Липа	м. Бережани	сільськогосподарський	1995-2018
2	Коропець	смт Козіве, Козівське водосховище	сільськогосподарський	1994-2018
3	Стрипа	м. Бучач	питний	1999-2020
4	Серет	с. Горішньо-Івачів, Горішньоівачівське водосховище	питний	1995-2020
5	Серет	м. Тернопіль, Тернопільське водосховище	питний	1993-2020
6	Серет	с. Касперівці, Касперівське водосховище	сільськогосподарський	1994-2018
7	Нічлава	м. Борщів	питний	1994-2020
8	Збруч	м. Підволочиськ	питний	1993-2020
9	Збруч	смт Скала-Подільська	технічний	1995-2018

Узагальнюючі праці. Перші узагальнюючі праці стосовно природних умов басейну, гідрографічної мережі, зокрема і Подільської його частини, з'являються у середині XIX сторіччя. Це були як монографічні видання, так і праці енциклопедичного характеру [2,62]. Наприкінці XIX сторіччя значний внесок у дослідження Дністра вклав відомий гідролог та гідротехнік В.М. Лохтін, що впродовж 1884-1892 рр. керував роботами по покращенню судноплавства на Дністрі за розробленою ним схемою. У виданій в 1886 р. його праці [34] містяться узагальнення перших результатів спостережень за водним режимом Дністра від середини XIX сторіччя, надається детальна гідрографічна схема басейну, пропонуються заходи щодо покращення умов судноплавства.

Перебування окремих частин басейну Дністра в межах різних країн (Австро-Угорщини, Російської імперії, Румунії, пізніше – у складі колишнього СРСР та Польської республіки суттєво ускладнювали появу праць узагальнюючого характеру по території басейну. Першою такою можна вважати згадану вище працю А.П. Доманіцького, видану напередодні Другої світової війни, що містить аналіз мережі спостережень в межах басейну на кінець 30-х років XX сторіччя, детально описує вивченість його природних умов та господарського використання [26].

Праці вчених колишнього інституту гідрології та гідротехніки АН УРСР, що посідав провідні позиції у гідрологічних дослідженнях річок України, зокрема і річок басейну Дністра, у повоєнні роки (друга половина 40-х – середина 60-х років XX сторіччя) містять детальні відомості щодо гідрографічної мережі басейнів річок – приток Дністра, їх основних морфометричних характеристик, опис фізико-географічних умов, узагальнення результатів спостережень на гідрологічних постах [13,36,55,59]. Також досліджено параметри річного стоку річок басейну, внутрішньорічний розподіл їх стоку за сезонами і місяцями, надано аналіз даних спостережень за рівнями води та результатів розрахунку стоку. Видана наприкінці 1960-х років ґрунтовна праця [49] є багато в чому неперевершеною до цього часу в описі кліматичних та фізико-географічних умов формування стоку річок басейну. Хоча, звичайно, аналіз основних характеристик стоку водотоків регіону є не актуальним, оскільки охоплює ряди спостережень лише по 1965 р.

Із реорганізацією інституту гідрології та гідротехніки АН УРСР більшість вчених-гідрологів з останнього перейшло до Українського гідрометеорологічного інституту. Тому не дивно, що основні результати їх досліджень стосовно річок басейну Дністра у 70-х, 80-х роках XX сторіччя опубліковано саме у збірниках наукових праць саме цього інституту. Слід відзначити роботи М.І. Кононенко, М.М. Сусідка, М.Г. Галущенко, А.І. Шерешевського та ін. [15,30,31,53,54,60].

Наступні довідкові видання, що виходили наприкінці 80-х, на початку 90-х років ХХ сторіччя [35,56], містили оновлені для триваліших рядів спостережень характеристики гідрологічного режиму річок басейну Дністра. Хоча в останньому виданні досить значна увага приділялася саме малим річкам басейну та антропогенному навантаженню на їх водозбори. Опис річок басейну, довжиною понад 10 км містять томи «Географічної енциклопедії України», що виходили друком впродовж 1989 – 1993 рр. [16].

У своїй праці «Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз», що виходить друком в 1997 р., І.П. Ковальчук викладає основні засади комплексних еколого-геоморфологічних досліджень річкових систем рівнинних регіонів [28], які стають основою нового наукового напрямку – дослідження річково-басейнових систем. Подальший розвиток цей напрям отримує в роботах учнів Ковальчука – Л.П. Курганевич, А.В. Міхновича, Т.С. Павловської, О.В. Пилипович та ін. Слід зазначити, що деякі роботи О.В. Пилипович стосуються річок верхньої частини басейну Дністра [44,45].

Останні два десятиліття характеризуються зростанням інтересу до річок басейну через оцінку антропогенного впливу на їх водний режим та впливом сучасних кліматичних змін на параметри гідрологічного режиму. Перший з цих напрямів отримав розвиток у роботах В.І. Вишневського [9,10], що містили аналіз стокових характеристик Дністра: величини середнього багаторічного стоку, його просторово-часової динаміки, особливостей внутрішньорічного розподілу, характеристик максимального та мінімального стоку річки. Автор досліджує водогосподарське використання річки Дністер, зокрема для потреб гідроенергетики. Значну увагу присвячено впливу Дністровського гідровузла на екосистему та стан нижньої частини Дністра, а саме на термічний режим річки та стік наносів. Аналіз впливу господарського навантаження водозборів на характеристики стоку наносів річок регіону добре висвітлено у згаданій вище монографії одеських вчених С.В. Мельника та Н.С. Лободи [38]. Питання руслових процесів річок Поділля та їх розвитку на фоні антропогенної перетвореності водозборів, зарегульованості стоку розглянуто у роботах О.Г. Ободовського, З.В. Розлача та ін. [42], Ю.С. Юценка [61]. Водогосподарсько-екологічне районування басейну Дністра за рівнем антропогенного навантаження здійснено у роботі М.Я. Бабича [3].

Вплив сучасних кліматичних змін на водний режим лівобережних приток Дністра вперше було оцінено у роботі В.В. Гребеня [21], що вийшла в 2005 р. Автором здійснено аналіз змін стоку води і наносів річок регіону за два характерні періоди. Вплив кліматичних змін на параметри гідрологічного режиму річок регіону з урахуванням впливу ландшафтно-гідрологічних параметрів водозборів автором оцінено у відомій монографії [22], що видано у 2010 р. Низку публікацій вчених Київського національного університету імені Тараса Шевченка присвячено аналізу сучасних характеристик річок басейну Дністра, зміні елементів його водного балансу в умовах змін клімату, прогнозуванню змін водного режиму річок басейну на майбутнє [8,23,29,40].

Останнє десятиліття відзначено низкою публікацій вчених Одеського державного екологічного університету (Н.С. Лободи, В.П. Дорофєєвої, С.В. Мельника, Є.Д. Гопченка, В.А. Овчарук та ін.), присвячених оцінюванню стокових характеристик річок басейну, параметрів весняного водопілля, їх змінам під впливом глобального потепління клімату [32,33,38,41].

Слід відзначити сучасні праці вчених Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України (В.А. Балабух, С.В. Краковської, Л.О. Горбачової та ін.), виконані в рамках окремих міжнародних проектів, та присвячені оцінкам сучасних та перспективних змін клімату в межах басейну та їх впливу на водний режим річок [4,5,27].

Поряд з дослідженням кількісних характеристик водних ресурсів, особлива увага приділяється вивченню якісного складу поверхневих вод басейну. Вивченню хімічного складу води річки Дністер присвячено низку робіт. На відміну від гідрологічних спостережень, систематичні спостереження за гідрохімічним режимом Дністра та його приток почалися значно пізніше.

Певні характеристики хімічного складу води річок басейну знайшли своє відображення у довідниках [35,56], що надруковано наприкінці 80-х, на початку 90-х років ХХ сторіччя. До цього часу відноситься і публікація монографії вчених Інституту

гідробіології НАН України, де аналізується вплив хімічних властивостей річок басейну Дністра на його гідробіологічний режим [18].

Детальний аналіз гідрохімічного режиму та якості поверхневих вод річок басейну Дністра міститься у колективній монографії вчених Київського національного університету імені Тараса Шевченка та фахівців Державного агентства водних ресурсів України за редакцією В.К. Хільчевського та В.А. Сташука, що підбиває певний підсумок гідрохімічним дослідженням річок басейну учнями проф. В.К. Хільчевського – С.Д. Аксьомом, О.М. Гончар [1,19]. Досить інформативною щодо аналізу сучасних характеристик якості води та аналізу гідрохімічного режиму по окремих фазах внутрішньорічного розподілу стоку є монографія авторського колективу вчених Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України «Регіональна гідрохімія України» [58]. Інформацію щодо якості води річок басейну містить і виданий в Республіці Молдова «Екологічний атлас басейну» [6]. Ще у 2007 р. в рамках Програми дій щодо вдосконалення транскордонного співробітництва та стійкого управління басейном річки Дністер за підтримки Організації по безпеці та співробітництву в Європі (ОБСЄ) та Європейської економічної комісії ООН (ЄЕК ООН) було створено Комісію по стійкому використанню та охороні р. Дністер, сайт якої також містить багато інформації стосовно гідрологічного та гідрохімічного режимів річок басейну, водогосподарської ситуації, прогнозів змін клімату та обсягів водокористування в межах басейну [50].

Також слід зупинитися на тих працях, де найбільш детально аналізуються природні умови водозборів річок Поділля що мають вплив на формування стокових характеристик річок. Слід згадати класичну працю вчених Львівського національного університету імені Івана Франка за редакцією К.І. Геренчука, 1979 р. видання «Природа Тернопільської області» [47]. Низка публікацій щодо природних умов Середнього Придністров'я та антропогенних ландшафтів Поділля (зокрема, і водних) належить відомому фізико-географу Г.І. Денисику, представнику Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського [24,25,52]. Протягом останнього десятиліття вийшли з друку кілька ґрунтовних монографічних видань вчених Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка за редакцією М.Я. Сивого, Л.П. Царика та ін. [17,48,57].

Висновки. Аналіз стану вивченості річково-басейнових систем лівих приток Дністра, розташованих в межах Тернопільської області України, свідчить про те, що серед трьох основних напрямів досліджень: гідрологічного, гідрохімічного та фізико-географічного найбільше уваги у працях вітчизняних вчених ХІХ – початку ХХІ сторіччя приділено саме аналізу різних аспектів гідрологічного режиму річок регіону: багаторічних коливань їх стоку, внутрішньорічному розподілу, характеристикам максимальних витрат води повеней та дощових паводків, аналізу меженного стоку, динаміці руслових процесів, стоку наносів та ін. Значно меншу увагу привернули дослідження гідрохімічного режиму та якості води, гідроекологічна складова.

Серед вітчизняних науковців, що мають найбільші здобутки у вивченості річково-басейнових систем Поділля слід відзначити представників Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Одеського державного екологічного університету, Львівського національного університету імені Івана Франка, Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського, Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка.

Незважаючи на досить велику кількість публікацій, особливо з аналізом даних гідрологічного режиму річок Тернопілля, до цього часу не існує комплексних досліджень саме річково-басейнових систем регіону. Вирішення даного завдання є метою нашого дослідження.

Список літератури

1. Аксьом С.Д., Хільчевський В.К. Вплив сульфатного карсту на хімічний склад природних вод у басейні Дністра. К.: Ніка-Центр, 2002. 204 с.
2. Афанасьев-Чужбинский А. Поездка в Южную Россию. Ч.II. Очерки Днестра. Санкт-Петербург, Типография Морского министерства, 1863 г. 438 с.

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2022. № 4 (66)**

3. *Бабич М.Я.* Водогосподарсько-екологічне районування басейну Дністра за рівнем антропогенного навантаження // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2008. Т.14. С.151-157.
4. *Балабух В.А.* Региональное проявление глобального изменения климата в бассейне р. Днестр // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2012. Т.2 (27). С. 117-130.
5. *Балабух В.О.* Регіональні прояви глобальної зміни клімату в Тернопільській області та можливі їх зміни до середини ХХІ ст. // Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія. Тернопіль, 2014. №1. С. 43-54.
6. Бассейн реки Днестр. Экологический атлас. Кишинев. 2012. 59 с.
7. *Бірюков О. В.* Будова і стік річкової мережі Подільської височини // Фізична географія та геоморфологія. 2015. Вип. 1. С. 78-85.
8. *Бойко А.І., Лободзінський О.В., Лук'янець О.І.* Розрахункові характеристики середнього річного стоку води правобережної та лівобережної частин басейну р. Дністер до м. Заліщики // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2020. Т. 3(58). С.58-72.
9. *Вишневський В.І.* Річки і водойми України. Стан і використання: Монографія. К.: Віпол, 2000. 376 с.
10. *Вишневський В.І.* Природний та антропогенно змінений стік Дністра. Причорноморський екологічний бюлетень. 2005. № 3-4. С.87-91.
11. *Вишневський В.І., Косовець О.О.* Гідрологічні характеристики річок України. К.: Ніка-Центр, 2003. – 324 с.
12. *Вишневський В.І., Куций А.В.* Багаторічні зміни водного режиму річок України. К.: Наукова думка, 2022. 252 с.
13. Водные ресурсы реки Днестр [Отв.ред. А.В.Огиевский]. К.: Изд. АН УССР, 1952. 220 с.
14. Водний фонд України. Штучні водойми. Водосховища і ставки: Довідник / За ред. В.К. Хільчевського, В.В.Гребеня. К.: Інтерпрес ЛТД, 2014. 164 с.
15. *Галущенко Н.Г.* Водный баланс рек бассейна Днестра // Труды Украинского регионального научно-исследовательского института. М.: Гидрометеиздат, 1977. Вып. 153. с.126-139.
16. Географічна енциклопедія України: В 3-х т.; редкол.: О.М. Маринич (відпов. ред.) та ін. Київ: Українська радянська енциклопедія ім. М. Бажана, 1989. Т.1: А-Ж. 416 с.; 1990. Т.2: З-О. 480 с.; 1993. Т.3: П-Я. 480 с.
17. Географія Тернопільської області: монографія. Природні умови і ресурси. Т. 1. (за ред. проф. Сивого М.Я.). Тернопіль: Тернопіль, ФОП Осадца Ю.В. 2020. 516 с.
18. Гидробиологический режим Днестра и его водоемов / Л.А. Сиренко, Н.Б. Евтушенко, Ф.Я. Комаровский и др. Отв. ред. Брагинский Л.П. К.: Наук. думка, 1992. 356 с.
19. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / В.К. Хільчевський, О.М. Гончар, М.Р. Забокрицька та ін. / За ред. В.К. Хільчевського, В.А. Сташука. Київ. Ніка-Центр. 2013. 180 с.
20. *Гончар О.М.* Гідрохімічний режим та оцінка якості води річки Дністер (Подільська частина) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2007. Т.12. С.164-172.
21. *Гребін В.В.* Внутрірічний розподіл стоку води і наносів лівобережних приток Дністра та його сучасні зміни // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2005. Т.7. С. 133-142.
22. *Гребін В.В.* Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) : монографія. Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
23. *Гребін В.В., Мудра К.В.* Використання регіональної моделі клімату (REMO) для оцінювання тенденцій коливань стоку води в басейні Дністра. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Географія. 2018. Т.1 (70). С.22-28.
24. *Денисик Г. І.* Природнича географія Поділля. Вінниця: ЕкоБізнесЦентр, 1998. 184 с.
25. *Денисик Г. І., Хаєцький Г. С., Стефанков Л. І.* Водні антропогенні ландшафти Поділля: [монографія]: Вінниця: ПП "Видавництво «Теза», 2007. 216 с.
26. *Доманицкий А.П.* Днестр и его бассейн. Гидрологический очерк / Л.: Гидрометеиздат, 1941. 308 с.
27. Заключительный отчет. Проект инициативы ENVSEC «Снижение уязвимости к экстремальным наводнениям и изменению климата в бассейне реки Днестр» / С.Краковская, В.Балабух, Л.Горбачева, Ю.Набиванец. Киев : УкрГМИ, 2012. 118 с.
28. *Ковальчук І.П.* Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз. Львів: Інститут українознавства, 1997. 440 с.
29. *Кожем'якін Д.В., Чорноморець Ю.О.* Водний баланс басейнів річок Дністра до міста Заліщики // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2018. Т. 1(41). С.24-36.
30. *Кононенко Н.И.* Гидрологические и геоморфологические условия формирования годового стока рек бассейна Днестра // Тр.УкрНИГМИ. 1970. Вып. 88. С.88-98.

31. Кононенко Н.И. Колебания годового стока рек бассейна Днестра // Труды УкрНИГМИ. 1970. Вып. 93. С. 117-127.
32. Лобода Н.С., Дорофеева В.П. Оцінка мінливості стоку річок у басейні р. Дністер // Вісник Одеського державного екологічного університету, 2011. Вип. 12. С. 168-177.
33. Лобода Н.С., Дорофеева В.П. Стан водних ресурсів р.Дністер за сценаріями глобального потепління // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2011. Т.3 (24). С. 36-44.
34. Лохтин В. М. Река Днестр, её судоходство, свойства и улучшение. Одесса: Типография А.Шильце, 1886 119 с.
35. Малі річки України: довідник / за ред. А.В. Яцика. К.: Урожай, 1991. – 296 с.
36. Материалы по типизации рек Украинской ССР. Гидрографические характеристики рек Украинской ССР / Дрозд Н.И. К.: Изд-во АН УССР, 1953. 349 с.
37. Мельник А. А. Вплив антропогенної перетвореності річкових басейнів на паводки Карпато-Подільських приток Дністра: автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.07 / Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. К., 2013. 20 с.
38. Мельник С.В., Лобода Н.С. Динамика наносов верхнего и среднего Днестра в условиях антропогенной нагрузки и изменения климата: Монография. Одесский государственный экологический университет. Одесса: ТЕС, 2019. 296 с.
39. Мельник С.В., Лобода Н.С. Зміни водного режиму річок Поділля // Праці Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського, 2021. Вип.17 (31). С. 41-48.
40. Мудра К.В. Аналіз багаторічної динаміки коливань стоку Дністра та його приток. Фізична географія та геоморфологія. 2018. Вип.3 (91). С. 15-20.
41. Овчарук В.А., Гопченко Є.Д., Траскова А.В. Нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Дністер. Харків: ФОП Панов А.М., 2017. 252 с.
42. Ободовский А.Г., Розлач З.В., Легка Ю.М. и др. Продольные профили основных водотоков в бассейне Днестра в контексте определения направленности вертикальных деформаций русла // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2008. Т.15. С. 43-54.
43. Паламарчук М.М., Загорчевна Н.Б. Водний фонд України. 2 вид. доп. К.: Ніка-центр, 2006. 320 с.
44. Пилипович О.В., Колодко М. Аналіз гідроекологічного стану поверхневих вод у басейнових системах верхньої частини сточища Дністра // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: Географія. Тернопіль, 2005. №2. С. 257-262.
45. Пилипович О.В., Ковальчук І.П. Геоєкологія річково-басейнової системи верхнього Дністра: Монографія / за наук. редакцією І.П. Ковальчука. Львів-Київ: ЛНУ ім. І. Франка, 2017. 284 с.
46. Приймаченко Н.В. Становлення і розвиток гідрологічних досліджень у басейні р. Дністер // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2005. Т. 7. С. 182-189.
47. Природа Тернопільської області / за ред. К.І. Геренчука. – Львів: Вища школа, вид-во при Львів. ун-ті, 1979. 167 с.
48. Природні умови та ресурси Тернопільщини / наук. Ред.: М.Я. Сивий, Л.П. Царик. - Тернопіль: Терно-граф, 2011. 512 с.
49. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. Вып.1. Западная Украина и Молдавия; под. ред. М.С. Каганера. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 884 с.
50. Сайт Днестровской комиссии (Комиссия по устойчивому использованию и охране реки Днестр). URL: <https://dniester-commission.com/publications/>
51. Сайт регіонального офісу водних ресурсів у Тернопільській області / URL: <https://rovto.davrgov.ua>
52. Середнє Придністров'я / за ред. Г. І. Денисика. Вінниця : Теза, 2007. 431 с.
53. Соседко М. Н. Зависимость характеристик максимальных расходов воды дождевых паводков в бассейне Днестра от ландшафтных условий // Труды УкрНИГМИ. 1973. Вып. 123. С. 100-118.
54. Соседко М.Н. Проявление цикличности в годовом и сезонном стоке Днестра // Тр. УкрНИГМИ. 1974. Вып. 129. С.42-51.
55. Справочник по водным ресурсам СССР. Т.VIII. Украинская ССР. Ч.2 / под ред. М.С. Каганера. К.: Изд-во АН УССР, 1955. 657 с.
56. Справочник по водным ресурсам / под ред. Б.И. Стрельца. К.: Урожай, 1987. 304 с.
57. Тернопільщина: цілі і потенціал сталого природокористування: монографія / Л. Царик, І. Барна, Ю. Гайда та ін. Тернопіль: СМП «Тайп», 2016. 498 с.
58. Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Регіональна гідрохімія України. К. : ВПЦ «Київський університет», 2019. 343 с.
59. Швець Г.І. Характеристики водності річок України. К.: Наукова думка, 1964. – 192 с.
60. Шерешевский А.И., Войцехович В.А. Влияние хозяйственной деятельности на сток Днестра // Тр. Укр. Регионального НИИ. 1984. №200. С.69-76.

61. Ющенко Ю.С. Огляд характерних особливостей морфогенезу русел подільських приток Дністра // Наукові записки Вінницького державного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія. Вип. 8. Вінниця, 2005. С. 28-36.

62. Słownik geograficzny Królestwa Polskiego i innych krajów słowiańskich / pod red. F. Sulimierskiego, B. Chlebowskiego, J. Krzywickiego i W. Walewskiego. T. II, Warszawa. 1881. 943 s.

References

1. Aks'om S.D., Khil'chevs'kyj V.K. Vplyv sul'fatnoho karstu na khimichnyj sklad pryrodnykh vod u basejni Dnistra [Influence of sulfate karst on the chemical composition of natural waters in the Dniester basin]. K.: Nika-Tsentr, 2002. 204 s.

2. Afanas'ev-Chuzhbynskyj A. Poezdka v Yuzhnuiu Rossyiu. Ch.II. Ocherky Dnestra [Trip to South Russia. Part II. Essays on the Dniester]. Sankt-Peterburh, Typohrafiya Morskoho mynysterstva, 1863 h. 438 s.

3. Babych M.Ya. Vodohospodars'ko-ekolohichne rajonuvannya basejnu Dnistra za rivnem antropohennoho navantazhennia [Water management and ecological zoning of the Dniester basin according to the level of anthropogenic load] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2008. T.14. S.151-157.

4. Balabukh V.A. Rehyonal'noe proiavlennye hlobal'noho yzmeneniia klymata v bassejne r. Dnestr [Regional manifestation of global climate change in the basin of the river Dniester] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2012. T.2 (27). S. 117-130.

5. Balabukh V.O. Rehional'ni proiavy hlobal'noi zminy klimatu v Ternopil's'kij oblasti ta mozhlyvi ikh zminy do seredyny XX st. [Regional manifestations of global climate change in the Ternopil region and their possible changes by the middle of the 21st century] // Naukovi zapysky TNPU im. V. Hnatiuka. Seriia: Heohrafiia. Ternopil', 2014. №1. S. 43-54.

6. Bassejn reky Dnestr. Ekolohycheskyj atlas [Basin of the Dniester River. Ecological atlas]. Kyshynev. 2012. 59 s.

7. Biriukov O. V. Budova i stik richkovoї merezhi Podil's'koi vysochyny [The structure and flow of the river network of the Podilsk Highlands] // Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia. 2015. Vyp.1, S. 78-85.

8. Bojko A.I., Lobodzins'kyj O.V., Luk'ianets' O.I. Rozrakhunkovi kharakterystyky seredn'oho richnoho stoku vody pravoberezhnoi ta livoberezhnoi chastyn basejnu r. Dnister do m. Zalischyky [Estimated characteristics of the average annual water flow of the right-bank and left-bank parts of the Dniester River basin to the city of Zalizhchyki] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia, 2020. T. 3(58). S.58-72.

9. Vyshnevs'kyj V.I. Richky i vodojmy Ukrainy. Stan i vykorystannia [Rivers and reservoirs of Ukraine. Condition and use]: Monohrafiia. K.: Vipol, 2000. 376 s.

10. Vyshnevs'kyj V.I. Pryrodnyj ta antropohenno zminenyj stik Dnistra [Natural and anthropogenically modified flow of the Dniester]. Prychornomors'kyj ekolohichnyj biuletyn'. 2005. № 3-4. S.87-91.

11. Vyshnevs'kyj V.I., Kosovets' O.O. Hidrolohiichni kharakterystyky richok Ukrainy [Hydrological characteristics of rivers of Ukraine]. K.: Nika-Tsentr, 2003. – 324 s.

12. Vyshnevs'kyj V.I., Kutsyj A.V. Bahatorichni zminy vodnoho rezhymu richok Ukrainy [Long-term changes in the water regime of the rivers of Ukraine]. K.: Naukova dumka, 2022. 252 s.

13. Vodnye resursy reky Dnestr [Water resources of the Dniester River] [Otv. red. A.V. Ohnevskyj]. K.: Yzd. AN USSR, 1952. 220 s.

14. Vodnyj fond Ukrainy. Shtuchni vodojmy. Vodoskhovyscha i stavky [Water Fund of Ukraine. Artificial reservoirs. Reservoirs and ponds]: Dovidnyk / Za red. V.K Khil'chevs'koho, V.V.Hrebenia. K.: Interpres LTD, 2014. – 164 s.

15. Haluschenko N.H. Vodnyj balans rek bassejna Dnestra [Water balance of the rivers of the Dniester basin] // Trudy Ukraynskoho rehyonal'noho nauchno-yssledovatel'skoho ynstytuta. M.: Hydrometeoizdat, 1977. Vyp. 153. s.126-139.

16. Heohrafichna entsyklopediia Ukrainy [Geographical encyclopedia of Ukraine]: V 3-kh t.; redkol.: O.M. Marynych (vidpov. red.) ta in. Kyiv: Ukrains'ka radiats'ka entsyklopediia im. M. Bazhana, 1989. T.1: A-Zh. 416 s.; 1990. T.2: Z-O. 480 s.; 1993. T.3: P-Ya. 480 s.

17. Heohrafiia Ternopil's'koi oblasti [Geography of Ternopil region]: monohrafiia. Pryrodni umovy i resursy [Natural conditions and resources]. T. 1. (za red. prof. Syvoho M.Ya.). Ternopil': Ternopil', FOP Osadtsa Yu.V. 2020. 516 s.

18. Hydrobyolohycheskyj rezhym Dnestra y eho vodoemov [Hydrobiological regime of the Dniester and its water bodies] / L.A. Syrenko, N.B. Evtushenko, F.Ya. Komarovskiy y dr. Otv. red. Brahynskiy L.P. K.: Nauk. dumka, 1992. 356 s.

19. Hidrokhimichnyj rezhym ta iakist' poverkhnevyykh vod basejnu Dnistra na terytorii Ukrainy [Hydrochemical regime and quality of surface waters of the Dniester basin on the territory of Ukraine] /

V.K. Khil'chevs'kyj, O.M. Honchar, M.R. Zabokryts'ka ta in. / Za red. V.K. Khil'chevs'koho, V.A. Stashuka. Kyiv. Nika-Tsentr. 2013. 180 s.

20. Honchar O.M. Hidrokhimichnyj rezhym ta otsinka iakosti vody richky Dnister (Podil's'ka chastyna) [Hydrochemical regime and water quality assessment of the Dniester River (Podilskyi part)] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2007. T.12. S.164-172.

21. Hrebin' V.V. Vnutrichnyj rozpodil stoku vody i nanosiv livoberezhnykh prytok Dnistra ta joho suchasni zminy [Intra-annual distribution of water flow and sediments of left-bank tributaries of the Dniester and its modern changes] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2005. T.7. S. 133-142.

22. Hrebin' V.V. Suchasnyj vodnyj rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohiichnyj analiz) [Modern water regime of rivers of Ukraine (landscape and hydrological analysis)] : monohrafiia. Kyiv: Nika-Tsentr, 2010. 316 s.

23. Hrebin' V.V., Mudra K.V. Vykorystannia rehional'noi modeli klimatu (REMO) dlia otsiniuvannia tendentsij kolyvan' stoku vody v basejni Dnistra [Using the regional climate model (REMO) to estimate trends in water flow fluctuations in the Dniester basin]. Visnyk Kyivs'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Heohrafiia. 2018. T.1 (70). C.22-28.

24. Denysyk H. I. Pryrodnycha heohrafiia Podillia [Natural geography of Podillia]. Vinnytsia: EkoBiznesTsentr, 1998. 184 s.

25. Denysyk H. I., Khaiets'kyj H. S., Stefankov L. I. Vodni antropohenni landshafty Podillia [Water anthropogenic landscapes of Podillia]: [monohrafiia]: Vinnytsia: PP "Vydavnytstvo «Teza», 2007. 216 s.

26. Domanytskyj A.P. Dnestr y eho bassejn. Hydrolohycheskyj ocherk [Dniester and its basin. Hydrological essay] / L.: Hydrometeoizdat, 1941. 308 s.

27. Zakliuchtel'nyj otchet. Proekt ynytsyatyvy ENVSEC «Snyzhenye uiazvymosty k ekstremal'nym navodnениyam y yzmeneniyu klymata v bassejne reky Dnestr» [Final report. ENVSEC Initiative Project "Reducing Vulnerability to Extreme Floods and Climate Change in the Dniester River Basin"] / S.Krakovskaia, V.Balabukh, L.Horbacheva, Yu.Nabyvanets. Kyev : UkrHMY, 2012. 118 s.

28. Koval'chuk I.P. Rehional'nyj ekoloho-heomorfologichnyj analiz [Regional ecological and geomorphological analysis]. L'viv: Instytut ukrainoznavstva, 1997. 440 s.

29. Kozhem'iakin D.V., Chornomorets' Yu.O. Vodnyj balans basejnyv richok Dnistra do mista Zalischyky [Water balance of the basins of the Dniester rivers to the city of Zalizhchyki] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia, 2018. T. 1(41). S.24-36.

30. Kononenko N.Y. Hydrolohycheskye y heomorfologicheskyye uslovyia formirovaniia hodovoho stoka rek bassejna Dnestra [Hydrological and geomorphological conditions for the formation of the annual runoff of the rivers of the Dniester basin] // Tr.UkrNYHMY. 1970. Vyp. 88. S.88-98.

31. Kononenko N.Y. Kolebaniia hodovoho stoka rek bassejna Dnestra [Fluctuations in the annual runoff of rivers in the Dniester basin] // Trudy UkrNYHMY. 1970. Vyp. 93. S. 117-127.

32. Loboda N.S., Dorofieieva V.P. Otsinka minlyvosti stoku richok u basejni r. Dnister [Assessment of the variability of river flow in the Dniester basin] // Visnyk Odes'koho derzhavnogo ekolohichnoho universytetu, 2011. Vyp. 12. S. 168-177.

33. Loboda N.S., Dorofieieva V.P. Stan vodnykh resursiv r.Dnister za stsennariiamy hlobal'noho poteplinnia [The state of water resources of the Dniester River under global warming scenarios] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2011. T.3 (24). S. 36-44.

34. Lokhtyn V. M. Reka Dnestr, eio sudokhodstvo, svojstva y uluchshenye [The Dniester River, its navigation, properties and improvement]. Odessa: Typohrafiia A.Shyl'tse, 1886 119 s.

35. Mali richky Ukrainy [Small rivers of Ukraine]: dovidnyk / za red. A.V. Yatsyka. K.: Urozhaj, 1991. 296 s.

36. Materyaly po typyzatsyy rek Ukraynskoj SSR. Hydrohrafycheskye kharakterystyky rek Ukraynskoj SSR [Materials on the typification of the rivers of the Ukrainian SSR. Hydrographic characteristics of the rivers of the Ukrainian SSR] / Drozd N.Y. K.: Yzd-vo AN USSR, 1953. 349 c.

37. Mel'nyk A. A. Vplyv antropohennoi peretvorenosti richkovykh basejnyv na pavodky Karpato-Podil's'kykh prytok Dnistra [The influence of anthropogenic transformation of river basins on the floods of the Carpatho-Podilsky tributaries of the Dniester]: avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk : 11.00.07 / Kyiv. nats. un-t im. Tarasa Shevchenka. K., 2013. 20 s.

38. Mel'nyk S.V., Loboda N.S. Dynamyka nanosov verkhneho y sredneho Dnestra v uslovyakh antropohennoj nahruzky y yzmeneniia klymata [Sediment Dynamics of the Upper and Middle Dniester under the Conditions of Anthropogenic Load and Climate Change]: Monohrafiia. Odesskyj hosudarstvennij iekolohycheskyj unyversytet. Odessa: TYeS, 2019. 296 s.

39. Mel'nyk S.V., Loboda N.S. Zminy vodnoho rezhymu richok Podillia [Changes in the water regime of Podillia rivers] // Pratsi Tsentral'noi heofizychnoi observatorii imeni Borysa Sreznevs'koho, 2021. Vyp.17 (31). S. 41-48.

40. *Mudra K.V.* Analiz bahatorichnoi dynamiky kolyvan' stoku Dnistra ta joho pryток [Analysis of long-term dynamics of fluctuations in the flow of the Dniester and its tributaries]. Fizychna heohrafiia ta heomorfologhiia. 2018. Vyp.3 (91). С. 15-20.
41. *Ovcharuk V.A., Hopchenko Ye.D., Traskova A.V.* Normuvannia kharakterystyk maksimal'noho stoku vesnianoho vodopillia v basejni richky Dnister [Standardization of the characteristics of the maximum flow of spring irrigation in the Dniester River basin]. Kharkiv: FOP Panov A.M., 2017. 252 s.
42. *Obodovskyj A.H., Rozlach Z.V., Lehka Yu.M.* y dr. Prodol'nye profily osnovnykh vodotokov v bassejne Dnestra v kontekste opredeleniya napravlenosti vertykal'nykh deformatsyj rusla [Longitudinal profiles of the main watercourses in the Dniester basin in the context of determining the direction of vertical deformations of the channel] // Hidrologhiia, hidrokhimiia i hidroekologhiia. 2008. T.15. S. 43-54.
43. *Palamarchuk M.M., Zakorchevna N.B.* Vodnyj fond Ukrainy [Water Fund of Ukraine]. 2 vyd. dop. K.: Nika-tsent, 2006. 320 s.
44. *Pylypovych O.V., Kolodko M.* Analiz hidroekologichnoho stanu poverkhnevnykh vod u basejnovykh systemakh verkhnoi chastyny stochyscha Dnistra [Analysis of the hydroecological state of surface waters in the basin systems of the upper part of the Dniester watershed] // Naukovi zapysky Ternopil's'koho natsional'noho pedahohichnoho universytetu. Seriia: Heohrafiia. Ternopil', 2005. №2. S. 257-262.
45. *Pylypovych O.V., Koval'chuk I.P.* Heoekologhiia richkovo-basejnovoi systemy verkhnoho Dnistra [Geoecology of the upper Dniester river basin system]: Monohrafiia / za nauk. redaktsiieiu I.P. Koval'chuka. L'viv-Kyiv: LNU im. I. Franka, 2017. 284 s.
46. *Pryjmachenko N.V.* Stanovlennia i rozvytok hidrologichnykh doslidzhen' u basejni r. Dnister [Formation and development of hydrological research in the Dniester river basin] // Hidrologhiia, hidrokhimiia i hidroekologhiia. 2005. T. 7. S. 182-189.
47. *Pryroda Ternopil's'koi oblasti* [Nature of the Ternopil region] / za red. K.I. Herenchuka. – L'viv: Vyscha shkola, vyd-vo pry L'viv. un-ti, 1979. 167 s.
48. *Pryrodni umovy ta resursy Ternopil'schyny* [Natural conditions and resources of the Ternopil region] / nauk. Red.: M.Ya. Syvyj, L.P. Tsaryk. - Ternopil': Terno-hraf, 2011. 512 s.
49. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T.6. Ukrayna y Moldavyia. Vyp.1. Zapadnaia Ukrayna y Moldavyia* [Surface water resources of the USSR. T.6. Ukraine and Moldova. Issue 1. Western Ukraine and Moldova]; pod. red. M.S. Kahanera. L.: Hydrometeoizdat, 1969. 884 s.
50. *Sajt Dnestrovskoj komysy (Komysyia po ustojchyvomu yspol'zovanyiu y okhrane reky Dnestr)* [Website of the Dniester Commission (Commission for the Sustainable Use and Protection of the Dniester River)] / URL: <https://dniester-commission.com/publications/>
51. *Sajt rehional'noho ofisu vodnykh resursiv u Ternopil's'kij oblasti* [Site of the regional office of water resources in the Ternopil region] URL: <https://rovto.davr.gov.ua>
52. *Serednie Prydnistrov'ia* [Middle Transnistria] / za red. H. I. Denysyuka. Vinnytsia : Teza, 2007. 431 s.
53. *Sosedko M. N.* Zavysymost' kharakterystyk maksimal'nykh rashodov vody dozhddevykh pavodkov v bassejne Dnestra ot landshaftnykh uslovij [Dependence of the Characteristics of the Maximum Water Discharge of Rain Floods in the Dniester Basin on Landscape Conditions] // Trudy UkrNYHMY. 1973. Vyp. 123. S. 100-118.
54. *Sosedko M.N.* Proivlenye tsyklichnosti v hodovom y sezonnom stoke Dnestra [Manifestation of cyclicity in the annual and seasonal runoff of the Dniester] // Tr. UkrNYHMY. 1974. Vyp.129. S.42-51.
55. *Spravochnyk po vodnym resursam SSSR. T.VIII. Ukraynskaia SSR. Ch.2* [Reference book on water resources of the USSR. T.VIII. Ukrainian SSR. Part 2] / pod red. M.S. Kahanera. K.; Yzd-vo AN USSR, 1955. 657 s.
56. *Spravochnyk po vodnym resursam* [Water resource guide] / pod red. B.Y. Strel'tsa. K.: Urozhaj, 1987. 304 s.
57. *Ternopil'schyna: tsili i potentsial staloho pryrodokorystuvannia* [Ternopil region: goals and potential of sustainable nature management]: monohrafiia / L. Tsaryk, I. Barna, Yu. Hajda ta in. Ternopil': SMP «Tajp», 2016. 498 s.
58. *Khil'chevs'kyj V. K., Osadchyj V. I., Kurylo S. M.* Rehional'na hidrokhimiia Ukrainy [Regional hydrochemistry of Ukraine]. K. : VPTs «Kyivs'kyj universytet», 2019. 343 s.
59. *Shvets' H.I.* Kharakterystyky vodnosti richok Ukrainy [Water characteristics of the rivers of Ukraine]. K.: Naukova dumka, 1964. 192 s.
60. *Shereshevskyj A.Y., Vojtsekhovych V.A.* Vlyanye khoziajstvennoj deiatel'nosti na stok Dnestra [The impact of economic activity on the flow of the Dniester] // Tr. Ukr. Rehyonal'noho NYY. 1984. №200. S.69-76.
61. *Yuschenko Yu.S.* Ohliad kharakternykh osoblyvostej morfohenezu rusel podil's'kykh pryток Dnistra [An overview of the characteristic features of the morphogenesis of the channels of the Podil

tributaries of the Dniester] // Naukovi zapysky Vinnyts'koho derzhavnoho universytetu imeni Mykhajla Kotsiubyns'koho. Serii: Heohrafiia. Vyp. 8. Vinnytsia, 2005. S. 28-36.

62. Słownik geograficzny Królestwa Polskiego i innych krajów słowiańskich [Geographical dictionary of the Kingdom of Poland and other Slavic countries] / pod red. F. Sulimierskiego, B. Chlebowskiego, J. Krzywickiego i W. Walewskiego. T. II, Warszawa. 1881. 943 s.

Analysis of the State of Study of the Rivers of the Dniester Basin in Ternopil Region

Kapusta T., Syvyj M., Bytsyra L.

The purpose of the study is to analyze the study of the river basin systems of the left tributaries of the Dniester, located within the Ternopil region of Ukraine. Information is provided regarding previously made generalizations regarding the study of the rivers of the basin from the works of the 19th century. to modern monographic publications and individual articles.

The study of the first publications summarizing the regime of the rivers of the basin and their use shows that it was the needs of shipping that determined the beginning (in the middle of the 19th century) of regular observations of water levels on the Dniester, when the first four water measuring posts were opened. The first water measuring posts on the left-bank tributaries of the Dniester within the region were opened during the times of Austria-Hungary - in the 80s and 90s of the 19th century. Measurement of water consumption at individual stations began at the beginning of the 20th century. Since the end of the 80s of the last century, the number of posts on the Podil tributaries of the Dniester within Ternopil Oblast has remained unchanged and amounts to 11 units. A significant drawback of stationary hydrometric observations within the basin for the period from their beginning to the middle of the 20th century. there is an interruption in the series of observations at almost all posts, since a significant part of the materials of observations at posts that worked within the boundaries of the former Austro-Hungarian (before the First World War), Polish and Romanian parts of the basin in the interwar period (20-30s of the XX century.) turned out to be lost.

The analysis of the state of study of the rivers of the region and their basins shows that the greatest attention in the works of domestic scientists is devoted to the analysis of various aspects of the hydrological regime of the rivers of the region. Research on the hydrochemical regime and water quality, the hydroecological component, attracted much less attention. Scientists of the Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Taras Shevchenko Kyiv National University, Odesa State Ecological University, Ivan Franko Lviv National University, Mykhailo Kotsyubynsky Vinnytsia State Pedagogical University, Ternopil National Pedagogical Volodymyr Hnatyuk University.

Keywords: track record; Dniester; Ternopil region; river-basin systems; vivacity; main publications.

Надійшла до редколегії 18.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.4.9>

УДК 556.3.04+556.314

Лаврова Т.В., Кориченський К.О., Войцехович О.В.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, м. Київ

ОЦІНКА БАГАТОРІЧНИХ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ЗМІН ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПІДЗЕМНИХ ВОД У ЗОНІ ВПЛИВУ КОЛИШНЬОГО УРАН-ПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА ВО «ПРИДНІПРОВСЬКИЙ ХІМІЧНИЙ ЗАВОД»

У статті надано аналіз даних багаторічних (2005-2021 рр.) спостережень за хімічним складом підземних вод зони впливу колишнього підприємства з переробки уранових руд (ВО Придніпровський хімічний завод («ПХЗ»)) у м. Кам'янське, зокрема ділянок приповерхневого утримання залишків переробки уранових руд у хвостосховищах («Західне», «Центральний Яр» та інших). Всі хвостосховища на майданчику колишнього ВО «ПХЗ» були збудовані без облаштування протифільтраційних бар'єрів, а тому під впливом атмосферних вод забруднені води, що формуються у тілі хвостосховищ і мають високі концентрації радіонуклідів уранового ряду, а також залишків хімічних реагентів можуть надходити у верхні водоносні горизонти підземних вод, з якими вони розповсюджуються за межі їх технологічної локалізації у хвостосховищах. Крім того, вся територія колишнього промислового майданчика гірничо-хімічного виробництва «ПХЗ» представляє собою комплекс колишніх підприємств, відстійників, майданчиків утримання відходів виробництва, складів хімічних реагентів і залишків колишнього виробництва, які також є джерелами техногенного забруднення території і впливу на хронічне забруднення підземних вод. Тому програми моніторингу довкілля у зоні впливу хвостосховищ включали не тільки спостереження за показниками вмісту радіонуклідів уран-торієвого ряду в елементах природного середовища, але і вивчення динаміки гідрохімічного складу вод. Аналіз даних спостережень протягом періоду спостережень з 2005 по 2021 рр. виконано з метою оцінки дальності поширення забруднених вод за межі розташування хвостосховищ, виявлення пріоритетних макроіонів у складі підземних вод, як індикаторів з оцінки поширення ореолу забруднених вод за межі хвостосховищ, а також виявлення закономірностей формування якості підземних вод у межах майданчика під впливом техногенних і природних факторів. Показано, що по мірі віддалення місця відбору проб від хвостосховищ суттєво змінювалися мінералізація підземних вод, а також її хімічний склад. Зміни хімічного складу вод і домінуючий вміст основних макроіонів на різних відстані від хвостосховищ дозволили визначити відмінність характеристик впливу інфільтраційних вод із джерела надходження у хвостосховищах і розсіяних джерел забруднення у межах майданчика «ПХЗ» по лінії току підземних вод. Показано основні фактори невизначеності в оцінках формування хімізму підземних вод у зоні промислового комплексу, які потрібно враховувати для розвитку мережі моніторингових спостережень.

Ключові слова: майданчик спадщини уранового виробництва, хвостосховища, підземні води, хімічний склад, ізотопи урану, оцінка якості, багаторічні зміни.

Вступ. Забруднена водозбірна територія у межах промислового майданчика колишнього виробничого об'єднання «Придніпровський хімічний завод» (ВО «ПХЗ»)) з переробки уранових руд у м. Кам'янське протягом багатьох років після припинення експлуатації підприємства у 1992 р. залишається значно забрудненою радіонуклідами уранового ряду у техногенно-підвищених концентраціях, а також іншими речовинами рудного і технологічного походження, зокрема, залишками кислотних розчинів та інших хімічних реагентів, що використовувалися у гірничо-хімічному виробництві. Хімічні складові таких реагентів, основними із яких є сульфатні, карбонатні, нітратні, амонійні та інші комплекси, асоційовані із рудними залишками матеріалу технологічних хвостів, накопичених у хвостосховищах на майданчику колишнього ВО «ПХЗ», зокрема, у хвостосховищах «Західне» і «Центральний Яр», а також на прилеглої території лівобережної заплави р. Коноплянка (хвостосховище «Дніпровське»)) [1] (рис.1).

Хвостосховища, де накопчено мільйони тон рудних залишків уранового виробництва, є концентрованими джерелами надходження радіоактивних і хімічних речовин у підземні води під впливом атмосферних опадів (інфільтраційне живлення),

оскільки вони не мають надійного покриття та гідроізоляційних бар'єрів. У деяких випадках залежно від сезону і водності року нижні шари хвостового матеріалу можуть бути підтоплено, а у тілі хвостосховищ формуватися лінзи техногенно забруднених вод, які мають довготривалий вплив на забруднення підземних вод верхнього алювіального водоносного горизонту.

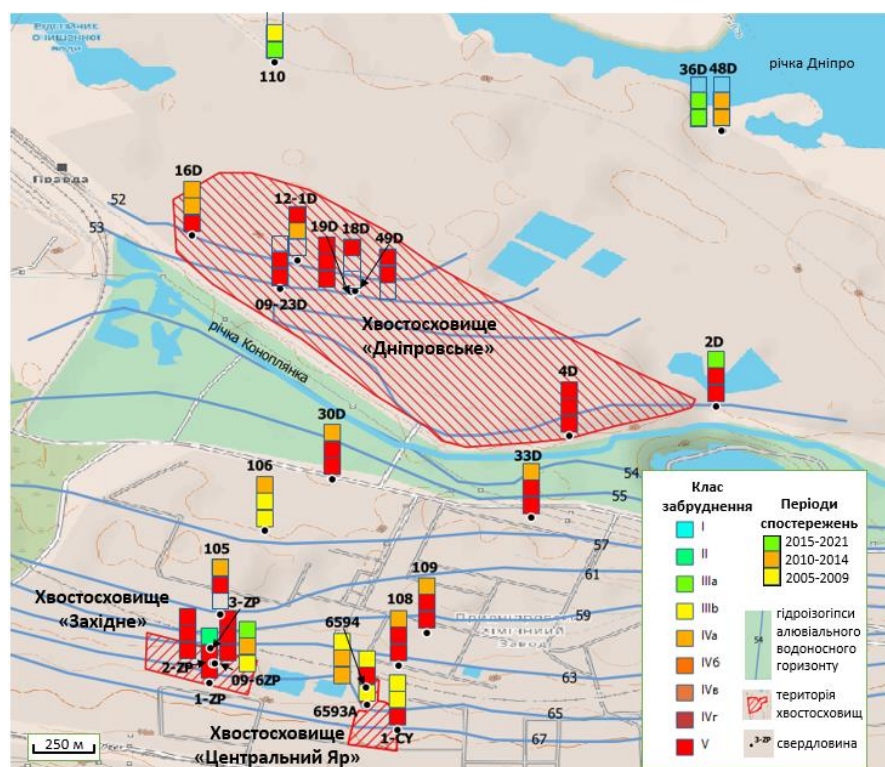


Рис. 1. Картосхема проммайданчика колишнього ВО «ПХЗ» (м. Кам'янське) з розподілом визначеного за окремими періодами спостережень класу забруднення по свердловинам.

Оскільки у якості основного розчинника для вилугування урану із розмелених рудних мас на «ПХЗ» протягом періоду заповнення хвостосховищ «Західне» і «Центральний Яр» застосовували сірчану кислоту (у суміші із азотною кислотою), а також карбонатні органічні розчинники, для очищення продуктів уранового виробництва використовували у значній кількості хлорид натрію. Для нейтралізації кислотних розчинів у складі матеріалу технологічних хвостів виробництва, на початку виробничої діяльності, використовували нітрат амонію (NH_4NO_3), а також содові розчини на основі кальцинованої соди (Na_2CO_3). Тому у хвостовому матеріалі і гідрохімічному складі вод техногенного горизонту, що формувалися у тілі хвостосховищ і водах алювіального горизонту найближчої зони впливу винесення фільтраційних вод, можна спостерігати складний комплекс різних хімічних сполук, у складі яких у тій чи іншій мірі будуть домінувати сульфатні, карбонатні, хлоридні, нітратні та амонійні комплекси [1].

Вміст домінуючих компонентів хімічного складу підземних вод алювіального горизонту відображає технологічні особливості і хімізм вод, який формується і переміщується від хвостосховищ з початку і до завершення їх експлуатації та протягом останніх майже 70 років.

З іншого боку, потрібно враховувати, що певні макроіони (натрій, амоній, хлориди, нітрати та меншою мірою сульфати), на відміну від інших макро- та мікро-іонів (серед яких радіонукліди уранового ряду), можуть мігрувати із підземними водами по напрямку їх току без суттєвого впливу на них геохімічних сорбційних бар'єрів. Ореоли розповсюдження вод із підвищеними концентраціями цих іонів (відповідно із підвищеною мінералізацією) можуть поширюватись на більшу відстань з часом у підземних водах.

Відношення хімічного складу підземних вод алювіального водоносного горизонту на

різній відстані по лінії току від хвостосховищ до фонового складу за межами впливу хвостосховищ дозволяє визначити ділянки впливу джерел пов'язаних з минулим урановим виробництвом та ділянки з переважно природним впливом на формування їхнього складу.

Аналіз хімічного складу вод, в яких одночасно визначався вміст ізотопів урану, як основного параметра радіоекологічного контролю на майданчику уранової спадщини, в роботах [2], дозволив визначити, що присутність сульфатів і гідрокарбонатів у воді за певних геохімічних умов формує комплексні сполуки урану такі як UO_2SO_4 , UO_2CO_3 , $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ та інші, що зменшує здатність урану до сорбції у геологічному середовищі і сприяє його прискореному поширенню за межі хвостосховищ.

Наявність у хімічному складі підземних вод основних макроіонів, що у зоні впливу хвостосховищ спостерігаються у дуже високих концентраціях, які суттєво перевищують можливі варіації хімізму підземних вод природного походження. Після надходження із хвостосховищ вони, протягом дуже тривалого часу (десятки і сотні років), можуть перебувати у підземних водах зони впливу промислових майданчиків уранового виробництва. Це свідчить про необхідність підтримки довготривалих програм моніторингу хімічного складу підземних вод у зоні впливу хвостосховищ на майданчику колишнього ВО «ПХЗ», у тому числі з метою контролю екологічної безпеки і, зокрема, якості вод. Саме такі питання вивчалися на основі аналізу даних багаторічних спостережень за хімізмом підземних вод на майданчику колишнього ВО «ПХЗ» і розглядаються у даній статті.

Постановка завдання та вихідні матеріали. Метою даного дослідження є оцінка тенденцій у формуванні хімічного складу підземних вод у зоні розповсюдження ореолу забруднених вод із хвостосховищ залишків уранового виробництва «Західне» і «Центральний Яр», а також визначення у часі змін хімічного складу підземних вод на території та у зоні впливу колишнього ВО «ПХЗ» за даними багаторічних спостережень (2005-2021 рр.). Спостереження за хімічним складом підземних вод виконувалися в рамках програм об'єктового моніторингу природного середовища у зоні впливу майданчика спадщини уранового виробництва ВО «ПХЗ» протягом періоду з 2005 р. по 2017 р. [3, 4]. Раніше аналіз вмісту радіонуклідів уранового ряду, а також характеристик вмісту хімічними елементами підземних вод на майданчику колишнього ВО «ПХЗ» виконано у роботах [5, 6, 7, 8].

Об'єкт дослідження. В дослідженні аналізується хімічний склад вод алювіального водоносного горизонту, що має поширення у зоні розташування майданчика колишнього ВО «ПХЗ».

Гідрогеологічні умови в районі дослідження характеризуються наявністю двох водоносних горизонтів: алювіального у четвертинних відкладах складених пісками, супісками та суглинками, та водоносний горизонт зони тріщинуватості докембрійських кристалічних порід.

За результатами попередніх досліджень основними локалізованими джерелами формування забруднення підземних вод на основному майданчику колишнього уранового виробництва було визначено хвостосховища «Західне» і «Центральний Яр», які розташовані у межах транселювіального типу ландшафту на правобережному схилі верхньої тераси долини Дніпра на околиці м. Кам'янське. Підземні води верхнього алювіального водоносного горизонту у межах колишнього промислового майданчика рухаються у напрямку зони нижньої тераси трансаквального ландшафту до їх розвантаження у заплаві р. Коноплянка, яка протікає на відстані 800-1000 м від хвостосховищ. Водоносний горизонт у межах тераси і схилів морфологічної будови правобережжя р. Дніпро характеризується відносно високими фільтраційними властивостями, що створює умови для відносно швидкого поширення ореолу забруднюючих речовин у напрямку р. Коноплянка (6-10 м/рік) [5, 6].

Величина інфільтраційного живлення підземних вод за рахунок атмосферних опадів для різних типів ґрунтів на досліджуваній території при відсутності рослинного покриву і поверхневого стоку становить 150-220 мм/рік (28-40% річної суми опадів), при наявності рослинного покриву – 110-150 мм/рік (20-28% річної суми опадів) [9].

На шляху руху підземних вод від хвостосховищ у напрямку розвантаження можна виділити два основних джерела надходження мінеральних речовин, які формують хімічний склад підземної води, а саме:

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2022. № 4 (66)

- високомінералізовані води техногенного горизонту у тілі хвостосховищ і у межах ореолу їх поширення (типовий хімічний склад вод показано у Таблиці 1), які з фільтраційним потоком в алювіальному водоносному горизонті рухаються у напрямку їх розвантаження і характеризуються високою мінералізацією із домінуванням сульфатних, хлоридних або нітратних залишків реагентів у хімічному складі вод техногенного горизонту, що використовувалися у технологічному циклі виробництва (для таких вод характерним також є високий рівень вміст урану);
- підземні води за межами безпосереднього поширення сучасного ореолу розповсюдження високомінералізованих вод, хімічний склад яких сформовано протягом тривалого часу їх фільтраційного руху, переважно факторами природного походження (атмосферними опадами, їх хімізмом, а також вилуджуванням природних мінеральних елементів) або в умовах переважного впливу факторів забруднення промислового фону майданчика, які на даний час не визначені.

Якщо прийняти спрощену модель формування хімічного складу підземних вод у зоні фактичного і потенційного (у майбутньому) впливу виносу забруднених вод із хвостосховища, виникає практичне питання, який показник хімічного складу вод доцільно приймати у якості критерію впливу забруднюючих речовин, які накопичені у хвостосховищах. У більшості досліджень, які виконано раніше для даного майданчика, основним критерієм ризику досягнення ореолу забруднених вод із хвостосховища приймали рівень гарантованого досягнення концентрацій ізотопів урану у воді на ділянці їх розвантаження у р. Коноплянка на рівні 1 і 10 Бк/дм³. Оскільки рівень 1 Бк/дм³ є близьким до фонових рівнів забруднення на майданчику, то показник 10 Бк/дм³ може бути обрано цілком обґрунтовано нижньою межею ореолу розповсюдження вмісту ізотопів урану у воді (до того ж це рівень безпеки НРБУ-97) [10].

Відповідно до математичного моделювання в роботі [11] такі рівні забруднення вод на межі їх розвантаження у р. Коноплянка можуть мати місце не раніше ніж через кілька сотень років. Натомість, час руху вод фільтраційного потоку від хвостосховищ із характеристиками гідравлічної провідності 6-8 м/рік, дозволяє припустити, що хімічний склад води у свердловинах на відстані 500 м і більше від хвостосховища було сформовано ще до періоду будівництва самих хвостосховищ, на початку 50 років минулого століття. Але основні макроіони вод, зокрема сульфати або хлориди у складі води можуть мігрувати з водою без суттєво впливу сорбції, і тому очікувані терміни досяжності зони розвантаження вод, хімічний склад яких сформовано під впливом фільтраційного виносу із хвостосховищ є суттєво більш коротким. У якості критерії ідентифікації таких вод у даному дослідженні пропонується використати концентрації сульфатів і хлоридів у воді на рівні фонових коливань вмісту їх у свердловинах за межами впливу хвостосховищ (деталі обговорюються далі і наведені у Таблиці 2). Таке припущення дозволяє показати, що перевищення вмісту сульфатів і хлоридів у підземних водах є ознакою того, що ореол високомінералізованих вод із хвостосховища досягнув певної відстані від джерела їх формування.

Запропонований підхід дозволив, використовуючи оцінки порівняльного аналізу даних моніторингу визначити межі зони переміщення основного ореолу забруднених вод із об'ємними концентраціями урану вище 10 Бк/дм³, а також шлейфу забруднення, який сформовано макроіонами хімічного складу вод у техногенно підвищених концентраціях, виокремлюючи вплив хвостосховищ і фактори іншого генезису.

Для територій за межами переміщення основного ореолу забруднення підземних вод ураном по лінії току підземних вод, актуальним також стає виконувати оцінку якості вод (результати і обговорення наведено у тексті далі і табл. 2).

Матеріали та методи досліджень. Визначення вмісту головних макроіонів у підземних водах виконано за стандартними хімічними методиками, детальний опис яких наведено у роботі [12]. Для інтегрованої оцінки домінуючих макроіонів у хімічному складі підземних вод із свердловин на різній відстані від джерела забруднення (хвостосховищ) використовували розгорнуту формулу Курлова [13].

Для оцінки якості підземних вод із свердловин на віддалених ділянках спостережень, для яких розглядалися можливості відновлення технічного водопостачання, розраховувались комплексні індекси забруднення вод [14], які рекомендовані у

Керівництві [15] з оцінки якості підземних вод на майданчиках фонового забруднення впливу із визначеними порогових значень (ПЗ) забруднення.

Для оцінки рівня забруднення підземних вод техногенного водоносного горизонту використано показник питомої величини комбінаторного індексу забруднення (ПКІЗ), який раніше в роботі [14] було рекомендовано для аналізу забруднення високо мінералізованих підземних вод в районах впливу промислових підприємств, де ГДК для питних вод за окремими показниками може перевищуватися у 10-100 разів.

Методи і процедури оцінювання показників ПЗ і комбінаторних індексів забруднення широко застосовуються в гідрометеорологічній практиці. Застосування методів з оцінювання індексів забруднення вод по відношенню до певного рівня порогових значень безпечного використання підземних вод, які рекомендовані у [15] також є виправданим у якості одного із елементів процедури оцінки безпеки для планування промислової діяльності на майданчику після приведення його у безпечний стан. На відміну від можливості очищення території і колишніх інженерних об'єктів на майданчиках колишніх уранових виробництв, залишки переробки уранових руд у хвостосховищах будуть зберігатися в них дуже тривалий час. Відповідно, надходження та рух до зони розвантаження забруднюючих речовин, які вже надійшли з фільтраційними потоками у підземні водоносні горизонти, є дуже тривалим процесом (сотні років). Тому навіть після можливого спорудження необхідних інженерних фільтраційних бар'єрів, забруднюючі речовини, що вже надійшли у підземні води будуть тут також залишатися десятки і сотні років протягом часу їх повного самоочищення.

У таких умовах згідно із міжнародною практикою стримуючим фактором для звільнення від регуляторного контролю і вибір оптимальних опцій перепрофілювання виробництва на об'єктах і території майданчиків спадщини уранового виробництва можуть стати невизначеність гарантій безпеки гіпотетичного водокористування і необхідність заходів контролю забруднення підземних вод [14,15].

За величиною показників питомого комбінаторного індексу забруднення (ПКІЗ) води для свердловин зони впливу хвостосховищ було визначено відповідність їх до певного класу якості, які за аналогією застосування у Керівництві [15] для інтерпретації результатів моніторингу якості підземних вод у зонах техногенного забруднення по відношенню до рекомендованого ГДК для питного водопостачання визначали за приналежністю до п'яти класів якості води: I клас слабо забруднена (1), II клас забруднена (1-2), III клас брудна (2-4), IV клас дуже брудна (4-11), V клас екстремально брудна (>11) [14, 16].

Для спрощеної оцінки якості води для обраних хімічних показників ($n=8$) розраховували індекс забруднення (ІЗ), що характеризує усереднену величину перевищення показника ПЗ для обраної кількості показників.

$$З = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n KK_{ПЗi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{ПЗi}}$$

В гідрометеорологічній практиці спостережень за хімізмом вод, показник ІЗ використовується для оцінки стану поверхневих вод за певними 6 показниками, для яких була розроблена відповідна класифікація.

Для хімічних показників підземних вод на промислових майданчиків із використанням визначених восьми показників хімізму вод, дещо модернізований підхід співставлення показників ІЗ та ПКІЗ дозволили також встановити градацію діапазонів коливань ІЗ для підземних вод промислового майданчика ПХЗ відповідно до категорії рівня забруднення, які надано у табл. 1.

Таблиця 1. Клас якості вод за величиною ПКІЗ і ІЗ

Клас	I	II	III		IV				V
розряд			а	б	а	б	в	г	
категорія			1	2	1	2	3	4	
ПКІЗ	1	1-2	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-11	≥ 11
ІЗ	< 0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,5	2,5-3,5	3,5-6,0	6,0-8,5	8,5-11	≥ 11

Для оцінки змін у часі і просторі показників мінералізації вод відносно встановленого середнього значення за попередні роки використовували коефіцієнт галинності [17].

Для наочного зображення даних про хімічний склад природних вод використано дещо модернізований підхід застосування формули Курлова, який дозволяє виражати хімічний склад води у вигляді псевдодробу, для якого у чисельнику зліва направо записують аніони у порядку зменшення їх кількості (в %) речовини, а у знаменнику – таким же чином записуються катіони. Значення у відсотках щодо катіонів і аніонів округляються до цілих чисел. Ліворуч від дробу дається загальна мінералізація води. Модернізований підхід, який використано у даному дослідженні, що у вигляді псевдодробу надаються не абсолютні величини визначені у %, а у вигляді перевищення фактичного вмісту макроіонів хімізму вод над фоновим рівнем їх вмісту за межами впливу хвостосховища або обраними пороговими значеннями (ПЗ), які мають бути встановлені для кожного промислового майданчика.

Для спрощення надання та аналізу узагальнюючої інформації про основні макроіонів, що складають поточний рівень забруднення вод, за аналогією із формулою сольового складу Курлова, були розраховані формули перевищення вмісту основних макроіонів у воді над визначеними пороговими значеннями для даного майданчика і фоновими концентраціями (за межами впливу хвостосховищ).

У якості прикладу такий підхід розкрито у формульному запису гіпотетичного хімічного складу вод у свердловинах нижче по потоку від місця надходження високомінералізованих вод у верхній алювіальний горизонт у випадку оцінки просторової зміни показників забруднення вод.

$$K_G 1,0 \frac{SO_4^{2-} 4,8 \ Cl^- 2,2 \ HCO_3^- 1,5 \ NO_3^- 0,9}{Na^+ 2,3 \ Mg^{2+} 1,8 \ Ca^{2+} 0,9 \ NH_4^+ 0,9}$$

де K_G – коефіцієнт галинності, SO_4^{2-} – сульфат-іон, Cl^- – хлор-іон, HCO_3^- – гідрокарбонат-іон, NO_3^- – нітрат-іон, Na^+ – натрій-іон, Mg^{2+} – магній-іон, Ca^{2+} – кальцій-іон, NH_4^+ – іон амонію; числові значення – кількість разів перевищення над визначеним фоновим вмістом основних макроіонів у воді або прийнятими ПЗ.

Типові характеристики вмісту основних макроіонів у воді алювіального горизонту, а також формули ічного складу вод наведені у табл. 2 і 3.

Результати дослідження та їх обговорення. У відповідності до розглянутого вище методу першим етапом оцінки було – визначити певні фонові умови формування хімічного складу підземних вод на промисловому майданчику, із якими можна було б порівнювати основні характеристики і тенденції формування хімічного складу вод у межах впливу залишків уранового виробництва у хвостосховищах, які розглядаються у якості основного джерела формування забруднення підземних вод.

У якості таких даних використано результати спостережень у свердловині 1-3П для алювіального водоносного горизонту підземних вод за межами впливу вод техногенного забруднення у тілі хвостосховищ, яка розташована вище по лінії току підземних вод за межами розташування хвостосховища «Західне» (табл. 2).

У табл. 2 наведено результати вибірки мінімальних (10% квантиль) і високих (90% квантиль) значень даних спостережень хімічного складу вод за межами впливу хвостосховища «Західне» (свердловина 1-3П). За результатами статистичної обробки багаторічних даних спостережень, значення мінімальних концентрацій макроіонів (10% квантиль) було обрано у якості фонового рівня для даного майданчика (обумовленого дією, головним чином, природних факторів). Верхня межа даних цієї вибірки (90% квантиль) дає уявлення про варіації забруднення вод обумовленого впливом інших факторів (зокрема, промислового майданчика і діяльності промислових підприємств). Так, значно вищі за фоновий рівень вміст нітратів NO_3^- може бути результатом випадків забруднення прилеглої до спостережницької свердловини 1-3П відстійників колишнього підприємства АМОФОС, що займалося виробництвом нітратних добрив [1].

Таблиця 2. Оцінка типового вмісту головних іонів у воді алювіального водоносного горизонту за межами впливу хвостосховищ, зонах ореолу розповсюдження забруднених вод і порогових значень (ПЗ), мг/дм³

Свердловина (квантиль вибірки)	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Σ
Підземні води за межами впливу хвостосховища «Західне»									
1-3П (10% кв)	450	198	43	31	37	87	135	0,2	980
1-3П (90% кв)	680	330	120	975	200	150	270	1,5	2740
Підземні води зони впливу хвостосховищ «Західне» і «Центральний яр» (90% кв)									
2-3П (3Х)	700	1650	51765	80	25	225	34025	200	88670
3-3П (3Х)	3175	1721	780	6160	742	486	3040	25	16125
6495 (ЦЯ)	680	2260	330	41	225	470	320	185	4510
Порогові значення (ПЗ) вмісту макроіонів для промислового майданчика ВО «ПХЗ»									
ПЗ	680*	500	350	50	130	80	200	20**	1500

Примітки: * - верхня межа (90% квантиль) вмісту карбонат іонів у воді зони промислового впливу за межами хвостосховища «Західне», ** - рівень допустимого скиду промислових вод

Згідно з Керівництвом [15], у якості фонових рівнів також розглядалися дані зі свердловин 110 і 36D, які значно віддалені від місця розташування основних хвостосховищ виробничого майданчика, а також хвостосховища «Дніпровське». Але у водах цих свердловин були визначено значно вищі за фонові рівні вмісту сульфат-іонів (1100-1500 мг/дм³) і кальцію, концентрація якого майже втричі перевищувала фоновий вміст кальцій-іону у воді промислового майданчика. Такі високі концентрації цих показників хімічного складу підземних вод верхнього водоносного горизонту, вірогідно, є результатом впливу фосфогіпсового покриття на поверхні хвостосховища «Дніпровське» [18]. Складовою мінерального складу фосфогіпсу якого є сульфат кальцію, який протягом десятиліть під впливом водної і вітрової ерозії поширювався на прилеглі території і також у вигляді продуктів вилугування у підземні води місця розташування хвостосховища. Про це свідчить і підвищений, порівняно із іншими пунктами спостережень, вміст сульфатів і кальцію у підземних водах в усіх свердловинах зони спостережень навколо хвостосховища «Дніпровське» [7]. Тому результати спостережень за хімічним складом вод свердловин 110 і 36D не враховували на етапі оцінки фонових показників забруднення території промислової зони, зокрема для техногенно-підвищених концентрацій вмісту сульфатів і кальцію.

У табл. 2 також наведено обрані порогові значення (згідно з Керівництвом [15]) вмісту макроіонів води на промисловому майданчику, які дозволили виконати порівняльну оцінку якості вод за показниками індексів забруднення вод (ІЗ і ПКІЗ). Для визначення порогових показників забруднення використано показники ГДК для основних 6-ти показників макроіонів у відповідності із [19]. Для зон промислового впливу у даній роботі у якості показника ПЗ для вмісту карбонатів у воді прийнято 680 мг/дм³, що є верхнім рівнем (90% квантиль) промислового фону на майданчику у свердловині 1-3П, а для вмісту іону амонію на рівні дозволених скидів промислових підприємств у довкілля (20 мг/дм³). Такий підхід дозволив охарактеризувати відносний вплив надходження фільтраційних вод із хвостосховищ і виконати оцінку їх якості за всіма основними компонентами хімічного складу.

Результати хімічного складу підземних вод техногенного горизонту (порові води) і води алювіального водоносного горизонту під хвостосховищами, представлені у Таблиці 3, свідчать про те, що такі високомінералізовані води можуть мати різний склад домінуючих іонів сольового складу. Дані у табл. 3 свідчать про те, що накопичені у різних хвостосховищах залишки технологічних хімічних розчинів, які містилися у хвостах уранового виробництва, відповідно до певної технології гідрометалургійної переробки, у різні проміжки часу їх заповнення, мають різний хімічний склад. Так у сольовому складі вод техногенного горизонту хвостосховища «Західне» (свердловина 2-3П) домінують іони хлориду та натрію. У свердловині алювіального горизонту під хвостосховищем (3-3П)

домінують нітрат-, сульфат- і гідрокарбонат-іони, а у катіонному складі вод іони натрію. У техногенному горизонті підземних вод хвостосховища «Центральний яр» домінують сульфат-іони та іони магнію. Такі відмінності складу хвостосховищ впливають на хімічний склад підземних вод (у різних пропорціях) у зоні їх впливу на різній відстані по лінії току.

Таблиця 3. Оцінка формул хімічного складу вод, а також індексів їх забруднення для фонового рівня і для зони ореолу розповсюдження фронту забруднення, що сформувалися у тілі хвостосховищ залишків переробки уранових руд

№ сверд	Хімічний склад		Оцінка забруднення	
	МФА	ФК	ІЗ, n=8	ПКІЗ, n=8
Природний і промисловий фон хімічного складу вод за межами впливу хвостосховища				
1-ЗП (10% кв.)	$C_{II6-1,0}^{Mg,Na}$	M1,0 $\frac{HCO_3^- 56 SO_4^{2-} 30 Cl^- 9 NO_3^- 4}{Mg^{2+} 48 Na^+ 36 Ca^{2+} 16 HN^{4+} 0,1}$	0,6	1,6
1-ЗП (90% кв.)	$C_{II6-2,3}^{Mg,Ca,Na}$	M2,3 $\frac{HCO_3^- 41 SO_4^{2-} 20 Cl^- 7 NO_3^- 32}{Mg^{2+} 39 Ca^{2+} 34 Na^+ 28 HN^{4+} 0,1}$	2,4	3,2
Хімічний склад і показники індексів забруднення вод у зоні впливу хвостосховищ (90% кв)				
2-ЗП	$C_{IIIa-88,7}^{Na}$	M88,7 $\frac{Cl^- 96 SO_4^{2-} 2 HCO_3^- 1 NO_3^- 1}{Na^+ 98 Mg^{2+} 1 Ca^{2+} 0,1 HN^{4+} 1}$	36,4	8,9
3-ЗП	$C_{II6-16,1}^{Na}$	M15,3 $\frac{HCO_3^- 25 Cl^- 1 SO_4^{2-} 17 NO_3^- 47}{Na^+ 62 Mg^{2+} 19 Ca^{2+} 17 HN^{4+} 1}$	20,5	8,6
6594 (ЦЯ)	$S_{II6-4,5}^{Mg}$	M3,9 $\frac{SO_4^{2-} 69 HCO_3^- 16 Cl^- 14 NO_3^- 1}{Mg^{2+} 52 Na^+ 19 Ca^{2+} 15 HN^{4+} 14}$	3,3	3,9

Примітки: МФА - модернізована формула Альокіна, ФК - формула Курлова, ІЗ – індекс забруднення, ПКІЗ – питомий комбінаторний індекс забруднення, n – кількість показників

Діапазон варіації можливих концентрацій макроіонів у хімічному складі вод по відношенню до порогових значень (ПЗ) у вигляді показників індексів забруднення у Таблиці 3 також свідчать, що у зонах фонового і промислового навантаження за межами виносу хвостосховищ показники індексу забруднення вод знаходяться на рівні фонових або вище (до 2,6 разів), тоді як у мінералізованих водах основного ореолу виносу вод із хвостосховищ оцінено перевищення до 20-40 разів, а за показниками питомих комбінаторних індексів забруднення води можна віднести до рівня «екстремально-забруднених».

Комплексні оцінки перевищення домінуючих іонів у воді над фоновими, що характеризують вплив та поширення ореолу забруднення, показані із застосуванням модернізованої формули Курлова, а трансформація хімічного складу вод - із застосуванням модернізованої формули Альокіна (Таблиця 4 і 5). В цих же таблицях наведено розраховані індекси і класи забруднення вод і відносні коефіцієнти галінності, що свідчать про загальні тенденції зміни мінералізації вод.

У якості супутнього параметру, що визначає поширення ореолу забруднення від хвостосховищ залишків уранового виробництва, у цьому дослідженні обрано рівень сумарної активності ізотопів урану ($^{238+234}U$), що також наводиться у таблицях 4 і 5. Вміст ізотопів урану у воді верхнього алювіального горизонту вище за потоком підземних вод зони впливу хвостосховищ «Західне» і «Центральний Яр» визначається у діапазоні 0,4-0,8 Бк/дм³, який можна вважати фоновим для промислового майданчика колишнього ВО «ПХЗ».

Хвостосховище «Західне» і зона впливу. Результати спостережень показали, що в тілі хвостосховища максимальну активність ізотопів урану визначено на рівні 1290 Бк/дм³ (у 2005-2009 рр. свердловина 2-ЗП). (табл. 4)

У ореолі розповсюдження від тіла хвостосховища, що сформувався за період майже 70 років від початку заповнення хвостосховища (1951-1954 рр.), води із максимальними рівнями забруднення ізотопами урану в період з 2005 р. по 2009 р. поступово рухаються у зону розвантаження і за останні 15 років перемістилися на відстань до 60 м (свердловина 3-ЗП) із поступовим зростанням активності урану у даній свердловині з 750 Бк/дм³ до 1070

Бк/дм³. На відстані 240 м – до 70-80 Бк/дм³ (2015-2021 рр., свердловина 105). На відстані 520 м і далі від хвостосховища вміст урану у воді верхнього алювіального горизонту змінювався від фонових рівнів (на рівні біля 0,40 Бк/дм³) у 2005-2009 рр. до 1,7 Бк/дм³ у 2021 р. Такі дані свідчать, що ореол високозабруднених вод ураном поки що не досягає зони розвантаження за показниками вмісту урану, а підвищені рівні урану над фоновими у межах заплави р. Коноплянка можуть бути результатом розташування тут досі не виявлених додаткових джерел забруднення вод ураном і сульфатами. Про можливість існування у заплаві р. Коноплянка додаткових джерел надходження урану і сульфатів у підземні води наведено у роботі [1], де показано, що до спорудження хвостосховища «Західне» у 1951 р. хвосты виробництва урану у перші роки функціонування «ПХЗ» після 1947 р. скидалились безпосередньо у заплавні озера р. Коноплянка.

Результати представлені табл. 5 показали, що найвищі концентрації урану у підземній воді зони впливу хвостосховищ узгоджуються із просторовим розподілом високих і підвищених рівнів мінералізації вод.

Максимальний рівень мінералізації і хімічного забруднення підземних вод техногенного горизонту у тілі хвостосховища «Західне» (св.2-3П) спостерігалися також у період з 2005 р. по 2009 р. і складали $87,5 \pm 16$ г/дм³ із домінуючим вмістом у сольовому складі хлоридів натрію, який у значних об'ємах використовували на етапах екстракції і очищення уранового концентрату, а потім разом із хвостами уранових руд скидали у хвостосховище. У якості реагенту нейтралізації кислотних розчинів використовували нітрати амонію і содові розчини. Це також пояснює високий вміст нітратів і карбонатів у хвостах спільно із хлоридами і сульфатами. Хлориди у складі підземних вод домінують у водах техногенного горизонту і поступово конкурують із сульфатами по лінії току до р. Коноплянка. Мінералізація вод по мірі їх руху у суттєво зменшується до 10-11 г/дм³ на відстані 60 м і 2,9-4,5 мг/дм³ на відстані 500-820 м від хвостосховища. Зменшення мінералізації більше ніж у 2 рази мало місце у водах техногенного горизонту протягом останніх 10 років, тоді як у свердловинах за межами ореолу вод забруднених ураном, показники мінералізації були відносно стабільні у межах 2,9-5,5 мг/дм³.

У сольовому складі вод забруднених ураном із хвостосховища домінуючими іонами були хлориди і сульфати, тоді як на відстані 520 м від хвостосховища у хімічному складі води домінуючими залишалися сульфати і карбонати. За показниками відносного зростання макроіонів у воді алювіального горизонту зони впливу хвостосховища «Західне», найбільшій нестабільній варіації росту порівняно із фоновими рівнями було визначено для концентрацій сполук нітрогену (іонів амонію і нітрат-іонів) які в процесі трансформації відповідно до відновлювальних окисно-відновних умов могли коливатися від десятків до тисяч разів в одиницях перевищення фонового рівня.

Показники індексів і відповідного класу забруднення вод також зменшувалися від зони високої мінералізації із екстремально високим рівнем забруднення до класу «дуже забруднені» у відповідності із шкалою у табл.1.

Результати наведеного аналізу даних спостережень за характеристиками хімічного складу вод свідчать, що на всій лінії току від хвостосховища до зони розвантаження у р. Коноплянка (більше 840 м) показники перевищення вмісту основних макроіонів перевищують фонові (природні і промислові). Навіть якщо припустити, що у межах заплави р. Коноплянка є невизначені додаткові джерела потенціального забруднення ураном і сульфатами, дані спостережень у свердловині 106 на відстані 520 м зростання сульфатів спостерігалось у 3-5 разів вищим, карбонатів у 2-9 разів і нітроген-іонів до 18 разів. Такі результати дозволяють вважати, що вплив виносу високомінералізованих вод із хвостосховища «Західне» за роки від початку експлуатації хвостосховища на початку 50х років минулого століття, вже досягає р. Коноплянка, принаймні за показниками суттєвого підвищеного вмісту у воді таких макроіонів як сульфати, карбонати і нітрогени над їх фоновим вмістом на промисловому майданчику.

Зменшення мінералізації з часом обумовлено зменшенням присутності сполук нітрогену (іонів амонію і нітрат-іонів). Слід відмітити, що нітратні форми знаходження нітрогену притаманні для ближньої зони хвостосховища «Західне», а амонійні – для хвостосховища «Центральний Яр», що зумовлено поширенням тут відновлювальних окисно-відновних умов.

Таблиця 4. Порівняльні характеристики змін хімічного складу підземних вод та коефіцієнтів забруднення, індексу якості води за концентрацією макроіонів у групі свердловин хвостосховища «Західне» (2005-2021 рр.)

№ свердл./ відстань від хв-ща	Порівняльні характеристики хімічного складу вод									
	2005-2009 рр.				2010-2014 рр.				2015-2021 рр.	
	МКА	IЗ	ПКІЗн	КлЗ	U ²³⁸⁺²³⁴ Бк/дм ³	МКА	IЗ	ПКІЗн	КлЗ	U ²³⁸⁺²³⁴ Бк/дм ³
2_ЗП, тх 0 м	Cl ^{Na} _{IІІa_87,5}	40,6	8,9	V	1290	Cl ^{Na} _{IІІa_68,5}	32,2	8,9	V	265
	Cl ^{Na} _{IІІa_39,9}									
	К _G 1,0	Cl ^{Na} _{IІІa_87,5}	40,6	8,9	V	1290	Cl ^{Na} _{IІІa_68,5}	32,2	8,9	V
	К _G 1,0	Cl ^{Na} _{IІІa_39,9}								
3_ЗП, ап. 60 м	Cl ^{Na} _{IІІa_11,0}	14,4	7,5	V	750	Cl ^{Na} _{IІІa_14,7}	18,9	8,1	V	860
	К _G 1,0	Cl ^{Na} _{IІІa_11,0}	14,4	7,5	V	750	Cl ^{Na} _{IІІa_14,7}	18,9	8,1	V
	К _G 1,0	Cl ^{Na} _{IІІa_39,9}								
105, ап 240 м	Cl ^{Na} _{IІІa_11,0}	14,4	7,5	V	750	Cl ^{Na} _{IІІa_14,7}	18,9	8,1	V	860
	К _G 1,0	Cl ^{Na} _{IІІa_11,0}	14,4	7,5	V	750	Cl ^{Na} _{IІІa_14,7}	18,9	8,1	V
	К _G 1,0	Cl ^{Na} _{IІІa_39,9}								
106, ап. 520 м	Cl ^{Na} _{IІІa_2,9}	2,3	4,0	III6	0,39	Cl ^{Na} _{IІІa_2,7}	2,2	3,8n	III6	1,42
	К _G 1,0	Cl ^{Na} _{IІІa_2,9}	2,3	4,0	III6	0,39	Cl ^{Na} _{IІІa_2,7}	2,2	3,8n	III6
	К _G 1,0	Cl ^{Na} _{IІІa_39,9}								
30Д, ап. 840 м	Cl ^{Na} _{IІІa_4,5}	5,4	7,1	V	7,15	Cl ^{Na} _{IІІa_4,3}	5,0	6,9	V	12,7
	К _G 1,0	Cl ^{Na} _{IІІa_4,5}	5,4	7,1	V	7,15	Cl ^{Na} _{IІІa_4,3}	5,0	6,9	V
	К _G 1,0	Cl ^{Na} _{IІІa_39,9}								

isotopes, quality assessment, long-term changes

Таблиця 5. Порівняльні характеристики змін хімічного складу підземних вод та коефіцієнтів забруднення, індексу якості води за концентрацією макроіонів у групі свердловин хвостосховища «Центральний Яр» (2005-2021 рр.)

№ свердл./ відстань від хв-ща	2005-2009 рр.					2010-2014 рр.					2015-2021 рр.				
	МКА	ІЗ	ПКІЗн	КлЗ	U ²³⁸⁺²³⁴ Бк/ДМ ³	МКА	ІЗ	ПКІЗн	КлЗ	U ²³⁸⁺²³⁴ Бк/ДМ ³	МКА	ІЗ	ПКІЗн	КлЗ	U ²³⁸⁺²³⁴ Бк/ДМ ³
1_ЦЯ, ал, 0 м.	$C_{IIB,2.2}^{Ca,Na}$	3,2	4,3	V	0,59	$C_{IIB,1.8}^{Ca,Na}$	2,2	3,5	III6	0,49	$C_{IIB,2.6}^{Na,Ca}$	2,2	3,1	III6	0,39
	$K_{G1,0}$ Cl3,0 HCO ₃ 1,7 SO ₄ 1,5 NO ₃ 20 Ca6,0 Na1,4 Mg0,8 NH ₄ 878					$K_{G0,8}$ Cl4,7 HCO ₃ 1,5 SO ₄ 1,3 NO ₃ 12 Ca6,1 Na1,1 Mg1,0 NH ₄ 536					$K_{G1,2}$ Cl14,6 SO ₄ 2,3 HCO ₃ 1,9 NO ₃ 6 Ca8,7 Na2,8 Mg1,2 NH ₄ 593				
6593A, ал, 35 м	$C_{IIB,1.9}^{Mg}$	1,8	3,6	III6	29,0	$S_{IIB,3.0}^{Mg}$	2,8	4,4	V	20,1					
	$K_{G1,0}$ SO ₄ 2,2 HCO ₃ 1,8 Cl1,8 NO ₃ 12 Ca4,0 Mg3,8 Na0,6 NH ₄ 82,5					$K_{G1,6}$ SO ₄ 7,9 Cl7,1 HCO ₃ 1,4 NO ₃ 0,1 Mg5,4 Ca2,4 Na0,8 NH ₄ 125									
6594, ал, 215 м	$S_{IIB,3.7}^{Mg}$	2,6	4,9	IVa	12,0	$S_{IIB,2.6}^{Mg}$	1,6	4,4	IVa	4,95	$S_{IIB,2.8}^{Mg,Na}$	1,7	3,4	III6	2,04
	$K_{G1,0}$ SO ₄ 10,7 Cl5,7 HCO ₃ 1,5 NO ₃ 1,7 Mg7,1 Ca5,2 Na1,7 NH ₄ 679					0,7 SO ₄ 6,4 Cl2,8 HCO ₃ 1,9 NO ₃ 0,3 Mg4,9 Ca2,1 Na1,7 NH ₄ 333					$K_{G0,7}$ Cl8,0 SO ₄ 7,3 HCO ₃ 0,6 NO ₃ 0,2 Ca9,1 Mg2,3 Na1,9 NH ₄ 480				
108, ал, 365 м	$S_{IIB,3.0}^{Ca,Mg}$	5,5	5,3	V	2,15	$S_{IIB,4.3}^{Mg,Ca}$	8,2	5,5	V	10,5	$S_{IIB,1.6}^{Ca,Mg}$	1,7	4,1	IVa	5,75
	$K_{G1,0}$ Cl1,3 SO ₄ 1,0 HCO ₃ 0,5 NO ₃ 58 Ca13,2 Mg2,4 Na0,9 NH ₄ 375					$K_{G1,4}$ SO ₄ 3,0 Cl1,8 HCO ₃ 0,6 NO ₃ 82 Ca12,7 Mg5,0 Na1,5 NH ₄ 723					$K_{G1,4}$ Cl3,9 SO ₄ 2,6 HCO ₃ 0,6 NO ₃ 9,7 Ca7,8 Mg1,3 Na1,0 NH ₄ 262				
109, ал, 500 м	$S_{IIB,5.5}^{Ca,Mg}$	10,0	5,3	V	3,08	$S_{IIB,5.0}^{Ca,Mg}$	7,1	5,8	V	4,26	$S_{IIB,3.1}^{Ca,Mg}$	2,4	5,3	IVa	5,62
	$K_{G1,0}$ Cl9,2 SO ₄ 5,6 HCO ₃ 0,7 NO ₃ 103 Ca34,1 Mg7,1 Na1,3 NH ₄ 175					$K_{G0,9}$ Cl6,4 SO ₄ 6,0 HCO ₃ 0,9 NO ₃ 70 Ca24,2 Mg6,5 Na1,1 NH ₄ 69					$K_{G0,6}$ Cl5,7 SO ₄ 6,3 HCO ₃ 1,0 NO ₃ 16 Ca17,3 Mg2,8 Na1,4 NH ₄ 13				
33Д, ал, 1065 м	$S_{IIB,2.9}^{Mg,Ca}$	4,3	5,9	V	0,46	$S_{IIB,2.9}^{Mg,Ca}$	3,8	5,6	V	0,57	$S_{IIB,2.5}^{Ca,Mg}$	1,9	4,3	IVa	0,34
	$K_{G1,0}$ Cl3,6 SO ₄ 2,5 HCO ₃ 1,2 NO ₃ 40 Ca13,6 Mg3,8 Na0,3 NH ₄ 300					$K_{G1,0}$ Cl3,8 SO ₄ 2,3 HCO ₃ 1,0 NO ₃ 34 Ca11,2 Mg2,9 Na0,9 NH ₄ 293					$K_{G0,8}$ Cl5,2 SO ₄ 3,6 HCO ₃ 1,2 NO ₃ 11 Ca11,6 Mg2,5 Na1,0 NH ₄ 99				

Хвостосховище «Центральний Яр». Це хвостосховище було побудовано у 1950 р. шляхом перекриття природного яру дамбою на майданчику колишнього ВО «ПХЗ», куди було організовано скид залишків вилуговування і екстракції урану із доменних шлаків переробки криворізьких руд, які містили до 0,7 % урану. Відносно низький рівень вмісту урану у шлаках залізорудного виробництва порівняно із урановими рудами (до 3-7% вмісту урану), залишки переробки яких накопичувалися у хвостосховищі «Західне», відображено і у нижчих рівнях активності ізотопів урану у воді техногенного горизонту і ореолі забруднених вод від хвостосховища «Центральний Яр».

Нажаль всі спостережницькі свердловини у техногенному горизонті хвостосховища «Центральний Яр» протягом період з 2005 по 2021 р. виявилися сухими або з низькою водовіддачею. Свердловина 1-ЦЯ розташована на межі впливу верхньої частини хвостосховища і відображає практично фоновим умовам забруднення за вмістом ізотопів урану, але за хімічним складом спостерігається вплив інших, ніж хвостосховище, джерел забруднення. Свердловина №6593, розташована в алювіальному горизонті під тілом хвостосховища на відстані приблизно 35 м від його центральної частини, але протягом періоду спостережень 2015-2021 рр. вона виявилася сухою у сезон відбору (інші дані відсутні). Тому ми не маємо достовірних даних про сучасний вміст ізотопів урану і характеристики хімічного забруднення вод техногенного горизонту у тілі хвостосховища «Центральний Яр». Тому можемо лише припускати, що з моменту останнього відбору проб у 2015 р. хімічний склад води у районі розташування даної свердловини і вміст ізотопів урану суттєво не змінилися. Якщо прийняти таке припущення можна зробити наступні оцінки щодо виносу урану із хвостосховища і трансформації хімічного складу вод на шляху їх переміщення у напрямку розвантаження у р. Коноплянка.

Враховуючи недоліки мережі спостережень і недостатню кількість даних спостережень, можна припустити, що за більше ніж 70 років існування хвостосховища «Центральний Яр», ореол вод із відносно високим вмістом урану (10 Бк/дм^3 і вище) перемістився із зони хвостосховища на відстань до 300 м. Вміст урану у водах алювіального водоносного горизонту зменшувався протягом періоду з 2005 по 2014 р. по лінії току від тіла хвостосховища з показниками $30\text{-}20 \text{ Бк/дм}^3$ до рівнів, які є близькими до умовно фонового забруднення вод промислового майданчика $0,3\text{-}0,5 \text{ Бк/дм}^3$ на відстані більше 500 м від хвостосховища. Дещо підвищені рівні вмісту ізотопів урану у водах алювіального горизонту у різні роки спостережень до $2\text{-}5 \text{ Бк/дм}^3$ є результатом впливу інших можливих джерел [7] надходження урану і сульфатів у межах нижньої надзаплавної тераси р. Коноплянка (такі ж ефекти виявлено і для зони впливу хвостосховища «Західне» і описано вище).

Характерною особливістю підземних вод техногенного горизонту і найближчого ореолу алювіальних вод хвостосховища «Центральний Яр» є підвищені рівні їх кислотності ($\text{pH}=3\text{-}5$) [8] на відміну від інших хвостосховищ, де кислотність вод має показники $\text{pH}=6\text{-}8$. Одним із пояснень такої різниці у геохімічних умовах, які також впливають на формування хімічного складу вод можуть бути обставини застосування різних технологій вилуговування і нейтралізації шлаків залишків екстракції урану із збагачених уранових руд і шлаків уран містких залізних руд.

У водах зони впливу хвостосховища «Центральний Яр» на відміну від хвостосховища «Західне» спостерігаються досить рівномірний розподіл по всій довжині лінії току і у часі показників мінералізації вод у межах від 2,2 до $5,5 \text{ мг/дм}^3$.

Відносно однорідним є і хімічний склад вод із домінуванням у складі катіонів іонів магнію і кальцію, а в аніонному складі сульфат- і хлорид-іонів.

За показниками якості вод у всіх свердловинах від тих, що розташовані у тілі хвостосховища до зони розвантаження, води можна віднести до V і IV класу забруднення (екстремально забруднених і дуже забруднених) з тенденцією до зменшення класу забруднення у період 2016-2021рр..

Висновки. В даному дослідженні для оцінки багаторічних просторово-часових змін хімічного складу підземних вод у зоні впливу колишнього уран-переробного підприємства ВО «ПХЗ» були використані методи оцінювання показників забруднення на основі застосування комбінаторних індексів забруднення. Використання модернізованих методів з оцінювання індексів забруднення вод по відношенню до певного рівня фонових або

порогових значень безпечного використання підземних вод дозволило пропонувати методичний підхід для оцінки якості підземних вод на майданчиках спадщини уранових виробництва для умов потенційного звільнення їх від регулюючого контролю.

Аналіз вмісту сульфат-, хлорид-іонів і сполук нітрогену техногенного походження у хімічному складі вод алювіального водоносного горизонту території досліджень дозволив зробити припущення щодо швидкості переміщення ореолу розповсюдження значно мінералізованих і забруднених ізотопами урану вод та виявити зони з присутністю потенціальних невиявлених джерел забруднення.

Такий комплексний підхід дозволив визначити, що у алювіальному водоносному горизонті в межах майданчику «ПХЗ» у зоні впливу хвостосховищ за останні 70 років з часу їх заповнення залишками переробки уранових руд ореол забруднених вод ізотопами урану змістився від хвостосховищ на відстань біля 300 м. Натомість за показниками перевищення основних макроіонів (сульфати, хлориди, нітрогени і карбонати) над фоновими рівнями забруднення підземних вод у межах промислового майданчика за межами впливу фільтраційного виносу їх із хвостосховищ «Західне» і «Центральний Яр», можна зробити висновок, що такі води фактично вже досягли зони розвантаження у р. Коноплянка. Отримані дані дозволяють коригувати результати модельних розрахунків, які було виконано раніше, і показали суттєво більш тривалий час досягнення ореолу розповсюдження значно забруднених вод ураном (10 Бк/дм^3 і вище) р. Коноплянка.

Результати оцінок показали, що техногенно забруднених майданчиків уранового виробництва комплексне вирішення проблем їх безпеки має включати не тільки заходи контролю радіаційної безпеки, а і екологічної безпеки, зокрема за показниками хімічного забруднення підземних вод, які навіть після повного очищення території і наземних комплексів колишнього уранового виробництва, протягом дуже тривалого часу (сотні років) будуть залишатися фактором необхідного екологічного контролю, які потребують моніторингу забруднення вод.

Результати оцінки також показали необхідність оптимізації і розширення мережі спостережень за рівнями забруднення підземних вод зони впливу хвостосховищ уранового виробництва на майданчику уранової спадщини ВО «ПХЗ», які для відбору проб на вміст радіонуклідів уранового ряду у воді мають виконуватися принаймні 1 раз на рік, а за показниками хімічного складу вод не менше двох разів на рік (весняно-літній і осінньо-зимовий періоди).

Список літератури

1. *Коровин Ю.Ф.* От Урала до Днепра: художественно-документальные воспоминания. Днепр, «Литограф», 2017. – 309 с.
2. *Процак В.П.* Вивчення фізико-хімічних форм і прогнози трансформації радіонуклідів уранового ряду у хвостосховищах: звіт про науково-дослідну роботу. Київ, 2009. 118 с.
3. *Voitsekhovych O., Lavrova T.* Optimizing monitoring of a legacy uranium processing site. // Nuclear Engineering International. T.57. Vol. 657. 2012. P. 20-24.
4. *Лаврова Т.В., Кориченський К.О., Войцехович О.В.* Забруднення ґрунтів і атмосферного повітря на територіях впливу колишнього уранового виробництва ВО «Придніпровський хімічний завод» // Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. 2021. Т. 26. Вип. 2(39). С. 64-77.
5. *Бугай Д.О., Джепо С.П., Скальський О.С. і др.* Гідрогеологічний моніторинг і математичне моделювання радіоактивного забруднення підземних вод у Чорнобильській зоні відчуження і на уранових об'єктах колишнього придніпровського хімічного заводу (м. Кам'янське) // Геол. журн. 2018. 365(4). С. 48-57.
6. *Ткаченко К.Ю., Скальський О.С., Бугай Д.О. та інші.* Моніторинг техногенного забруднення підземних і поверхневих вод в зоні впливу уранових хвостосховищ Придніпровського хімічного заводу (м. Кам'янське) // Геол. журн. 2020. 372 (3). С. 17-35.
7. *Бугай Д.О., Заноз Б.Ю., Лаврова Т.В. та інші.* Розвиток системи моніторингу підземних вод у зоні впливу об'єктів спадщини уранового виробництва Придніпровського хімічного заводу. // Геол. журн. 2021. (4). С. 56-70.
8. *Korychenskyi, K.O., Laptev, G.V., Voitsekhovych, O.V., Lavrova, T.V., Dyvak, T.I.* Speciation and mobility of uranium in tailings materials at the u-production legacy site in Ukraine // Ядерна фізика та енергетика. 2018. Vol.19(3). С. 270-279.
9. *Саприкін В.Ю., Бугай Д.О., Скальський О.С.* Модельні оцінки інфільтраційних потоків крізь ґрунтові екрани хвостосховищ промислових відходів Придніпровського хімічного заводу (м. Кам'янське) // Збірник наукових праць ІГН НАН України. 2019. Т 12. С. 84-94.

10. ДГН 6.6.1.-6.5.001–98. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). К., 2000. 135 с.
11. Skalskyi O., Bugai D., Voitsekhovitch O. et al. Groundwater monitoring data and screening radionuclide transport modeling analyses for the uranium mill tailings at the Pridneprovsky Chemical Plant Site (Dneprodzerzhinsk, Ukraine). The New Uranium Mining Boom: Challenge and lessons learned. Berlin: Springer. 2011. P. 219–228.
12. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод. К.: Наукова думка, 2007. 456 с.
13. Хильчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії : підручник. К. : Ніка-Центр, 2012. – 312 с.
14. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. К.:Ніка-Центр, 2001. 264 с.
15. Керівництво № 18. Керівництво про оцінку стану підземних вод та оцінку трендів. Люксембург, 2009. 87 с.
16. Хильчевский, В.К., Курило, С.М. Исследование трансформации химического состава поверхностных вод с использованием модернизированной классификации Алекина. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2020. Т. 56. С. 6-14.
17. Курило С.М. Основні тенденції багаторічних змін мінералізації води та вмісту головних іонів у річках України. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Т. 41, 2016. С. 85-90.
18. Кориченський К.О., Лаврова Т.В., Войцехович О.В. Екологічні і економічні аспекти безпечного утримання фосфогіпсу на майданчику колишнього уранового виробництва «Придніпровський хімічний завод» // Людина та довкілля. Проблеми неоекології . 2021. № 36. С. 96-110.
19. Державні санітарні норми і правила. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10. К.: МОЗ України, 2013. 24 с.

References

1. Korovin Yu.F. Ot Urala do Dnepra [From the Urals to the Dnieper]: khudozhestvenno-dokumentalnye vospominaniya. Dnepr, «Litograf», 2017. – 309 s.
2. Protsak V.P. Vyvchennia fizyko-khimichnykh form i prohnozy transformatsii radionuklidiv uranotoriivoho riadu u khvostoskhovyshchakh [Study of physicochemical forms and predictions of transformation of the uranium-thorium series radionuclides in tailings]: zvit pro naukovu-doslidnu robotu. Kyiv, 2009. 118 s.
3. Voitsekhovych O., Lavrova T. Optimizing monitoring of a legacy uranium processing site. // Nuclear Engineering International. T.57. Vol. 657. 2012. P. 20-24.
4. Lavrova T.V., Korychenskyi K.O., Voitsekhovych O.V. Zabrudnennia hruntiv i atmosferного povitria na terytoriiakh vplyvu kolyshnoho uranovoho vyrobnytstva VO «Prydniprovskiy khimichnyi zavod» [Soil and atmospheric aerosol contamination at the territories of influence of former uranium production facilities “pridniprovsky chemical plant”] // Visnyk ONU. Ser.: Heohrafichni ta heolohichni nauky. 2021. T. 26. Vyp. 2(39). S. 64-77.
5. Bugai D.O., Dzhepo S.P., Skalskyi A.S. y dr. Hidroheolohichni monitorynh i matematychno modeliuвання radioaktyvnoho zabrudnennia pidzemnykh vod u Chornobylskii zoni vidchuzhennia i na uranovykh ob'ektakh kolyshnoho prydniprovskoho khimichnoho zavodu (m. Kam'ianske) [Groundwater monitoring and mathematical modeling of radioactive contamination of groundwater in chernobyl exclusion zone and for the uranium facilities of the former pridneprovsky chemical plant (Kamyanske)] // Geol. zhurn. 2018. 365(4). S. 48-57.
6. Tkachenko K.Yu., Skalskyi O.S., Buhai D.O. ta insh. Monitorynh tekhnogennoho zabrudnennia pidzemnykh i poverkhnevnykh vod v zoni vplyvu uranovykh khvostoskhovyshch Prydniprovskoho khimichnoho zavodu (m. Kam'ianske) [Monitoring of technogenic contamination of groundwater and surface water in the zone of influence of uranium tailings of the Pridneprovsky Chemical Plant (Kamyanske)] // Heol. zhurn. 2020. 372 (3). S. 17-35.
7. Bugai D.O., Zanoz B.Yu., Lavrova T.V. ta insh. Rozvytok systemy monitorynhu pidzemnykh vod u zoni vplyvu ob'ektiv spadshchyny uranovoho vyrobnytstva Prydniprovskoho khimichnoho zavodu [Development of the groundwater monitoring system In the zone of influence of uranium production legacy facilities of the Prydniprovsky chemical plant] // Heol. zhurn . 2021. (4). S. 56-70.
8. Korychenskyi, K.O., Laptev, G.V., Voitsekhovych, O.V., Lavrova, T.V., Dyvak, T.I. Speciation and mobility of uranium in tailings materials at the u-production legacy site in Ukraine // Yaderna fizyka ta enerhetyka. 2018. Vol.19(3). S. 270-279.
9. Saprykin V.Yu., Bugai D.O., Skalskyi O.S. Modelni otsinky infiltratsiinykh potokiv kriz gruntovi ekrany khvostoskhovyshch promyslovykh vidkhodiv Prydniprovskoho khimichnoho zavodu (m. Kam'ianske) [Model estimation of moisture infiltration rates through engineered soil covers of the uranium mill tailings at the pridneprovsky chemical plant (Kamianske)] // Zbirnyk naukovykh prats IHN NAN Ukrainy. 2019. T 12. S. 84-94.
10. DHN 6.6.1.-6.5.001–98. Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97) [Radiation safety standards]. K., 2000. 135 s.

11. Skalskyi O., Bugai D., Voitsekhovitch O. et al. Groundwater monitoring data and screening radionuclide transport modeling analyses for the uranium mill tailings at the Pridneprovsky Chemical Plant Site (Dneprodzerginsk, Ukraine). The New Uranium Mining Boom: Challenge and lessons learned. Berlin: Springer. 2011. P. 219–228.
12. Nabyvanets B.Y., Osadchyi V.I., Osadcha N.M., Nabyvanets Yu.B. Analitichna khimiia poverkhnevyykh vod [Analytical chemistry of surface waters] K.: Naukova dumka, 2007. 456 s.
13. Khilchevskiy V.K., Osadchyi V.I., Kurylo S.M. Osnovy hidrokhemii [Basics of hydrochemistry] : pidruchnyk. K. : Nika-Tsentr, 2012. – 312 s.
14. Snizhko S.I. Otsinka ta prohnozuvannya yakosti pryrodnykh vod [Evaluation and forecasting of the natural waters quality]. K.:Nika-Tsentr, 2001. 264 s.
15. Kerivnytstvo № 18. Kerivnytstvo pro otsinku stanu pidzemnykh vod ta otsinku trendiv [Guidance on Groundwater Status Assessment and Trend Assessment]. Liuksemburh, 2009. 87 s.
16. Khilchevskiy, V.K., Kurylo, S.M. Issledovanie transformatsii khimicheskogo sostava poverkhnostnykh vod s ispolzovaniem modernizirovannoy klassifikatsii Alekina. Gidrologiya, gidrokhemiya i gidroekologiya. 2020. T. 56. S. 6-14.
17. Kurylo S.M. Osnovni tendentsii bahatorichnykh zmin mineralizatsii vody ta vmistu holovnykh ioniv u richkakh Ukrainy [Main trends of the hydrochemical regime of river waters of Ukraine]. // Hidrologhiia, hidrokhemiiia i hidroekologhiia. T. 41, 2016. S. 85-90.
18. Korychenskyi K.O., Lavrova T.V., Voitsekhovych O.V. Ekologichni i ekonomichni aspekty bezpechnoho utrymannia fosfohipsu na maidanchyku kolyshnoho uranovoho vyrobnytstva «Prydniprovskiy khimichnyi zavod» [Ecological and economic aspects of phosphogypsum safety management at the former uranium production site “Pridniproivsky chemical plant”] // Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekologhiia . 2021. № 36. S. 96-110.
19. Derzhavni sanitarni normy i pravyla. Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannya liudynoiu [State sanitary norms and rules. Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]: DSanPiN 2.2.4-171-10. K.: MOZ Ukrainy, 2013. 24 s.

Assessment of temporal and space-time changes of groundwater chemical composition at the “Pridniproivsky chemical plant” uranium production legacy site

Lavrova T.V., Korychenskyi K.O., Voitsekhovych O.V.

This study provides an analysis of data from long-term (2005-2021) observations of the chemical composition of groundwater in the impact zone of the former uranium ore processing enterprise (Production Union Prydniprovskiy Chemical Plant (PU “PChP”) in the city of Kamianske, in particular, areas of near-surface tailings of uranium ore processed residues (“Zapadnoe”, “Central Yar” and others). All tailings on the site of the former PU “PChP” were built without installation of anti-permeable barriers, and therefore under the influence of atmospheric precipitation, the water, formed in the tailings body, highly contaminated of uranium series radionuclides and residues of chemical reagents, can penetrate to the groundwater aquifers, with which they spread beyond the limits of their technological localization in tailings. In addition, the entire territory of the former industrial site of mining and chemical production “PChP” is a complex of former enterprises, septic tanks, production waste holding sites, warehouses of chemical reagents and residues of former production, which are also sources of man-made pollution of the territory and influence on chronic pollution of groundwater. Therefore, environmental monitoring programs in the impact zone of tailings impoundments included not only monitoring of indicators of the content of uranium series radionuclides in elements of the natural environment, but also studying of the chemical composition of waters. The analysis of observation data during the period from 2005 to 2021 was carried out in order to assess the extent of the spread of polluted waters beyond the limits of the location of the tailings ponds, to identify major macroions in the composition of groundwater as indicators for assessing the spread of the contamination plume beyond the boundaries of the tailings ponds, as well as to identify patterns of formation the groundwater quality within the site under the influence of man-made and natural factors. It is shown that the mineralization of groundwater, as well as its chemical composition, significantly changed as the sampling site moved away from the tailings. Changes in the chemical composition of water and the dominant content of the major macroions at different distances from the tailing’s ponds made it possible to determine the difference in the characteristics of the influence of infiltration waters from the source of the tailing’s ponds and scattered sources of pollution within the boundaries of the PChP site along the groundwater flow line. The main factors of uncertainty in the estimations of the formation of groundwater chemistry in the zone of the industrial complex are shown, which must be taken into account for the development of the network of monitoring observations.

Key words uranium production legacy site, tailings, groundwater, chemical composition, uranium isotopes, quality assessment, long-term changes.

Надійшла до редакції 09.09.2022

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.4.10>

UDC 556.167.6

Babiński Z., Habel M.

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz, Poland

POTENTIAL REASONS FOR THE ECOLOGICAL CATASTROPHE OF THE ODER RIVER IN THE SUMMER OF 2022

*In July and August 2022, the largest ecological disaster in history occurred on the Oder River. The scale of the catastrophe resonated widely in Poland and Europe. Over 700 tons of dead fish have been caught. Several reasons can be considered as the main cause of the disaster, from extremely low flows lasting over 80 days to exceeding the pollutant loads. The biggest surprise was the presence of biological organisms *Prymnesium parvum* in the water, which secrete toxins during their death. In this work, one of the potential causes of the rapid deterioration of water quality is presented. Sedimentological conditions that could potentially occur on the Odra River from June to August 2022 are presented. The main groups of pollutants that may be released from sediments to waters are indicated.*

Keywords: ecological disaster, Odra River, sediment toxicity, hydrological drought..

Introduction. On July 26, 2022, information spread around Poland and its neighbor - Germany that dead fish appeared in the Oder river in Lipki, which, as it turned out later, reached Szczecin after 57 days (Fig. 1). At the very beginning of the catastrophe, an intensive search was undertaken for the "culprit" of this phenomenon, harmful to the environment and the human economy. This was to contribute to explaining the reasons for its creation, and then limiting its effects to full elimination, inclusive. So far, in almost every situation of this kind, sampling and chemical analysis of the Odra waters have been started, with simultaneous tracking of the pace of movement of the front of the dead fish zone (Fig. 1). According to the media reports, just two days after the disaster, the Provincial Inspectorate for Environmental Protection in Wrocław (WIOŚ), based on water samples taken in three places between Lipka and Oława (Fig. 1), assumed that a substance oxidative - which was determined on the basis of the high oxygenation of the Oder River. Two weeks after the appearance of the dead fish in the river (9.08), after the prosecutor was notified by the VIEP, it was reported that "so far no one has been detained, no charges have been filed against anyone". At the same time, in order to obtain information independent of Polish research units, chemical laboratories in Western countries were asked to conduct an impartial analysis of the contaminated waters of the Odra river - without the effect of explaining the cause of the disaster. The final version, which appeared on August 18, and which dominates to this day, is that the indirect cause of poisoning the waters of the river may be an invasive alga from the *Prymnesium parvum* haptophyte group, the so-called "golden algae". Their bloom, according to the Minister of Climate and Environment, may cause the appearance of toxins that kill fish and mussels, but they are not harmful to humans. The case of salty waters may result from their alimentation from reservoirs located above or the waste reservoir of KGHM Głogów - which, however, is not confirmed by Wody Polskie, which believes that these discharges took place in accordance with the applicable water and legal permit. At the same time, politicians on the airwaves emphasized that "natural causes are crucial here." Nevertheless, among specialists, the assurance that nature itself led to the mass extinction of fish in the Oder raises great doubts. At the request of the Government, a preliminary report of the team for the situation on the Oder was prepared in September 2022 (Kolada, 2022). According to the report, the cause of the disaster was most likely an intense bloom of *Prymnesium parvum* in the waters. The prerequisite for the formation of the bloom was the mere appearance of *Prymnesium parvum* in the Oder and the movement of algae from the foci of infection down the Oder River. The reason for the presence of algae can be considered:

(1) discharge of a toxic substance into the river by one of the workplaces, (2) possible natural causes, i.e. low water level combined with high temperature (increased concentration of pollutants already present in the river) and (3) discharge large amounts of industrial water. However, the above-mentioned report does not mention sediments, hence this topic will be the subject of our consideration.

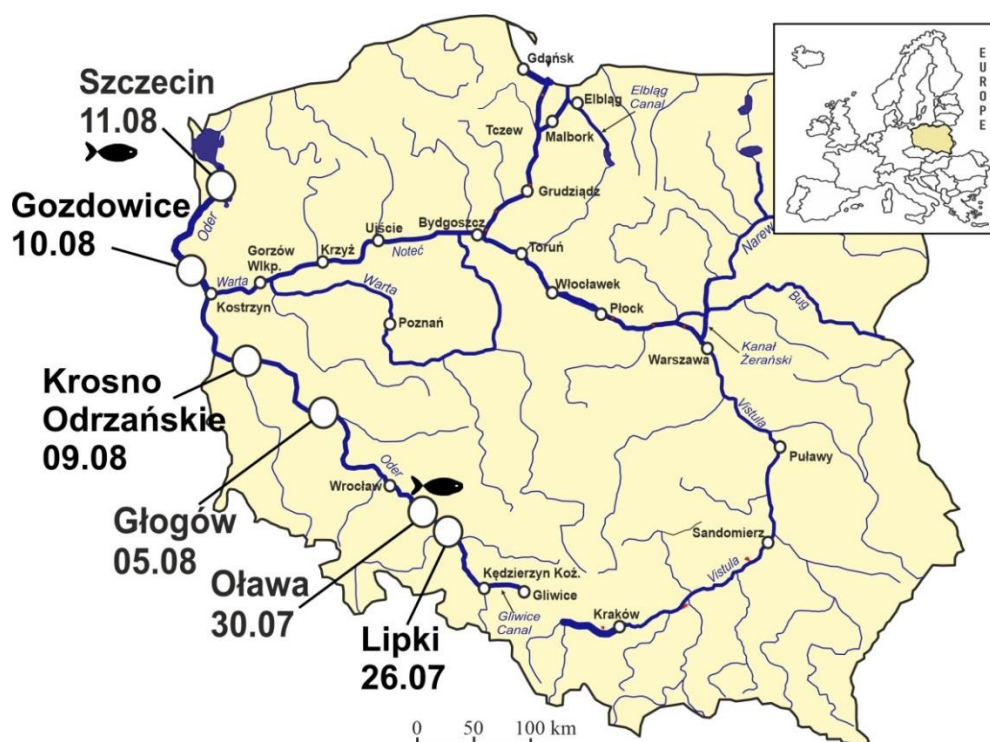


Fig. 1. Map of Poland with selected towns and dates where the appearance of dead fish was found in July and August 2022

Results . The phenomenon accompanying the ecological catastrophe of the Oder River in the summer of 2022 was the appearance of dead fish in its waters. The process of fish death (lethal threshold) is a physiological state in which the fish is still alive, but cannot return to active biological life, despite the removal of harmful physicochemical factors (Kujawa 1986). The death of fish may be caused by: low temperature (long-term icing of the surface of the water reservoir together with snow deposits prevents photosynthesis and oxygen production by aquatic plants - the so-called "winter fog" is created), high water temperature, lack of wind and low water level - then there is little dissolved oxygen and "Summer rush", and water poisoning or lack of oxygen (summer rush). It is usually a mass phenomenon, although in a limited area. The negative effects of oxygen depletion were probably intensified by the action of various toxic substances contained in the suspension accumulated at the bottom (e.g. alarming amounts of arsenic, mercury cadmium, as well as calcium, chlorides, sulphates were detected), because at low flows the concentration of pollutants in water increases (Giziński et al., 1986). However, the situation that took place on the Oder River in 2022 does not result from a shortage of oxygen in the water, but from its excess. The report prepared after the disaster shows that the examined bodies of the dead fish showed no clinical changes. The histopathological picture of all the examined fish showed acute damage to the organs most supplied with blood (Kolada 2022).

Initial investigations into the causes of the disaster do not include the study of bottom sediments of reservoirs on the upper Oder and those in the fields between groynes. The death of fish and fauna, mainly coastal, may be caused by chemical pollution of waters (dissolved sediment) and/or re-suspension of suspended sediment - but not by "clean" dragged sediment. Eliminating, among many factors affecting fish kills, chemical pollution of waters (this fact was not clearly defined in relation to the sediment dissolved in the Oder in the summer of 2022 - apart from the incidental appearance of *Prymnesium parvum*), is the only phenomenon among

fluvial processes that could have caused a catastrophe ecological, is the appearance of excess floating debris in the river. This phenomenon is schematically depicted in Figure 2 - situations a-e. The condition for inclusion of the suspension (A) deposited for many years at the bottom of the channel is its re-suspension caused by (B) lowering of the water table in the river to the level allowing it to emerge (hydrological drought - summer 2022), then drying as a result of evaporation (E) of the layer suspension formations (high air temperature - summer 2022) so that they are formed from a continuous layer (A) (e.g. the current of the San River), fragmented forms in the shape of polygons (B) (San and Biebrza) and with their further disintegration resulting from drying of the ground, intensified by the lowering of the water table, separate forms in the shape of "cup" are formed - very susceptible to fluvial transport (Fig. 2c). These forms, after evaporation of water (E), are loosely located on the alluvium and after condensation of long-term pollutants, they are so light that they deflate even with gusts of wind. In the case of the Odra River, this was not the case, because these forms were lifted by a water wave from torrential rainfall at the end of July in the Czech Republic and Southern Poland (Polish Waters message), and then incorporated into the channel process (Fig. 2d) and along with the rivers were fully resuspended (Fig. 2e, point 4 for the Rioni River - Georgia).

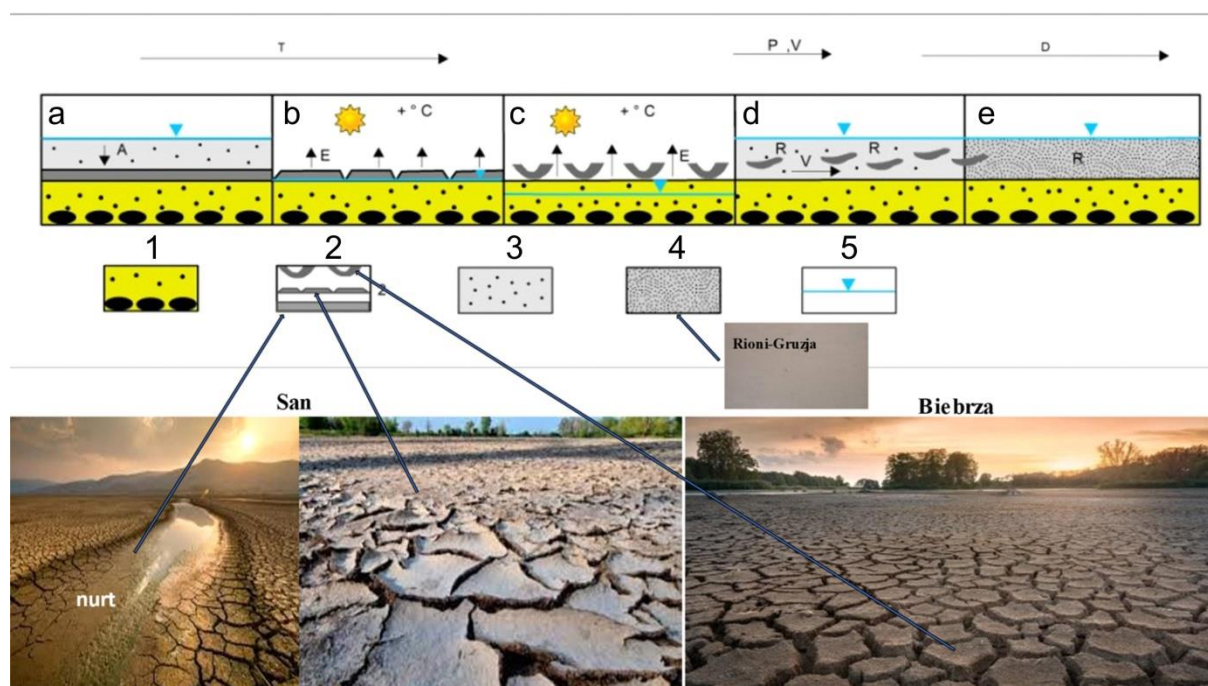


Fig. 2. Development stages of the Odra channel processes (higher out-of-current levels) in the summer of 2022 during: a - water levels preceding the drought / accumulation of fine-grained sediments (A), b - hydrological drought with the water table at the contact of sandy alluvium / drying of sediments and c - below alluvial top/beginning of detachment of sediments from the bottom, d - phase of water level rise, flooding of dried sediments and inclusion of dried polygon-shaped (B) or "cup-shaped" forms (C) into the trough process, e - full resuspension of suspension formations; supplemented with photographs of the bottom of the San and Biebrza riverbed during the drought in the summer of 2022 with forms depicting the drying process of the mud-clay layer in the shape of "bowls". Explanations: 1 – river alluvia, boulders at the bottom; 2 – silt-clay formations (former suspension) in three stages of development during: (C) detachment from the bottom and (D) transport; 3 – suspension transport; 4 - suspension dissolved (in resuspension) - (R) in a catastrophic amount (killing fish); 5 - water level in the river: E - evaporation, T - time, P - precipitation, V - water flow, D - distance.

Discussion. This sudden process in time and on a relatively long section of the river (which is why it is elusive and difficult to determine, which results from the current ignorance about the cause of the disaster), became the reason for the huge saturation of the water with a toxic suspension, which released suffocation and lack of oxygen on an unprecedented scale. In the water, and thus the tragedy of the fish being killed. The process, which was deadly for fish, started in Lipka on the Oder on June 26, along with the runoff of post-rain waters (possibly and reservoir waters) successively flooding these areas of the channel bottom in the form of a wave, moved downstream until reaching the Oder delta zone, i.e. August 11, 2022 in Szczecin (Fig.

1). It should be added that the phenomenon described above may occur in places where silt-clay formations (originally suspended rubble) are emerging and subject to drying, because in the current zone they are compact and resistant to erosion (Fig. 2, San current).

For a full explanation of the process of pollution of the Oder waters in the summer of 2022, presented in Figure 2, it should be stated that both the lack of field documentation of the phenomenon of disintegration of silt-clay formations (there is no information or photographic documentation on this subject - which was done, among others, on the river San, Biebrza - Fig. 2), as well as tests of water for suspension downstream to Szczecin, because almost exclusively the focus was on chemical contamination of water. On the other hand, the situation C presented in Fig. 2 was developed theoretically from field observations, the so-called post-rain requirements, after which the forms in the shape of "cup" remain. Regardless of the lack of documentation of these forms in the Oder, phase B, supported by photographs of the San and the Biebrza (Fig. 2), could result in the resuspension of suspension formations accumulated over many years, but in the case of these rivers this phenomenon has not been found (lack of information), because it should be presumed that they were not completely dried and detached from the alluvial substrate, which would have enabled them to be later included in the fluvial transport. Finally, it should be added that the process of re-suspension of silt-clay formations (killing of fish), which is harmful to the environment, also has its positive effects, because the Odra river bed will be free of polluted sediments for a long time (the scale of the phenomenon is unknown). In order to make this information credible, research should be carried out - to what extent and on what sections of the Oder River is "cleaned" after this ecological disaster. In addition, it should be noted that fish kill occurring in lakes and retention reservoirs has little to do with the process of suspension resuspension, as it occurs almost exclusively in rivers. The chemical composition of bottom sediments accumulated in reservoirs or ponds depends on the properties of pollutants reaching the waters of the reservoir and on environmental factors. Sediment contamination with toxic compounds is a serious problem for aquatic ecosystems. In the case of strongly flowing reservoirs, e.g. during floods, the previously deposited sediments are displaced (Achrem, Gierszewski, 2007). This may cause the release of toxic substances accumulated in them and secondary water pollution. The research shows that it is the suspended rubble that is the "carrier" of the most dangerous pollutants. Many publications draw attention to the negative role played by suspensions and impurities adsorbed on them, mainly heavy metals, in the aquatic environment (Barbusiński et al. 2012). Studies on the content of heavy metals in suspensions in the Oder basin have been described in many studies (Barbusiński et al., 2012; Adamiec, Helios-Rybicka, 2002a, Adamiec, Helios-Rybicka, 2002b; Helios-Rybicka et al., 2005). They showed heavy metal contamination of suspensions in rivers flowing through areas heavily anthropogenically transformed. Heavy metals transported in the aquatic environment are subject to, among others, adsorption processes by clay minerals and organic matter, which means that they can be transported further in the form of a river suspension, and under favorable conditions, subject to sedimentation (Brekhovskikh et al., 2001). Therefore, dam reservoirs are places of particularly intensive accumulation of suspended solids. Hydrological conditions, including, above all, the reduction of the water flow velocity on the section of the river dammed up by the dam, are an important factor influencing the diversification of the concentration of heavy metals in the sediments of the reservoir (Leńczowska-Baranek 1996). A particularly large accumulation of toxic substances, including heavy metals, occurs in the sediments of reservoirs formed on heavily polluted rivers, such as the Oder.

Conclusions.

1. Lack of confirmation of contamination of the Oder waters by dissolved sediment (chemical compounds mainly from denudation, fields and industrial and municipal sewage) in the summer of 2022 indicates that the cause of the ecological disaster (killing of fish) is the excessive supply of suspension from the resuspension of toxic sediments accumulated over many years silt-clay.

2. The process of activating suspension sediments accumulated on the bottom of the channel (outside the current zone) in rivers is possible only when they are dry, i.e. during hydrological drought (water table below the sediments) and high air temperature.

3. The dried sediments are light, detached from the substrate (alluvial), which makes it easier to collect them and move them downstream when water returns (precipitation, water discharge from the reservoir, etc.).

4. Along with the transport of sediment sheets in the form of polygons (ultimately "cups"), they are resuspended, resulting in a strong concentration of suspension in water and chemical pollution, oxygen limitation, which, together with the accompanying suffocation, causes the death of fish.

5. However, such a catastrophic situation in the transport of the Odra debris results in a positive fact - cleaning the bed from toxic sediments accumulated over many years, which may indicate that this process will not be repeated so quickly in time.

6. The environmentally catastrophic situation of the Oder River should not be related to the frequent killing of fish in lakes and artificial water reservoirs - unless such a process takes place with the participation of humans, as was the case on the Włocławski Reservoir in May 1986.

References

1. Achrem E., Gierszewski P., 2007. Zbiornik Włocławski, Inspekcja Ochrony Środowiska, Bydgoszcz, s.146.
2. Adamiec E., 2004. Rola zawiesiny w zanieczyszczeniu metalami śladowymi rzeki Odry. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie., s. 82.
3. Adamiec E., Helios-Rybicka E., 2002a. Distribution of pollutants in the Odra River system. Part IV. Heavy metal distribution in water of the upper and middle Odra River, 1998– 2000. Polish Journal of Environmental Studies 2002, Vol. 11, No. 6, pp. 669–673.
4. Adamiec E., Helios-Rybicka E., 2002b. Distribution of pollutants in the Odra River system. Part V. Metals content in the suspended matter and sediments of the Odra River system and recommendations for river chemical monitoring. Polish Journal of Environmental Studies 2002, Vol. 11, No. 6, pp. 675–688.
5. Babiński Z., 2002. Wpływ zapór na procesy korytowe rzek aluwialnych ze szczególnym uwzględnieniem Zbiornika Włocławskiego, Wyd. Akademii Bydgoskiej im. Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz, 185 s.
6. Barbusiński K., Nocoń W., Nocoń K., Kernert J., 2012. Rola zawiesin w transporcie metali ciężkich w wodach powierzchniowych na przykładzie Kłodnicy, Ochrona Środowiska, Vol. 33, Nr 1, 2011, s. 13-17.
7. Brekhovskikh V.F., Volkova Z.V., Kocharyan A.G. 2001. Heavy Metals in the Ivan'kovo Reservoir Bottom Sediments. Water Resources, 28, 3: 278–287
8. Giziński A. i in., 1986. Raport wstępny z wyników badań przeprowadzonych w celu ustalenia przyczyn masowego śnięcia ryb i innych organizmów w Zbiorniku Włocławskim [Preliminary report on the results of tests carried out to determine the causes of mass deaths of fish and other organisms in the Włocławek Reservoir], Toruń, pp. 1–3
9. Kolada A. (red), 2022. Wstępny raportu zespołu ds. sytuacji na Odrze, Instytut Ochrony Środowiska-Państwowy Instytut Badawczy <https://ios.edu.pl/wp-content/uploads/2022/10/Wstepny-raport-zespołu-ds.-sytuacji-na-rzece-Odrze.pdf>
10. Leńczowska-Baranek J., 1996. The Łączany Weir as a geochemical barrier in the migration of heavy metals. Applied Geochemistry, 11: 223–228
11. Kujawa S. 1986. Tlen w wodzie. Magazyn Akwarium, nr 5, D.Firlej Sp.k..
12. Teisseyre A. K., 1986. Fluvial processes on the wet Miskowice Fan. P. II. Sediment transport, with special reference to the August 1977 flood. Procesy fluwialne na „mokrym” stożku Miskowic. Cz. II. Transport osadu ze szczególnym uwzględnieniem powodzi w sierpniu 1977 roku. Geol. Sudet., 21, 2: 1-45.

Потенційні причини екологічної катастрофи річки Одер влітку 2022 року

Бабіньські З., Хабель М.

У липні та серпні 2022 року на річці Одер сталася найбільша в історії екологічна катастрофа. Масштаби катастрофи викликали широкий резонанс у Польщі та Європі. Виловлено понад 700 тонн мертвої риби. Кілька причин можна вважати основною причиною катастрофи, від надзвичайно низького стоку, що тривав понад 80 днів, до перевищення впливу забруднюючих речовин. Найбільше здивування викликала наявність у воді біологічних організмів *Prymnesium parvum*, які під час загибелі виділяють токсини. У цій роботі показано одну з потенційних причин швидкого погіршення якості води. Засвідчено седиментологічні умови, які потенційно можуть виникнути на річці Одра з червня по серпень 2022 року. Вказано основні групи забруднюючих речовин, які можуть надходити з донних відкладів у воду річки.

Ключові слова: екологічна катастрофа, річка Одра, токсичність наносів, гідрологічна посуха.

Надійшла до редколегії 17.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.4.11>

УДК 551.577.62

Пясецька С.І.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України

НЕСПРИЯТЛИВІ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ ЯВИЩА НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ПРОТЯГОМ 2006-2020 рр.

Стаття присвячена дослідженню погодних умов несприятливих агрометеорологічних явищ (засух) на території України протягом п'ятнадцятиріччя 2006-2020 рр. Мета роботи – встановити особливості температурного та вологісного режиму у місяці теплої періоду року протягом окремих років останнього п'ятнадцятиріччя, зважаючи на засухи, які спостерігались у цьому періоді. Для кожного року та місяця досліджуваного періоду було здійснено аналіз відповідних погодних умов, які супроводжували засухи на території України. Доведено вплив температурних умов та особливостей зволоження на територіальне розповсюдження та тривалість засух. Загалом протягом досліджуваного періоду встановлено, що посушливих явищ не спостерігалось лише у 2012, 2016, 2018 та 2019 рр. Засухи могли розпочинатись у повітрі, або у ґрунті та з часом переростати у повітряно-ґрунтові. У 10 роках досліджуваного періоду спостерігались жорсткі повітряно-ґрунтові засухи на значних територіях. Здебільшого засухи спостерігались з кінця червня до кінця липня, проте в окремих роках засухи могли розпочатись з квітня та спостерігатись з певними перервами до початку (середини) осені. У 2011 р. спостерігався випадок повітряної засухи наприкінці лютого та у березні. Крім того в окремих роках повітряно-ґрунтові засухи могли спостерігатись восени не тільки з її початку, а й до її кінця (листопад 2011, 2015 р.). Здебільшого територіально засухи протягом 2006-2020 рр. спостерігались на сході, південному сході та півдні, проте могли спостерігатись і на більшій частині країни, включаючи частину північних територій. В окремі роки посушливі явища супроводжувались суховіями та пиловими бурями.

Ключові слова: територія України, місяці теплої періоду року, засуха, посушливі явища, температурні умови, характер зволоження.

Вступ, актуальність теми дослідження. Для території України у теплий період року типовим явищем є виникнення несприятливих агрометеорологічних явищ у вигляді засух, суховіїв та пилових бур в орному шарі ґрунту. Такі погодні явища є дуже несприятливими не тільки для сільськогосподарського виробництва, а й водного господарства (різке та тривале зменшення рівня води у річках та гідротехнічних спорудах). Під час виникнення засух порушується вегетаційний цикл вирощування сільськогосподарської продукції. Якщо виникла засуха ранньовесняна, або навіть зимово-ранньовесняна, то це призводить до імовірних значно більш пізніх строків сівби ярих культур внаслідок недостатньої кількості вологи в ґрунті, а також перешкоджання вегетації і розвитку озимини, якій для вегетації вкрай необхідна волога та помірне тепло. В цілому для посівної кампанії використовують декілька строків сівби – рання, у строк та пізня для використання якомога більше сприятливих умов та можливості керувати посівними площами. Особливо це важливо для господарств, які знаходяться на територіях із пересіченою місцевістю, де потрібно певним чином маневрувати задля успішного проведення сільськогосподарських робіт. Проте вимушене використання тільки одного виду з них може погіршити ситуацію з подальшим вирощуванням. Літні засухи, особливо довготривалі, небезпечні з точки зору формування врожаю більшості культур. Особливо це впливає на формування врожаю зернових, коли внаслідок посухи та високого температурного фону виникає так званий запал зерна – тобто формування недостатньо розвинутої зернівки із подальшим її висиханням, а також зрідженням посівів. На вирощування технічних культур (цукровий буряк, сонях, кукурудза) літня засуха впливає також, здебільшого в'яненням посівів та пошкодженням врожаю, який почав формуватись. Це стосується і літньо-осінніх засух, коли вегетація посівів може

завершитись достроково, а також коли створюються несприятливі умови для збору врожаю внаслідок пересушення ґрунту, або здійснення посівної кампанії озимини. Виділяють атмосферу, ґрунтову та повітряно-ґрунтову засуху. Досить часто засушливі явища виникають поступово, розпочинаючись із атмосферної або ґрунтової та поступово переростаючи у повітряно-ґрунтову засуху. Найбільш несприятливим та загрозливим явищем для сільськогосподарського виробництва є саме повітряно ґрунтова засуха, особливо коли вона спостерігається на значних площах та супроводжується суховіями чи пиловими бурами. Треба зазначити, що сучасною ознакою засух останніх років є їх тривалість, імовірність декількох етапів її протягом місяців теплого сезону та імовірність її настання без попереднього наростання явища.

Зважаючи на вищевикладене дослідження засух на території України на сучасному етапі зміни клімату є надзвичайно актуальним для визначення стану погодних умов на території України у теплий період року протягом останніх 15 років та вироблення стратегії сучасної продовольчої безпеки країни.

Матеріали та методи. Для опрацювання було використано матеріали зі стану погодних умов протягом 2006-2020 рр., які розміщено у щорічних «Оглядах погоди та стихійних гідрометеорологічних явищ на території України», в них також висвітлено наявність несприятливих агрометеорологічних явищ на території країни, коли вони мали місце. Матеріали надано Центральною геофізичною обсерваторією імені Бориса Срезневського, м. Київ, відділом Центрального галузевого архіву.

Метою роботи було оцінити стан погодних умов по окремих місяцях теплого періоду року протягом останніх 15 років (2006-2020 рр.) під час виникнення засух на території України та встановити найбільш небезпечні засухи протягом сучасного етапу зміни клімату в Україні. Об'єктом дослідження були погодні умови засух протягом останніх 15 років, а предметом тип та розповсюдження засух на території України у визначений час.

На теперішній час нагальною потребою є дослідження сучасного стану виникнення та розповсюдження засух на території України, зважаючи на поточні зміни клімату.

Огляд стану проблеми. Вивчення погодних умов виникнення засух – температурного фону та умов зволоження завжди були пріоритетними в процесі дослідження механізмів утворення засух. Сучасні дослідження температури повітря та її змін на території Північної півкулі ведеться вже декілька десятиків років дослідниками багатьох держав. Для території України також проводиться такі дослідження низкою вчених-кліматологів. У цьому сенсі, найбільш докладних попередніх робіт, де викладено окремі результати досліджень із цього питання є монографія «Клімат Украины» [9], де комплексно розглянуто усі складові клімату країни, зокрема і просторово-часовий розподіл температури повітря. Доповнена та оновлена інформація щодо сучасного на той час стану кліматичної системи в Україні подано у монографії «Природа Украинской ССР. Клімат» [26]. Проте більш фундаментально питання особливостей та динаміки розподілу температури повітря на території України, як одного з головних елементів клімату є монографія «Температура воздуха на Украине» [1], в якій подано аналіз матеріалів спостережень за температурою повітря з останньої чверті XIX сторіччя до початку 80-х років XX сторіччя. Було встановлено, що найбільші відхилення від норми спостерігаються у зимові місяці. Спираючись на роботи К.Т. Логвинова та М.Б. Барабаш [4, 20, 21] які виконані на емпіричному матеріалі тривалістю 80 років (1900-1980 рр.), встановлено, що найбільші зміни температури повітря виявились південніше 49° пнв. ш., особливо якщо розглядати температуру повітря за рік. Із зменшенням широти потепління клімату послаблюється. Як свідчать результати роботи [20] виконані на основі розробки емпіричної моделі сучасних змін клімату [27], зміни температури повітря треба очікувати у зимовий сезон, за рахунок чого зміниться і річна температура повітря. Згідно до [21] на основі досліджень М.І. Будико [6] та емпіричної моделі К.Я.Віннікова [27] було застосовано автокореляційний аналіз та метод селективних перетворень та виявлено, що існують декілька періодів змін річної температури повітря 9, 13-14, 18, 21, 26-27 років. Результати подальших досліджень, стосовно нових змін у глобальному та регіональному клімату викладено у [4, 15], а також у монографії «Клімат України» [10].

На основі аналізу достовірних емпіричних даних про приземну температуру повітря протягом останніх 150 років та її динаміку по окремих часових інтервалах часу за даними

[14] існує глобальний та спрямований у часі тривалий вплив на кліматичну систему двох чинників – збільшення еманції парникових газів, як свідчить дослідження [7, 8, 19] та зміна вектору кутової швидкості обертання Землі. Для території України запропоновано сценарій зміни клімату для України на тлі загального підвищення температури зроблено В.М. Волощуком [28] В.М. та Волощуком і С.Г. Бойченко [29]. Як свідчать результати дослідження [28, 29] на основі математичного моделювання та матеріалів палеокліматичної реконструкції минулих теплих епох побудовано напівемпіричну модель широтного потепління у Північній півкулі, яка свідчить про більш інтенсивне зростання середньорічної температури відносно глобального потепління. Ефект полярного підсилення глобального потепління виявляється, як прояв загальної тенденції просторово-часового вирівнювання кліматичного поля приземних температур та зменшення її амплітуди при загальному нагріванні Землі. Про це свідчать матеріали наведені у Climate change 2007 [8]. Модельні розрахунки і аналіз кліматичних палеореконструкцій та статистичний аналіз наведений у [5, 27] це підтверджують та мають схожий результат.

Важливим питанням у дослідженні змін у кліматичній системі належить перетворенню атмосферної циркуляції. Це питання висвітлено у низці робіт В.Ф. Мартазинової [22-24]. Було доведено зміни у великомасштабному перетворенні атмосферної циркуляції над Атлантико-Європейським сектором, яка в свою чергу впливає на циркуляцію повітря над Україною, а саме розташуванні центрів дії атмосфери (ЦДА) протягом різних часових інтервалів. Було встановлено, що формування найбільш загрозливих посух у середині ХХ сторіччя визначались Азорським та Арктичним максимумами за умови їх одночасної активності, протягом останніх десятиріч атмосфера циркуляція змінилась у бік зменшення її часової стійкості та різкої трансформації за якої посушливому атмосферному процесу та високими температурами повітря може передувати вологий процес. Серед еталонів баричних полів, які відповідають за утворення посушливих умов виділяються наступні – при різкому вторгненні холодного повітря із півночі (північного заходу, північного сходу) з осередків високого тиску; потрапляння на територію України аномально теплого повітря із заходу, півдня та сходу; вторгнення теплого континентального повітря з Уралу. Проте найбільш небезпечним процесом є південний, який є найбільш руйнівним за своїми наслідками. На тепер зміни клімату є глобальними географічними проблемами, які суттєво впливають на сталий розвиток України та згідно до дослідженням [12, 17, 25, 30] повинні враховуватись для обґрунтування схем районування території України в контексті сталого розвитку.

До останніх публікацій зі змін клімату, і в першу чергу зміни, які відбуваються у просторово-часовому розподілі середньої місячної температури повітря можна віднести дослідження, яке відображає зміни температури повітря на території України наприкінці ХХ та на початку ХХІ сторіччя [3], де для кожного місяця проведено порівняння норми за 45 років (1961-2005) із стандартною кліматологічною нормою 1961-1990 рр. та визначено розташування ізотерм на території України. Встановлено, що у зв'язку із глобальними змінами клімату і в першу чергу потепління, яке тривало протягом 1991-2005 рр. середня місячна температура зазнала найбільш значних змін. Вона стала вищою для більшості місяців за винятком вересня, листопада та грудня. На основі вже отриманих результатів та використовуючи осучаснені дані, зокрема і по температурі повітря, для території України було проведено більш ґрунтовне дослідження стосовно змін поля температури повітря у монографіях «Клімат України» (2003) [10], «Дати переходу температури повітря в Україні за сучасних умов клімату» [11] та «Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень» [2], а також монографію «Глобальные и региональные изменения климата» [16]. Вагомим дослідженням та ґрунтовною базою для наукового супроводження сільськогосподарського виробництва особливо для рослинництва є монографія В.П. Дмитренка «Погода, клімат і урожай польових культур» [13], де узагальнено досвід прогнозування врожаю різних культур в залежності від погодних умов на окремих територіях України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Виклад матеріалу у статті складається з 2-х частин, перша з яких висвітлює стан погодних умов по окремих місяцях

теплого періоду року у досліджувані роки останнього 15-и річчя, коли спостерігались засухи, а друга відповідно безпосередньо засухи, їх тип роки, місяці та місця їх прояву

1. Погодні умови у місяці теплого та перехідних сезонів року протягом 2006-2020 рр. під час засух в Україні

Для дослідження засух необхідним є з'ясування погодних умов (температури, зволоження, виникнення), які передували або супроводжували їх протягом певних місяців. Натепер найбільш важливим є дослідження таких умов протягом останніх 15 років з 2006 по 2020 рр. Для розгляду було залучено інформацію щодо середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів відносно норми у місяці з квітня по жовтень, протягом яких відбувались випадки утворення різного виду засух та явищ, які їх супроводжували (суховії, пилові бурі). Дані щодо цих умов подані у таблиці 1. Треба зазначити, що засуха різного виду (атмосферна, ґрунтова, атмосферно-ґрунтова) на території України протягом останнього п'ятнадцятиріччя спостерігалась дуже часто, у 11-и з 15 досліджуваних років. Зазначимо, що частіше це була найбільш небезпечна атмосферно-ґрунтова засуха, яка є найтяжчою та найнебезпечнішою із засух, що сприяє найбільшим втратам в агропромисловому комплексі. Тільки у 2012, 2016, 2018 та 2019 рр. засуха, як несприятливе агрометеорологічне явище не спостерігалась.

З середини весняного сезону на початку основної посівної кампанії у **квітні** 2006-2020 рр. середня місячна температура повітря досить часто була вище норми переважно на 1-2(3)° С, у окремих роках вона могла бути значно вищою – у 2016 (2-5° С) та 2018 (3-7° С). У 5 роках – 2006, 2007, 2015, 2017, 2020 середня місячна температура повітря була близька до норми, або місцями на території України були її незначні коливання у бік її зростання, або зниження. Для опадів було встановлено, що у певні роки їх кількість достатньо істотно коливалась по території. У 6 роках (2007, 2009, 2010, 2013, 2018, 2019 рр.) опадів було переважно менше норми (подекуди близько норми), у 5 роках (2008, 2012, 2015, 2016, 2017 рр.) більше норми (подекуди значно) і у 4-х роках близько норми (на окремих територіях дещо менше). Зважаючи на це можна сказати, що умови для посіву та початку вегетації були більш - менш задовільні.

У **травні** переважно середня місячна температура повітря була вищою за норму у 7 роках (2007, 2010, 2012, 2013, 2014, 2018, 2019 рр.), причому треба зауважити, що у 2007, 2012 та 2013 рр. перевищення норми становило до 4-5°. Близько норми середня місячна температура повітря була у 6 роках (2006, 2008, 2009, 2016, 2017, 2020 рр.), та у 2-х роках близько норми, але на окремих територіях незначно вище неї (2011, 2015 рр.). Опадів випало у 5 роках (2006, 2010, 2014, 2016, 2019 рр.) більше норми, у 2007 та 2009 рр. більше норми та місцями близько норми, у 5 роках (2011, 2012, 2015, 2018, 2020 рр.) менше норми, у 2013 та 2017 рр. менше норми та місцями близько неї, у 2008 - близько неї. Тобто фактично порівну розподілились кількість років із вологими та посушливими умовами у травні, крім того було декілька років, коли на території України у цій час спостерігалась зміна умов зволоження.

На початку літа у **червні** останнього п'ятнадцятиріччя здебільшого переважали роки, коли середня місячна температура повітря була вищою за норму (2007, 2010, 2011, 2012, 2013, 2016, 2018, 2019, 2020 рр.). В окремі роки, такі як 2007, 2009, 2012, 2013 рр. перевищення норми становило 1-4° С, у 2019 р. середня температура повітря здебільшого була на 3-5° вище норми. Ще у 6 роках (2006, 2008, 2009, 2014, 2015, 2017 рр.) вона здебільшого була близька до норми, а на окремих територіях дещо перевищувала норму на 1-2°. Відносно кількості опадів, треба наголосити на дуже нерівномірний їх розподіл по території. Так, якщо на низці територій спостерігається приблизно половина норми опадів (навіть менше), то на іншій частині опадів може випасти від норми до 2-3 норм. По окремих роках періоду опадів здебільшого (8 років) було недостатньо (2008 - 2010, 2012, 2013, 2015, 2017, 2019 рр.), у 4-х роках опадів було більше норми (2006, 2011, 2016, 2020 рр.), та ще у 2 роках спостерігалась кількість опадів близька до норми на більшій частині території та їх перевищення або зменшення на іншій частині території.

Таблиця 1. Погодні умови протягом квітня – жовтня 2006-2020 рр. на території України

Темпе- ратура/ опад	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
t° ср.	Здебільшого норма	Близько норми	Здебільшого близько норми, схід, Приазов'я, Крим вище на 2°	2006 На заході, півночі, Вінничині, Черкащині на 1-3° вище норми, на решті території близько норми	Здебільшого на 1-3° вище норми, на сході, Криму, Приазов'ї вище на 3,5-5°	Здебільшого вище норми на 1-2°	Здебільшого вище норми на 1-3°
опад	Захід, північ, схід, Приазов'я - норма	Здебільшого 1-3 норми, схід та південний схід менше норми	Опадів 1-2,5 від норми	Здебільшого менше половини норми, захід, північ, схід, Вінничина 1-1,5 норми, Крим – 3 норми	Здебільшого 1-3 норми, на Волині 5 норм, схід та півдні менше норми	Здебільшого 1-1,5 норми, іноді 2-3 норми, на заході, півдні, південному сході менше норми	Здебільшого 1-1,5 норми, Чернігівщина, Сумщина, Крим місцями 2-3 норми, на півночі. На заході та півдні місцями менше норми
t° ср.	В цілому близько норми	Вище норми на 2-4°	Вище норми на 1-4°	2007 Вище норми на 1-3°, на півдні, Кіровоградщині та Вінничині на 4-5°	Вище норми на 2-5°	Здебільшого близько норми, на сході Дніпропетровщині, Херсонщині, Запоріжжі, Криму вище на 1-2°	Здебільшого вище норми на 1-3°, у західній частині країни близько норми
опад	Значно менше норми, Запоріжжя, Донеччина, Крим близько норми	На сході, частково центрі менше половини норми, західі 1,5-2 норми	Здебільшого половина норми та норма, на північному сході, східі Кіровоградщині та Волині 1,3-3 норми	Здебільшого менше половини норми, на заході, півночі та Вінничині 1-1,5 норми, північний захід – 2-3 норми	Здебільшого менше норми, Правобережжя, Дніпропетровщина, Херсонщина 1-1,5 норми, Житомирщина, Київщина, Кіровоградщина 2-3,5 норми	Переважно 1,5-3 норми, Кіровоградщина, Волинь, Рівненщина, Одещина – 40-120%	Переважно менше норми, або близько норми, місцями на Прикарпатті, подекуди на півдні та центрі, півдні Криму 1,5-2,5 норми
t° ср.	Вище норми на 1-3°	Захід та Крим норма, на решті території на 1-2° нижче норми	Здебільшого близько норми, на заході та півдні на 1-2° вище норми	2008 Близько норми, північ, центр, подекуди південь та Приазов'я і Крим на 1-2° вище норми	Вище норми на 2-3,5°	Близько норми	Переважно на 1-3° вище норми
опад	Здебільшого 1-3 норми, на сході та південному сході 3,5-4 норми	Здебільшого 60-130% норми	Здебільшого менше норми, в Карпатському регіоні, півдні та Київщині 1-1,5 норми	На заході та Вінничині 1,5-3,5 норми (подекуди 2-3,5 норми)	Здебільшого нижче норми, на заході 60-150 %	Здебільшого більше норми, на Харківщині, Сумщині, Закарпатті 0,6 до норми	Здебільшого менше норми, на заході та південному сході переважно 1-2 норми

Темпе- ратура/ опад	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
t°ср.	На заході, півночі, Одещині на 1-3° вище норми, південний схід, Крим нижче на 1-2° від норми, на решті території норма	На сході на 1-2° холодніший	На 1-4° вище норми, захід близько до норми	Вище норми на 1-3°	Здебільшого близько норми, норма, на Вінничині, Одещині на 1-2° вище норми, Луганщина на 1-1,5° нижче норми	Вище норми на 1-3°	На заході та півночі здебільшого близько норми, на решті території вище норми на 1-4°
опад	Здебільшого 1-19% від норми, Кіровоградський, Карпатський регіон близько норми	Південь, схід, Дніпропетровщина, Полтавщина 1-2 норми на решті території від 0,5 норми до норми	Здебільшого половина норми, на півдні та сході 6-27%, захід, північ, Вінничина 1-2 норми	Здебільшого близько норми, на півдні та сході 1,5-2 норми	Здебільшого менше половини норми, захід, Крим – норма або дещо більше	Здебільшого менше норми, на півдні 1-2,6 норми	Здебільшого 1-3 норми, на заході іноді до 4 норми, на захід Криму, південь Херсонщини 23-62% норми
t°ср.	Здебільшого вище на 1-2° норма на Кіровоградщині, Донецькій, Луганщині	На 1-3° вище норми	Вище норми на 1-4°	Перевищення норми на 3-5° в окремих місцях Чернігівщина, Сумщина до 6,6°	Вище за норму на 4-7°, на заході вище на 2-4°	На Півобережжі та Криму вище на 1-4°, решта близько норми, Львівщина Закарпаття – 1-1,5° нижче норми або норма	На 1-3° нижче норми, в Криму близько норми
опад	Здебільшого 25-70% норми, центрі та Криму 16-21% норми, на заході 1-1,7 норми	Здебільшого 1-1,5 норми, північний схід 2-2,5 норми, південь Криму, Сумщина 0,5 норми	Здебільшого 7-79% норми, Правобережжя, Херсонщина, Крим помірно волого, на Луганщині опадів не було	Частково центр та захід Харківщини, степ Криму 1,3-2,6 норми. На решті території норма	Здебільшого 10-35% норми, південь 1-9%, на заході норма, подекуди 1,5-2,5 норми	Вище норми, здебільшого 1,1-2,5, Дніпропетровщина, Полтавщина, Кіровоградщина – 3 норми, Харківщина, Черкащина 4,3 норми, Київщина, Крим – норма, подекуди в Криму 34-70% норми	Більше норми – 1,3-2,5 південь, Дніпропетровщина 3-3,5 норми, Херсон, Запоріжжя, Херсон, подекуди в Криму 4-5 норм, північ, Черкащина, Рівненщина, Івано-Франківщина – норма, Закарпаття, Львівщина, Волинь 34-76 % норми
t° ср.	На заході та півночі на 1-2° вище норми, у Криму на 1-2° нижче норми, решта території - норма	На заході та півдні норма. На решті території на 1-2° вище норми	На 1-3° вище норми	Вище норми на 1-4°	Переважно близько норми, на заході, Приазов'ї, Криму, Харківщині, Одещині на 1-2° вище норми	Здебільшого на 1-4° вище норми	Здебільшого близько норми, Карпатський регіон, південь Одещини на 1-2° нижче норми

Продовження табл. 1

Темпе- ратура/ опад	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
опад	На півдні та сході норма, на решті території менше норми	Здебільшого менше норми подекуди норма, південь та схід до 2-х норм	Здебільшого 1-2 норми, до 3-х норм на заході, півночі Лівобережжя, Житомирщині, Харківщині	2011 Північ і захід 1-2,5 норми, у центрі та північному сході норма, південь, Донеччина менше норми	Здебільшого менше норми, північному заході, північному сході, Закарпатті, Прикарпатті, центр та схід Одещини 1-1,5 норми	Здебільшого менше норми, Приазов'я та Закарпаття - норма	Переважаю більше норми або норма
т° ср.	Вище норми на 2-5°	Вище норми на 2-5°	Переважаю вище на 1-3°, в Криму до 4°	2012 Вище на 3-5°	Вище на 1-3°	Вище норми на 1-3°	Вище норми на 1-3°, південь та схід вище на 4-6, Волинь, Рівненщина, Львівщина близько норми
опад	Захід, північ, частина центру та сходу 1-2 норми, на решті території 28-79% норми	Здебільшого 35-75% норми, Прикарпаття, південь, схід 1-2 норми, на півночі Криму до 3-х норм	Захід, південь 1-2 норми, на решті території 21-79%, південь, Кіровоградщина 6-19%	Здебільшого 35-75% місцями 1-2 норми, на Південному березі Криму - 2-4 норми	Здебільшого 1-2,5 норми, подекуди на північному заході, півночі, північному сході, Дніпропетровщині, Запоріжжі 3-4, в Карпатському регіоні, півдні Правобережжя, півночі Криму 21-79% норми	Здебільшого 22-79%, Крим, схід, південний схід, Одещина, Вінниччина 2-21% норми	Здебільшого 1-2 норми подекуди на півдні, центрі та північному сході 3-5 норм Крим, Приазов'я 35-75% (подекуди 3-25%) норми
т° ср.	Вище норми на 1-3°, крім заходу	Здебільшого на 3-5° вище норми	На 1-4° вище норми	2013 Вище на 1-2° вище норми, на північному сході, центрі та Хмельниччині, схід, місцями півдні близько норми	Вище норми на 1-3°, північ, Черкащина, Вінниччина, Хмельницьчина, Луганщина близько норми	Нижче норми на 1-2°, Волинь, Рівненщина, Житомирщина, Чернігівщина – близько норми	На заході, півночі, Вінниччині, Черкащині, Поттавіщині місцями на 1-2° вище норми, в Криму на 1-2° вище норми, на решті території близько норми
опад	Здебільшого 20-79%, подекуди 12-19%, захід, степ Криму 1-1,5 норми	На заході, півночі, Вінниччині, Черкащині, Поттавіщині 1-1,5 норми на решті території 21-79%, південь 1-19% норми	Здебільшого 20-78%, 1-3 норми на сході та центрі	Здебільшого 35-75%, в Криму, Дніпропетровщині, Донеччині, Волині та півдні 1-3 норми окрім Запоріжжя	Північ, центр, схід, Карпатський регіон 1-2 норми, на решті території 21-79%, місцями 3-19% норми	Здебільшого 1-2,5 норми, Одещина, центр, схід, північ - 3-5 норм	Крим, Приазов'я, схід, Дніпропетровщина, Миколаївщина, південь Одещини 1-4,5 норми на решті території 20-79% норми, на Волині, Тернопільщині, Закарпатті, Київщині, Вінниччині, Черкащині, півдні Одещини 12-19% норми

Продовження табл. 1

Темпе- ратура/ опад	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
t° ср.	На сході та Приазов'ї на 1-3° вище норми	Здебільшого на 1-3,5° вище норми на заході та Одещині	Здебільшого норма, Закарпаття на 1-2° вище норми	Вище норми на 1-3°, 2014	Переважаю вища на 1-3°	Близько норми, південь та схід на 1-3° вище норми	Здебільшого близько норми. Частково північ, північний схід, центр на 1-2 (3°) нижче норми, Карпатський регіон на 1-2° вище норми
опад	Північ, захід, південь 19-79% на решті території 1-3 норми	Здебільшого 1,3-2,7 норми, подекуди 3,5 (4-4,5) Донеччина, Херсонщина, Закарпаття, Крим – норма, подекуди в Криму 33-78% норми	Сильні дощі у 3-й декаді	Захід, північ, Вінниччина, південний захід, схід 1,3-2,3 норми, на решті 30-75%, на Дніпропетровщині, Запоріжжі, Криму місцями 1-25% норми 2015	Захід, північний захід, Харківщина, Дніпропетровщина, Херсонщина 1-2,5 норми, на решті території 20-79%, південь 9-19% норми	Здебільшого 9-79% норми, місцями норма, схід, Приазов'я та Крим 1-4 норми	Здебільшого 10-70% норми, частково Карпатський регіон, Одещина, Миколаївщина, Херсонщина 1,2-2,3 норми, Львівщина, Вінниччина, Крим – норма, місцями 1,9 норми
t° ср.	Переважаю близько норми	Здебільшого норма, подекуди на півночі та центрі вище на 1-2°	Здебільшого вище на 1-3°, на півдні та центрі близько норми	На 1-3° вище норми	Здебільшого вище на 1-5°	Здебільшого на 2-5° вище норми в окремих місцях подекуди на 3-13°	Нижче норми на 1-2,5° на сході, Сумщині, Чернігівщині, Рівненщині, Запоріжжі, центрі, місцями у Прикарпатті, Житомирщині, Київщині, на решті території близько норми
опад	Здебільшого 22-79% норми, південь та Дніпропетровщина 1-3 норми, на півночі подекуди локально 10-19% норми	Здебільшого 1-25% норми, на решті території 21-74% норми	На заході та Одещині 21-79%, норми північний захід 5-17%, на решті території 1-1,5 норми, на Харківщині та Приазов'ї 2-2,5 норми	В цілому 30-70% норми, на заході місцями 13-28%, на півдні та подекуди в центрі 1-2,7 норми	Здебільшого 0,4-28%, Закарпаття, центр, південь 29-79% норми, Дніпропетровщина, Запоріжжя, Івано-Франківщина 1-2 норми	Здебільшого 20-79% норми, південь, Полтавщина 1-19%. На заході від 1-1,5 норми до 2-2,5 норми	Карпатський регіон, Вінниччина, Житомирщина, Київщина, Одещина, місцями Волинь 1-1,5 норми, на решті території здебільшого 20-70%, Дніпропетровщині, Полтавщині, місцями Харківщині та Кіровоградщині 1-19% норми

Продовження табл. 1

Темпе- ратура/ опад	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
т° ср.	Здебільшого на 2-5° вище норми	Близько норми	Вище норми на 1-3°	2016 На 1-3° вище норми	Вище норми на 1-4° в Карпатському регіоні норма	На Правобережжі на 1-3° вище норми, на Лівобережжі близько норми	Здебільшого на 1-2° нижче норми, Закарпаття, північ, схід місцями близько норми
опад	Переважає 1-3 норми на Житомирщині, Вінницькій, Черкащині, Хмельницькій, Чернівецькій – 27-29% норми	Здебільшого 1-2,5 норми, Черкащина, Полтавщина, Харківщина, Луганщина, Херсонщина місяцями 2,7-3,8 норми на заході 40-78%	На північному заході, заході, Запоріжжі, 17-Донецькій, 79% на решті території 1-1,5 норми (подекуди 2-3 норми)	Здебільшого 21-60%, на півдні 1-19%, на північному заході, заході, Харківщині, Луганщині 1,3-1,7 норми	Здебільшого 21-79%, подекуди 16-19%	На півночі, центрі, Волині, Рівненщині, Харківщині, Хмельницькій, Тернопільщині 10-49% (подекуди 1-9%), захід, Закарпаття, Миколаївщина 50-79% на сході, півдні на Дніпропетровщині) 1-2 норми	Здебільшого 1-4 норми, Одещина, Миколаївщина, Кіровоградщина, Чернівецьчина місцями 4,5-5,6 норми
т°	Здебільшого близько норми, півночі та Черкащині дещо вище, на Запоріжжі та Херсонщині дещо нижче	Здебільшого близько норми, схід, Сумщина на 1,1-1,7° нижче норми	Вище за норму на 1-3° на півночі та північному сході - норма	2017 Близько норми, на Правобережжі дещо вище норми	На 2-5° вище норми	На 1-4° вище норми, на заході місцями близько норми	Здебільшого близько норми, захід, південь, центр місцями вище норми
опад	Карпати, схід, південь, Вінницьчина, Дніпропетровщина, Закарпаття, Кіровоградщина, Полтавщина 1-2 норми (до 3-х) на решті території здебільшого 25-79%	Здебільшого 20-78% норми, на Одещині - норма	В центрі на півдні Київщині місцями 8-20%, на заході, Одещині, Донецькій, Луганщині 1-1,5 норми	Північний захід (Волинь), південь, окремі ділянки центру (Дніпропетровщині, Кіровоградщина, Черкащина) 1-2 норми, на решті території 22-79%	Здебільшого 21-79%, на більшості території на сході та півдні місцями 1-20% норми, подекуди повна відсутність, в окремих районах півдня, півночі, заходу, та на Вінниччині - норма	На заході, півночі Вінниччини, Дніпропетровщині – 1-2 норми, подекуди 3 норми, на решті території здебільшого 21-79%, на півдні, Донецькій – місцями 1-17% норми	Здебільшого 1-2 норми, на Одещині, Київщині, Чернівецькій подекуди на Волині, Житомирщині та Закарпатті до 4-х норми, Херсонщина, Миколаївщина місцями 43-74%
т°	Вище норми на 3-7°, на сході та Сумщині вище на 1-2°	Здебільшого на 2-4° вище норми	Здебільшого вище норми на 1-3°	2018 На 1-3° вище норми	Здебільшого вище на 2-5°	На 1-4° вище норми	На 1-4° вище норми
опад	Здебільшого 20-77% норми, на Чернігівщині, Київщині, Кіровоградщині, Одещині, Миколаївщині, Херсонщині, місцями Сумщині та Запоріжжі 1-19%	Здебільшого менше норми, на Закарпатті, Полтавщині, Черкащині, Луганщині 1-1,6 норми	Північ, захід, центр, частково південь 1-2 норми, решта території нижче норми	Закарпаття, схід, центр, північний схід 22-78%, на решті території 1-3 норми	Здебільшого 21-77%, подекуди на північному сході та центрі 3-20%, на заході 1-1,5 норми	Південь, центр, Київщина, Харківщина, Івано-Франківщина здебільшого 1-2 інді 3-4 норми, на решті території – половина норми інді норма	Здебільшого половина норми, Одещина, Миколаївщина 21-32% (північ Одещини 3-19%), на Вінниччині, заході та сході – переважно 1-2 норми

Закінчення табл. 1

Темпе- ратура/ опад	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
т°	На 1-3° вище норми, схід, південь, Чернівеччина – близько норми	Здебільшого на 1-3° вище норми, на заході, Житомирщині, Вінничині	Вище на 3-5° норми	Здебільшого близько норми, на заході та північному заході вище на 1-2° норми	Здебільшого вище норми на 1-4°	Вище норми здебільшого на 1-2° на сході, північ, південний схід, Карпатський регіон – близько норми	Переважаю на 1-4° вище норми
опад	Закарпаття, Івано-Франківщина, Хмельницьчина, Вінничина, Черкащина, Чернігівщина, Сумщина, Одещина 21-79%, решта 1-1,6% норми на півдні місяцями 1,7-2,4 норми	Здебільшого 1-2 норми, на заході, Вінничині, Поттавщині, Луганщині місцями 2,5-2,8 норми, на півдні та центрі - 19-79%	Здебільшого 20-79 вище норми %, на сході, частково Київщина, Дніпропетровщина, Одещина місцями 1-16% норми, на заході та півдні 1-28% норми	Переважаю 20-79%, на Дніпропетровщині та південному сході 1-1,8 норми	Південний схід 1-3,9 норми, захід, північний захід, Закарпаття 1-1,6 норми, на решті території 20-79% норми, на півночі, центрі та Харківщині 4-19% норми	Здебільшого 20-78%, на Миколаївщині, Херсонщині, Одещині, Кіровоградщині, Рівненщині місцями 4-18% норми, Приазов'я, південь Одещини локально 1,3-1,4 норми	На сході Дніпропетровщині, півдні, Кіровоградщині, Поттавщині, Івано-Франківщині 1-2,7 норми, на решті території здебільшого 20-79% (подекуди місцями 10-17% норми)
т°	Здебільшого близько норми, на заході, півночі, Черкащині, Одещині на 1-2° вище норми, на сході та Запоріжжі місцями на 1-2° нижче норми	На 1-3° вище норми, на півдні близько норми	На 1-4° вище норми	На 1-3° вище норми, Закарпаття, Львівщина, північ Київщини - норма	На 1-4° вище норми на Луганщині близько норми	Переважаю на 2-5° вище норми	Вища на 2-6° за норму крім більшості території Львівщини та Закарпаття, здебільшого за умовами близький до вересня
опад	Переважаю 20-79%, схід, південь, захід місцями 1-18% норми на Київщині та Черкащині близько норми	Переважаю 1-4 норми на півдні та Закарпатті 65-79%	Захід, північний захід, Дніпропетровщина, Черкащина, Київщина 1-4 норми, на решті території 0,5-0,7 від норми, на сході та Запоріжжі 14-28%	В західному регіоні (Карпатський регіон), Запоріжжя, Харківщина, Херсонщина – 1-2 норми, на решті території 20-79%, (Київщина, центр), локально 6-19% від норми	20-79% від норми у східних, південних (крім Запоріжжя), центральних районах, Київщина, Хмельницьчина, Тернопільщина, Львівщина - місцями 1-19% норми, На Кіровоградщині (Кропивницький, Долинська – опадів не спостерігалось за всю історію спостережень)	Надзвичайно нерівномірний розподіл опадів. Здебільшого вони спостерігались у 1-й та останній п'ятиденках, посушливо	На більшій частині території 1-2,5 норми, місцями на Хмельницьчині, Вінничині, Київщині, півночі Одещини, півдні Херсонщини до 3-х норми, на Луганщині та більшості районів Поттавщини, Сумщини, Харківщини, Дніпропетровщини 29-73% норми

У липні місяці протягом 2006-2020 рр. середня місячна температура повітря по окремих роках здебільшого в 11 роках (2007, 2009, 2010 - 2012, 2014, 2015 – 2019 рр.) була вище норми, ще у 4-х (2008, 2013, 2020 рр.) була переважно близька до норми, або в окремих регіонах вище норми. Окремо за температурним режимом виділяється липень 2010 р., коли перевищення середньої місячної температури здебільшого було на 3-5°, а на окремих територіях на Чернігівщині та Сумщині на 6,6°. Опадів було здебільшого менше норми – у 10 роках (2006, 2007, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 – 2020 рр.), більше норми опадів було лише у 2008 та 2014 рр., ще у 2009, 2010 рр. опадів здебільшого було близько норми, проте на окремих територіях їх було понад норму, а у 2011 р. від близько норми до менше норми.

У серпні протягом останнього п'ятнадцятиріччя по окремих роках середня місячна температура повітря була здебільшого вищою за норму, при чому у низці років 2007, 2010, 2017 та 2018 рр. вона могла перевищити норму не на 1-2(3)° як зазвичай, а до 4-5°, а іноді в окремих місцях і на 7°. Оподи також випадали нерівномірно, проте у більшості років їх було здебільшого менше норми (2007 – 2011, 2015 – 2018, 2020 рр.), причому іноді досить суттєво. У 4-х роках (2006, 2012 – 2014 рр.) здебільшого опадів було більше норми, а на окремих територіях навіть до 5 норм.

У **вересні** 2006-2020 рр. здебільшого середня температура повітря здебільшого (2006, 2009, 2011, 2012, 2015-2020 рр.) була вищою за норму, причому у 2011, 2015, 2017, 2018 та 2020 рр. перевищення становило 4 - 5°. У 2008 р. середня температура повітря для переважної більшості території була близька до норми, а у - 2007, 2010, 2014 рр. вона була близька до норми, проте на окремих територіях дещо вище норми. Тільки у вересні 2013 р. вона здебільшого була нижче норми на 1-2°, або наближалась до норми. Оподи на території України випадали нерівномірно, проте у 7 роках (2006-2008, 2010, 2013, 2017, 2018 рр.) здебільшого їх було вище норми, а подекуди ближче до неї. Ще 8 роках (2009, 2011, 2012, 2014-2016, 2019, 2020 рр.) опадів було недостатньо, подекуди значно нижче норми.

У **жовтні** досліджуваного п'ятнадцятиріччя по окремих роках середня місячна температура повітря здебільшого вище норми (2006-2008, 2012, 2014, 2018-2020 рр.) причому у 2018-2020 рр. досить значно на 4-5(6)°. У 2010 р. вона здебільшого, окрім Криму була нижчою за норму на 1-3°. В решті років середня місячна температура повітря була близька до норми, проте на окремих територіях могла бути дещо вищою за норму, або навпаки дещо нижчою. Опадів у жовтні випадало переважно більше норми у 8 роках (2006, 2009-2012, 2016, 2017, 2020), проте у 7 роках (2007, 2008, 2013-2015, 2018, 2019) їх було нижче норми. Треба зазначити, що в окремі роки на ряді територій кількість опадів може значно відрізнятись від тієї їх кількості, яка випала на більшій частині території країни. Таке є досить типовим для території півдня та південного сходу, або для Карпатського регіону.

2. Неприятливі агрометеорологічні явища (засухи) на території України протягом 2006-2020 рр.

Серед несприятливих агрометеорологічних явищ особливим чином виділяються засухи. Ці явища можуть супроводжуватись іншими несприятливими явищами, такими як суховії та пилові бурі. Засухи можуть відбуватись у повітрі – повітряна засуха, у ґрунті – ґрунтова засуха (вичерпання вологи в орному шарі ґрунту та капілярній каймі), проте найнебезпечнішою за своїми наслідками є повітряно-ґрунтова засуха, коли спостерігаються найбільш жорсткі умови для сільськогосподарського виробництва та об'єктів водного господарства. Перелік засух, їх вид та локалізація протягом періоду 2006 -2020 рр. наведено у таблиці 2.

Загалом протягом останніх 15 років на території України досить часто протягом весни, літку або у літньо-осінній період спостерігались засухи (2006-2011, 2013-2015, 2017, 2020 рр.). У цілому протягом визначеного періоду часу здебільшого спостерігались повітряно-ґрунтові засухи, які є найбільш несприятливими. Тільки у окремих роках (2012, 2016, 2018, 2019) засух як несприятливих агрометеорологічних явищ не спостерігалось.

Таблиця 2. Неприятливі агрометеорологічні явища на території України протягом 2006-2020 рр. (засухи, суховії, пилові бурі). *

2006	2007	2008	2009	2010
Суховії з середини квітня по 1-у половину травня. З 3-ї дек. червня по кінець липня на півдні повітряно-грунтова засуха	З середини травня по кінець серпня на південному сході (9 областей) повітряно-грунтова посуха	2-3 декади серпня за винятком заходу повітряно-грунтова засуха	Квітень-1-а половина травня та півночі ґрунтова засуха та суховії. З кінця червня до кінця липня на півдні та сході – повітряно-грунтова засуха . Вересень- 1-а декада жовтня на північному заході – ґрунтова засуха	Квітень-1-а декада травня - повітряно-грунтова засуха , суховії, пилові бурі (в орному шарі ґрунту). Червень – на сході та південному сході повітряно-грунтова засуха . З 2-ї половини липня до кінця серпня у північно-східних, східних, центральних областях – повітряно-грунтова засуха
2011	2012	2013	2014	2015
З 20.02 по 31.03 на більшій частині України – повітряна засуха. З 20.05 до середини червня – повітряно-грунтова засуха . З 2-ї половини серпня до кінця листопада жорстка повітряно-грунтова засуха	Немає несприятливих агрометеорологічних явищ	Переважно у степовій частині країни. Квітень-травень – повітряно-грунтова засуха . Червень-липень – повітряно-грунтова засуха	Квітень – початок травня – ґрунтова посуха на території півдня та Криму. Вересень – північно-західна частина країни – ґрунтова засуха	2-а половина березня, ранньо-весняна ґрунтова засуха, пилові бурі на Дніпропетровщині, Донеччині та Луганщині в орному шарі ґрунту. Червень-серпень – повітряно-грунтова засуха на усій території. Вересень – жовтень – повітряно-грунтова засуха окрім півночі та заходу. Вересень-листопад на Полтавщині, Дніпропетровщині, Харківщині, Закарпатті, Херсонщині, Миколаївщині – повітряно-грунтова засуха .
2016	2017	2018	2019	2020
Немає несприятливих агрометеорологічних явищ	Квітень-травень на півдні та центрі – ґрунтова засуха. Травень-початок червня – атмосферна засуха, 1-а дек. червня крім заходу- ґрунтова засуха, з 2-ї декади червня повітряно-грунтова засуха , найжорсткіша у центрі країни, на Київщині, Черкащині, Полтавщині та Кіровоградщині. Липень – 1-а половина вересня (з 2-ї половини серпня повітряно-грунтова) особливо на сході та півдні країни.	Немає несприятливих агрометеорологічних явищ	Немає несприятливих агрометеорологічних явищ	Березень – квітень повітряно-грунтова засуха на більшій частині країни. Серпень - кінець вересня повітряно-грунтова засуха . На сході засуха тривала до кінця жовтня.

Примітка. У таблиці **жирним шрифтом** виділено роки, коли на території України спостерігались повітряно-грунтові засухи

Треба зазначити, що у 2006, 2009, 2010 та 2015 рр. засухи супроводжувались суховійними явищами та подекуди пиловими бурями в орному шарі ґрунту, що ускладнювало загальну ситуацію. Здебільшого засухи виникали у літній або літньо-осінній період, а іноді навіть осінній з вересня по жовтень та листопад (2009, 2015, 2020 рр.). Проте траплялись роки, коли спостерігалась весняна засуха, яка виникала у квітні – початку травня (2010, 2013, 2014, розпочиналась як ґрунтова (2009, 2014, 2015 рр.) із наявністю суховійних явищ (2009) та пиловими бурами у низці областей переважно східних або південних (2015). У 2017 р. засуха розпочалась як ранньовесняна ґрунтова, перейшла у весняно-літню атмосферну, а пізніше наприкінці літа у атмосферно-ґрунтову. Також треба зазначити, що наприкінці літа початку осені, а іноді і до її середини та кінця (серпень-вересень, серпень-жовтень (листопад), вересень-жовтень, вересень-листопад) може тривати повітряно-ґрунтова засуха.

Стосовно територій на якій розповсюджувались засухи, можна сказати, що здебільшого вони спостерігались на півдні, південному сході та сході країни. В окремі роки посуха спостерігалась на заході, півночі, північному заході та сході країни, а також у окремих центральних областях (Харківщина, Полтавщина, Дніпропетровщина) (2009, 2010, 2014 рр.). Навесні 2020 р. (березень – квітень) повітряно-ґрунтова засуха охопила більшу частину країни.

Серед безпосередніх наслідків засух треба назвати такі - якщо це весняна засуха – несприятливі умови для посівів озимини, затримка росту, ускладнення сівби раніх зернових культур через дефіцит вологи у повітрі та ґрунті незадовільні умови для сходу пізніх культур та запилення; літня засуха – в'янення та зрідження посівів, запал зерна, загибель частини рослин, стримування росту пізніх культур та коренеплодів, передчасне дозрівання окремих культур із зменшенням їх врожаю, завершення вегетації окремих культур, літньо-осіння та осіння засухи – затримка сівби озимини або повне її унеможливлення, пошкодження технічних культур та коренеплодів із зменшенням врожаю.

Висновки. З вищевикладеного стосовно умов виникнення засух на території України протягом останніх 15 років (2006-2020 рр.) можна зробити низку висновків:

У місяці теплого періоду року середня місячна температура повітря здебільшого була вище норми на 1-2° С, при чому в окремих місяцях та роках перевищення норми могло бути значним від 4 до 7°. Навесні таке перевищення спостерігалось у квітні у 2016, та 2018 рр., та у травні 2007, 2012, 2013 рр. У літні місяці середня місячна температура повітря на значних територіях дуже часто була вищою за норму, здебільшого на 1-3° проте в окремі місяці та роки вона могла досить істотно відхилятися від норми у бік зростання, особливо у регіональному плані. Серед місяців виділяється червень 2007, 2009, 2010, 2013, 2019, 2020 рр., коли середня місячна температура повітря перевищувала норму до 4-5°. У липні виділяються 2007, 2010, 2011, 2012 рр. де середня місячна температура повітря перевищувала норму на 4-5° (в 2010 р. на території Чернігвщини та Сумщини на 6,6°). У серпні виділяються 2007, 2010, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020 рр. (2010 р. на 4-7°). Восени, у вересні здебільшого середня місячна температура повітря знаходилась у межах норми, або була вище норми на 1-3°, проте у 2011, 2015, 2017, 2018, 2020 рр. вона перевищувала норму на 4-5° (2015 р. в окремих місцях до 13°). У жовтні здебільшого середня місячна температура повітря була близька до норми або дещо вище неї, проте у роках 2009, 2018, 2019 вище норми на 4-5° а у 2020 р. до 6°. Проте у 2011 р. в окремих регіонах на території України середня місячна температура повітря була дещо нижче норми, а у 2010, 2015, 2016 рр. вона була навіть на 1-3° нижче норми.

Опади протягом досліджуваних місяців розподілялись по території України вкрай нерівномірно. У квітні здебільшого на території України випадало норма опадів, або близько неї, а у 2008 р. навіть значно більше. Проте у низці років (2009, 2013, 2015, 2018, 2020 рр.) кількість опадів була вкрай недостатньою. У травні опадів здебільшого випадало близько норми із значними коливаннями по території (від задовільного зволоження до недостатнього). У 2013 та особливо у 2015 рр. кількість опадів у травні була вкрай недостатньою. У червні розподіл опадів був ще більш нерівномірним по території – на окремих частинах випадало до 3-4 норм, а на інших до 0,5 норми. Найбільш посушливими

виявились червні у 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2015, 2017, 2019 рр. У липні аналогічно до червня розподіл опадів дуже нерівномірний, в окремі роки спостерігались регіони із зволоженням вище норми або близько неї, проте у 2006, 2007, 2012, 2015, 2016, 2018, 2019, 2020 рр. було посушливо. У серпні найбільш посушливими виявились 2008, 2009, 2010, 2011, 2015, 2016, 2017, 2018, 2020 рр., при чому 2015, 2016 та 2020 рр. були особливо посушливими, на окремих територіях опади взагалі не випадали. Восени, у вересні кількість опадів зростає здебільшого до норми та вище, проте у окремих роках (2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2019, 2020 рр.) на більшості території України спостерігався дефіцит опадів. У жовтні здебільшого опадів випадало близько норми, а подекуди і більше норми (від 1,5 до 3 норм). Найбільш посушливими жовтні видались у 2013, 2014, 2015, 2018 рр.

Протягом сучасного періоду 2006-2020 рр. на території України майже кожного року (за виключенням 2012, 2016, 2018, 2019 рр.) спостерігались посушливі явища. Здебільшого засухи спостерігались у весняно-літній або літньо-осінній (іноді пізньоосінній) період, проте у 2011 р. посуха розпочалась занадто рано - наприкінці зими та початку весни, а у 2015 р. з другої половини березня. Іноді засухи супроводжувались суховіями (2006, 2009, 2010), а у 2010 та 2015 рр. пиловими бурями. В окремі роки досліджуваного періоду засуха розпочиналась як атмосферна або ґрунтова, проте з часом вона переростала у найбільш жорстку атмосферно-ґрунтову засуху, яка охоплювала майже усі регіони. Такі засухи на території України спостерігались у 10 роках, Територіально здебільшого засухи спостерігались у степовій частині України, центрі, на сході, південному сході та півдні, проте у 2009 р. (вересень - жовтень) ґрунтова посуха спостерігалась на північному заході країни.

Перспективи подальших досліджень. У подальшому, спираючись на отримані результати може бути більш докладно досліджено умови зволоження на території України протягом окремих місяців як холодного, так і теплого періодів року протягом останнього п'ятнадцятиріччя.

Список літератури

1. Температура воздуха на Украине [Монография] / Под ред. В.Н. Бабиченко. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 399 с.
2. Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень [Монография] / За ред. В.І. Осадчого, В.М. Бабиченко, Ю.Б. Набиванця, О.Я. Скринника. К.: Вид-во Ніка-Центр, 2013. 307 с.
3. Бабиченко В.М., Ніколаєва Н.В., Гущина Л.М. Зміни температури повітря на території України наприкінці ХХ та на початку ХХІ століття. Український географічний журнал, 2007. № 4. С. 3-12
4. Барабаш М.Б., Гейко Л.А., Гребенюк Н.П. Современные изменения температуры воздуха и осадков на Украине. Труды УкрНИГМИ. 1986, Вып. 209. С. 108-114.
5. Бойченко С.Г., Волощук В.М., Дорошенко І.А. Глобальне потепління та його наслідки на території України. Український географічний журнал, 2000. - №3. С. 59-68
6. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. [Монография] – Л.: Гидрометеиздат, 1980. 351 с.
7. Changnon S. A., Pielke R.A. Jr., Changnon D., et al. Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2000. Vol. 81, № 3. 417-425.
8. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (2007). In: Contribution of working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof, et al. (eds.). New York, Cambridge University Press. 976.
9. Клімат України [Монография] / Под ред. Г.Ф. Прихотьюко, А.В. Ткаченко, В.Н. Бабиченко. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 413 р.
10. Клімат України [Монография] / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабиченко. К.: Вид-во. Раєвського, 2003. 343 р.
11. Дати переходу температури повітря в Україні за сучасних умов клімату / За ред. В.І. Осадчого, В.М. Бабиченко. К.: Вид-во Ніка-Центр, 2010. 303 р.
12. Дмитренко В.П., Дячук В.А. Кліматичні аспекти проблеми сталого розвитку України. Проблеми сталого розвитку України. – К.: БМТ. 1998. С. 283-293.
13. Дмитренко В.П. Погода, клімат і урожай польових культур [Монография] – К.: Ніка-Центр, 2010. 620 с.

14. Дзюба А.В., Панин Г.Н. Механизм формирования многолетних направленных изменений климата в прошедшем и текущем столетиях. Метеорология и гидрология, 2007. № 5. С. 5-27.
15. Гребенюк Н.П., Корж Т.В., Яценко О.О. Нове про зміни глобального та регіонального клімату в Україні на початку ХХІ ст. Водне господарство України, 2002, № 5-6. 34 с.
16. Глобальные и региональные изменения климата [Монографія] / В.М. Шестопапов, В.Ф. Логинов, В.И. Осадчий. – К.: Ника-Центр, 2011. 448 с.
17. Глобальне потепління і клімат України: регіональні екологічні та соціально-економічні аспекти / В.М. Волощук, С.Г. Бойченко, С.М. Степаненко, С.Ю. Бортник, П.Г.Шищенко. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2002. 117 с.
18. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Вип. 3.Ч.1. Метеорологічні спостереження на станціях. К.:Державна гідрометеорологічна служба. 2011. 279 с.
19. Израэль Ю.А., Груза В.Г., Катцов В.М., Мелешко В.П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий. Метеорология, 2001. № 5. С. 5-21.
20. Логвинов К.Т., Барабаш М.Б. О возможных изменениях климата. Труды УкрНИГМИ, 1986. Вып. 209. С. 114-117.
21. Логвинов К.Т., Барабаш М.Б. Исследование периодических изменений температуры воздуха и осадков на Украине. Труды УкрНИГМИ, 1987. Вып. 224. С. 71-76.
22. Мартазинова В.Ф., Свердлик Т.А. Крупномасштабная атмосферная циркуляция XX столетия, ее изменения и современное состояние Труды УкрНИГМИ, 1998. Вып. 246. С. 21-27.
23. Мартазинова В.Ф., Сологуб Т.А. Атмосферная циркуляция, формирующая засушливые условия на территории Украины в конце XX столетия. Труды УкрНИГМИ, 2003. Вып. 248. - С. 36-47.
24. Martazinova V.F., Ivanova Ye.K. Peculiarities of Synoptic Processes of Various Probability Categories in the End of XX – the Beginning of XXI Centuries. Global and Regional Climate change. 2011. K.: Nika-Centre. - P. 80-89.
25. Проблеми і стратегія виконання Україною Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату / За ред. д. економ.н., проф. В.Я.Шевчука. Рада Національної Безпеки і Оборони України. 2001)Київ.
26. Природа Украинской ССР. Климат [Монографія] / Под ред. К.Т. Логвинова, М.И. Щербаня. К.: Наукова думка, 1984. 231 р.
27. Винников К.Я., Гройсман П.Я. Эмпирическая модель современных изменений климата. Метеорология и гидрология, 1979. №3. С. 25-36.
28. Волощук В.М. Про можливі зміни середньорічного температурного режиму України в першій половині ХХІ століття. Доклади Академії наук України, 1993. № 12. С. 105-111.
29. Волощук В.М. Бойченко С.Г. Реакція ходу приземної температури України на глобальне потепління клімату Доповіді НАН України, 1997. № 9. С. 113-118.
30. Волощук В.М., Гродзинський В.М., М.Д., Шищенко П.Г. Географічні проблеми сталого розвитку України. Український географічний журнал, 1998. №1. С. 13-18.

References

1. Temperatura vozdukha v Ukraine [Monografiya] / Pod red. V.N. Babichenko. [Air temperature in Ukraine]. L.: Gidrometeoizdat, 1987. 399 s.
2. Dinamika temperatury pogody v Ukraine za period instrumental'nykh meteorologicheskikh preduprezhdeniy [Monografiya] / Pod red. V.I. Osadchiy, V.M. Babichenko, YU.B. Nabivanets, O.YA. Skrinshot. [Air temperature dynamics in Ukraine during the period of instrumental meteorological observations].: Vid-vo Nika-Tsentr, 2013. 307 s.
3. Babichenko V.M., Nikolayeva N.V., Gushchina L.M. Izmeneniye temperatury na territorii Ukrainy na primere XX veka i nachala XXI veka. [Air temperature changes in the territory of Ukraine at the end of the 20th and the beginning of the 21st century]. Ukrainskiy geograficheskiy zhurnal, 2007. № 4. S. 3-12.
4. Barabash M.B., Geyko L.A., Grebenyuk N.P. Sovremennyye izmeneniya temperatury vozdukha i osadkov v Ukraine [Modern changes in air temperature and precipitation in Ukraine] Truy UkrNIGMI. 1986, Vyp. 209. S. 108-114.
5. Boychenko S.G., Voloshchuk V.M., Doroshenko I.A. Global'noye potepleniye i yego posledstviya na territorii Ukrainy [Global warming and its consequences on the territory of Ukraine]. Ukrainskiy geograficheskiy zhurnal, 2000. - №3. S. 59-68.
6. Budyko M.I. Klimat proshlogo i budushchego [Monografiya]. [Climate in the past and future] - L.: Gidrometeoizdat, 1980. 351 s.
7. Changnon S. A., Pielke R.A. Jr., Changnon D., et al. Human factors explaine the increased losses from weather and climate extremes. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2000. Vol. 81, № 3. 417 425.
8. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (2007). In: Contribution of working Group II to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M. Parry, O. Canziani, J. Palutkof, et al. (eds.). New York, Cambridge University Press. 976.
9. Klimat Ukrainy [Monografiya] / Pod red. G.F. Prihot'ko, A.V. Tkachenko, V.N. Babichenko.

[Climate of Ukraine]. L.: Gidrometeoizdat, 1967. 413 s.

10. Klimat Ukrainy [Monografiya] / Pod red. V.M. Lipinskiy, V.A. D'yachuk, V.M. Babichenko [Climate of Ukraine]. K.: Vrode. Rayevskogo, 2003. 343 s.

11. Sroki perekhoda temperatury v Ukraine k sovremennomu klimatu / Pod red. V.I. Osadchiy, V.M. Babichenko [Dates of air temperature transition in Ukraine under modern climate conditions]. K.: Vzgl'yad Nika-Tsentra, 2010. 303 s.

12. Dmitrenko V.P., D'yachuk V.A. Klimaticheskiye aspekty problemy razvitiya Ukrainy. Problemy razvitiya metallurgii Ukrainy [Climatic aspects of the problem of sustainable development of Ukraine. Problems of sustainable development of Ukraine]. – K.: BMT. 1998. S. 283-293.

13. Dmitrenko V.P. Pogoda, klimat i urozhay polevykh kul'tur [Monografiya]. [Weather, climate and harvest of field flowers]. – K.: Nika-Tsentr, 2010. 620 s.

14. Dzyuba A.V., Panin G.N. Mekhanizm formirovaniya dolgovremennykh napravlennykh izmeneniy klimata v proshlom i tekushchem vekakh [The mechanism of formation of long-term directional climate changes in the past and current centuries]. Meteorologiya i gidrologiya, 2007, № 5, str. 5-27.

15. Grebenyuk N.P., Korzh T.V., Yatsenko O.O. Novost' ob izmenenii global'nogo i regional'nogo klimata v Ukraine v nachale XXI veka [News about global and regional climate changes in Ukraine at the beginning of the 21st century]. Vodn gosdom Ukrainy, 2002, № 5-6. 34 r.

16. Global'nyye i regional'nyye izmeneniya klimata [Monografiya] / V.M. Shestopalov, V.F. Loginov, V.I. Osadchiy [Global and regional climate changes]. – K.: Nika-Tsentr, 2011. 448 s.

17. Global'noye potepleniye i klimat Ukrainy: regional'nyye ekologicheskkiye i sotsial'no-ekonomicheskkiye aspekty / V.M. Voloshchuk, S.G. Boychenko, S.M. Stepanenko, S.YU. Bortnik, P.G. Shishchenko [Global warming and the climate of Ukraine: regional ecological and socio-economic aspects]. – K.: VPK «Kiyevskiy universitet», 2002. 117 s.

18. Nastanova gidrometeorologicheskikh stantsiy i postov. VIP. 3.P.1. Meteorologicheskkiye preduprezhdeniya na stantsiyakh [Instructions to hydrometeorological stations and posts. Vol. 3. Part 1. Meteorological observations at the stations] K.: Gosudarstvennaya gidrometeorologicheskaya sluzhba. 2011. 279 s.

19. Izrail' YU.A., Gruza V.G., Kattsov V.M., Meleshko V.P. Global'noye izmeneniye klimata. Rol' antropogennykh vozdeystviy [Changes in the global climate. The role of anthropogenic influences]. Meteorologiya, 2001. № 5. S. 5-21.

20. Logvinov K.T., Barabash M.B. O vozmozhnom izmenenii klimata [About possible climate changes]. Trudy UkrNIGMI, 1986. Vyp. 209. S. 114-117.

21. Logvinov K.T., Barabash M.B. Izucheniye periodicheskikh izmeneniy temperatury vozdukh i osadkov v Ukraine [Study of periodic changes in air temperature and precipitation in Ukraine]. Trudy UkrNIGMI, 1987. Vyp. 224. S. 71-76.

22. Martazinova V.F., Sverdlik T.A. Krupnomasshtabnaya atmosfer'naya tsirkulyatsiya KHKH veka, yeye izmeneniya i sovremennoye sostoyaniye [Large-scale atmospheric circulation of the 20th century, its changes and current state.]. Trudy UkrNIGMI, 1998. Vyp. 246. S. 21-27.

23. Martazinova V.F., Sologub T.A. Atmosfer'naya tsirkulyatsiya, formiruyushchaya aridnyye usloviya na territorii Ukrainy v kontse XX veka [Atmospheric circulation forming arid conditions on the territory of Ukraine at the end of the 20th century]. Trudy UkrNIGMI, 2003. Vyp. 248. – S. 36-47.

24. Martazinova V.F., Ivanova Ye.K. Osobennosti sinopticheskikh protsessov razlichnoy kategorii veroyatnosti v kontse XX – nachale XXI vv. Global'noye i regional'noye izmeneniye klimata. 2011. K.: Nika-Tsentr. – S. 80-89.

25. Problemy i strategiya ukrainskoy ramochnoy konventsii OON ob izmenenii klimata / Pod red. d.e.n., prof. V.YA.Shevchuk [Problems and strategy of Ukraine's implementation of the UN Framework Convention on Climate Change]. Sovet natsional'noy bezopasnosti i oborony Ukrainy. 2001) Kiyev.

26. Priroda Ukrainy SSR. Klimat [Monografiya] / Pod red. K.T. Logvinova, M.I. Shcherbanya [The nature of the Ukrainian SSR. Climate]. K.: Naukova dumka, 1984. 231 s.

27. Vinnikov K.YA., Groysman P.YA. Empiricheskaya model' sovremennogo izmeneniya klimata [Empirical model of modern climate changes]. Meteorologiya i gidrologiya, 1979. № 3. S. 25-36.

28. Voloshchuk V.M. O vozmozhnykh izmeneniyakh srednego temperaturnogo rezhima Ukrainy v pervoy polovine XXI veka [About possible changes in the average annual temperature regime of Ukraine in the first half of the 21st century] Doklady Akademii nauk Ukrainy, 1993. – № 12. S. 105-111.

29. Voloshchuk V.M. Boychenko S.G. Otklik khoda prizemnoy temperatury Ukrainy na global'noye potepleniye klimata Dopovidi NAN Ukrainy [The reaction of the course of the surface temperature of Ukraine to the global warming of the climate. Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine], 1997. № 9. S. 113-118.

30. Voloshchuk V.M., Grodzinskiy V.M., M.D., Shishchenko P.G. Geograficheskkiye problemy razvitiya Ukrainy [Geographical problems of sustainable development of Ukraine]. Ukrainskiy geograficheskiy zhurnal, 1998. 1, 13-18

Adverse agrometeorological phenomena on the territory of Ukraine during 2006-2020
Pyasetska S.I.

The article is devoted to the study of weather conditions of adverse agrometeorological phenomena (droughts) on the territory of Ukraine during the fifteen-year period of 2006-2020. The purpose of the work is to establish the peculiarities of the temperature and humidity regime in the months of the warm period of the year during certain years of the last fifteen-year period, taking into account the droughts that were observed in this period. For each year and month of the studied period, an analysis of the relevant weather conditions accompanying droughts in the territory of Ukraine was carried out. The influence of temperature conditions and features of humidification on the territorial distribution and duration of droughts has been proven. In general, during the studied period, it was established that drought phenomena were not observed only in 2012, 2016, 2018 and 2019. Droughts could start in the air or in the soil and eventually develop into air-soil droughts. In 10 years of the studied period, severe air and soil droughts were observed in large areas. Mostly droughts were observed from the end of June to the end of July, but in some years droughts could start from April and be observed with certain breaks until the beginning (mid) of autumn. In 2011, there was a case of air drought at the end of February and in March. In addition, in some years, air-soil droughts could be observed in autumn not only from its beginning, but also until its end (November 2011, 2015). For the most part, territorial droughts during 2006-2020 were observed in the east, southeast, and south, but they could also be observed in most of the country, including part of the northern territories. In some years, droughts were accompanied by droughts and dust storms.

It was established that in the months of the warm period of the year, the average monthly air temperature was mostly above the norm by 1-2° C, while in some months and years the norm could be significantly exceeded, especially in the summer months from 4 to 7°. In autumn, for the most part, the average monthly air temperature was within normal limits, but in some years it was 1-3° degrees above normal. Precipitation during the studied months was extremely unevenly distributed across the territory of Ukraine. In the spring, precipitation was mostly close to normal. In the summer months, precipitation was often insufficient, sometimes less than half of the norm. In autumn, the amount of precipitation increased mostly to the norm and above, but in some years a deficit of precipitation was observed in most of the territory of Ukraine. At the end of autumn, mostly precipitation fell close to norm, and in some places even more than normal

Key words: the territory of Ukraine, months of the warm period of the year, drought, arid phenomena, temperature conditions, nature of humidification.

Надійшла до редколегії 18.09.2022

ПОРЯДОК ПОДАННЯ І ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ ДО ПЕРІОДИЧНОГО НАУКОВОГО ЗБІРНИКА “ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ”

Періодичність: науковий збірник “Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія”, заснований у 2000 р., виходить 4 рази на рік. Він готується до видання на базі кафедри гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукова тематика збірника:

- теоретичні та експериментальні гідрологічні, гідрохімічні та гідроекологічні дослідження водних об’єктів;
- вплив кліматичних змін на елементи гідрологічного режиму;
- оцінка антропогенного впливу на водні об’єкти;
- аналіз катастрофічних гідрологічних явищ та їхній вплив на водні об’єкти;
- управління, використання та охорона водних ресурсів;
- якість води в джерелах водопостачання;
- географічні аспекти досліджень глобального гідрологічного циклу.

Приймаються до публікації рецензії на наукові видання, інформація про діяльність відомих вчених в області гідрології, гідрохімії та гідроекології, які присвячені ювілейним датам, матеріали про фахові конференції, що відбулися в Україні і за кордоном, анотації монографій і навчально-методичних видань.

Структура статті - авторам необхідно орієнтуватися на наступну рубрикацію при написанні статті:

- УДК, прізвище та ініціали автора/ів, назва установи, назва статті;
- анотація українською (мовою оригіналу);
- ключові слова;
- вступ, актуальність теми дослідження;
- аналіз виконаних досліджень за означеною темою;
- мета дослідження;
- матеріали та методи дослідження;
- виклад основного матеріалу (в тексті можливе виділення підпунктів);
- висновки;
- список літератури: оригінальний та транслітерований (References) з англійським перекладом назв;
- анотація англійською.

Мова публікацій – українська, англійська або інші офіційні мови Європейського Союзу (ст. 22 Закону України «Про забезпечення функціонування української мови як державної» від 25 квітня 2019 р). У разі публікації англійською мовою або іншими офіційними мовами Європейського Союзу стаття має супроводжуватися анотацією і переліком ключових слів українською мовою. Текст повинен бути відредагованим і оформленим без помилок.

Етичні норми – матеріал, викладений у статті має бути оригінальним, раніше не опублікованим, поданим з дотриманням академічної доброчесності. Автори несуть повну відповідальність за зміст і достовірність викладених у статті матеріалів.

Для одноосібних статей, поданих студентами, обов’язковим є відгук наукового керівника.

Рецензування статей - всі статті проходять процедуру закритого рецензування двома рецензентами-спеціалістами за темою дослідження. Авторам повідомляються результати з метою реагування на зауваження рецензентів. Редколегія залишає за собою право відхилення статей, що не відповідають вимогам до наукових публікацій або у разі негативних рецензій.

Оформлення рукопису статті:

- обсяг статті - до 14 стор. (основний текст, таблиці, рисунки, список літератури, анотації); матеріал обсягом менше 4 стор. – наукові повідомлення;
- шрифт Arial, кегль 11, Word 6-8;
- поля - всі по 2.5 см; інтервал – 1, абзац – 1,00;

- виділення шрифтами «титольної» частини статті:
УДК - кегль 11;
через інтервал - прізвище, ініціали автора – кегль 11, напівжирний, *нахилений*;
назва установи - кегль 10, *нахилений*;
через інтервал - назва статті (кегль 11, напівжирний, прописними);
через інтервал - анотація українською (мовою оригіналу) - кегль 9, *нахилений*;
через інтервал - ключові слова - кегль 9, *нахилений*;
через інтервал – основний текст статті (кегль 11).

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).

Список літератури - оригінальний і транслітерований (References) з англійським перекладом назв розташовується після основного тексту статті (висновків) через один інтервал.

Оригінальний список літератури. Посередині друкується підзаголовок «Список літератури» (кегль 10, напівжирний), а потім у стовпчик подається оригінальний перелік джерел (також кегль 10). Оформляється згідно з ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання». Посилання на джерела у тексті подаються у квадратних дужках із зазначенням порядкового номера.

Транслітерований список літератури - «References». Після оригінального «Списку літератури» наводиться транслітерований латиницею список літератури із заголовком «References». Прізвища авторів – у транслітерації згідно з Постановою КМУ від 27.01.2010 № 55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею». Для джерел не англійською мовою після назви роботи в квадратних дужках додається її переклад англійською мовою, наприклад:

Khilchevskiy V.K. Hidroekologichni problemy revitalizatsii richok na terytorii miskykh ahlomeratsii – mizhnarodnyi ta ukraïnskyi dosvid [Hydroecological problems of rivers revitalization on the urban ares - international and Ukrainian experience]. Hidrolohii, hidrokhimii i hidroekologhiia. 2017. № 2(45). S. 6-13.

Анотація англійською мовою розташовується після «References» через один інтервал. Анотація подається за схемою:

- назва статті (кегль 9, напівжирний),
- прізвище та ініціали автора/ів (кегль 9, напівжирний, *нахилений*);
- розширений текст анотації англійською (2000 знаків без пробілів (кегль 9, *нахилений*);
- ключові слова - до 5-6 слів чи словосполучень, розділених крапкою з комою (кегль 9, *нахилений*).

Реферат статті – додається автором/ами для розміщення в українському реферативному журналі «Джерело». Рекомендований обсяг – 850 знаків

Приклад оформлення реферату статті:

УДК 556.012 556.522

Типізація річок та озер української частини басейну Вісли та її узгодженість з дослідженнями в Польщі / Хільчевський В.К., Гребінь В.В., Забокрицька М.Р. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2017. (№ і стор. - буде представлено в редакції).

Здійснена абіотична типізація річок, яка базується на вимогах ВРД ЄС і типологічній системі адаптованій в Польщі, дозволила виділити: для басейну Західного Бугу в межах України 5 абіотичних типів річок, в межах Польщі - 7; для басейну Сану в межах України - 4 типи річок, в межах Польщі - 10. Згідно ВРД ЄС у басейні р. Західний Буг до дуже великих річок належить, власне, Західний Буг, а до великих річок - Полтва, Рата, Луга і Ріта. У басейні р. Сан до дуже великих річок належить, власне, Сан, а до великих річок - Вишня і Завадівка (Любачівка). Для виконання типізації озер у басейні Західного Бугу на території України згідно вимог ВРД ЄС необхідно провести дослідження за комплексом показників (геологічних умов водозбору, співвідношення площі водозбору до об'єму озера, вертикальної стратифікації озерних вод).

Іл. 2. Табл. 3. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: Західний Буг, Сан, Водна рамкова директива Європейського Союзу, абіотичні типи, річка, озеро

Відомості про авторів - подаються при надсиланні статті в редколегію (окремим файлом): прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь та вчене звання, місце роботи, посада, службова адреса, контактний телефон, e-mail.

Надсилання рукопису статті на адресу редколегії здійснюється в *електронному вигляді* (з назвою файлу – прізвище автора латинськими літерами), а також у *роздрукованому вигляді* у 2-х примірниках (для рецензування), один – з підписами авторів; другий – копія першого без підпису.

Наукове видання

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Періодичний науковий збірник

2022 рік

№ 4 (66)

Збережено авторський стиль та орфографію

Комп'ютерна верстка – Москаленко С.О.

Підписано до друку 28.12.2022
Формат 60х90/8. Папір офсетний.
Гарнітура Arial. Друк різнограф.
Ум. др. арк. 8,0. Обл.-вид. арк. 8,2.
Наклад 100 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

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2022. № 4 (66)