

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

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія

Періодичний науковий збірник
№ 3 (46)

Київ
2017

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ:

Наук. збірник / Гол. редактор В.К. Хільчевський. 2017. № 3 (46). 124 с.

HIDROLOHIIA, HIDROKHIIMIIA I HIDROEKOLOHIIA:

The scientific collection / The editor-in-chief Valentyn Khilchevskiy. 2017. № 3 (46). 124 p.

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

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

*Рекомендовано до друку Вченою радою
географічного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
(19 червня 2017 р., протокол № 6)*

Адреса видавця та редколегії:

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

Телефон редколегії: (044) 521-32-29.

E-mail: gidrolog@niv.kiev.ua

luko15_06@ukr.net

ISSN:2306-5680

© Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2017

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

З М І С Т

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Хільчевський В.К. Про функціонально-генетичну та гідрохімічну класифікації ставків.....	6
Москаленко С.О., Манукало В.О, Митник Т.Г. Виявлення «повзучої» неоднорідності в рядах метеорологічних величин (на прикладі даних спостережень ОГМС Київ).....	11
Заболоцька Т.М., Шпиг В.М. Кліматологічна оцінка циркуляційних процесів у північній півкулі та їх вплив на температурний режим.....	23

ГІДРОЛОГІЯ. ВОДНІ РЕСУРСИ

Лобода Н.С., Куза А.М. Антропогенне навантаження на стік річки Великий Куяльник в умовах кліматичних змін	33
Гопченко Є.Д., Кирилюк О.С. Максимальні модулі схилового припливу в період весняного водопілля на території Приазов'я.....	42

ГІДРОХІМІЯ. ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Осадча Н.М., Осадчий В. І., Зінець І. А., Набиванець Ю. Б, Артеменко В. А. Польові експериментальні дослідження виносу гумусових речовин з торф'янистих ґрунтів і оцінка їх ролі в транспортуванні розчинених форм заліза.....	48
Жежеря В.А., Линник П.М., Ігнатенко І.І. Роль різних груп розчинених органічних речовин поверхневих вод в міграції металів.....	59

ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Балабух В.О., Однолєток Л.П., Кривошеїн О.О. Вплив зміни клімату на продуктивність озимої пшениці в Україні у періоди вегетаційного циклу	72
Швень Н.І., Митник Т.Г., Гальперіна Т.О. Аналіз багаторічних тенденцій динаміки температури ґрунту на глибинах під природним покривом.....	86
Пясецька С.І., Щеглов О.А. Тенденції у змінах кількості випадків відкладень ожеледі на території України протягом ожеледного періоду 2001-2015 рр.....	95
Гуда К. В., Остроградська О. С. Просторово-часові особливості розподілу гроз на території України та їх прогнозування: сучасний стан питання та перспективи розвитку.....	105
Осипов В.В. Обґрунтування математичної моделі для оцінки та регулювання забруднення поверхневих вод України біогенними елементами.....	112
Порядок подання і оформлення статей до періодичного наукового збірника “Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія”.....	122

C O N T E N T S

THE GENERAL METHODS ASPECTS OF INVESTIGATION

Khilchevskyi V.K. Functionally-genetic and hydrochemical classification of ponds	6
Moskalenko S., Manukalo V., Mytnyk T. Detecting the “creeping” heterogeneity in the series of meteorological elements (on the example of Kyiv meteorological station).....	11
Zabolotska T.M., Shpyg V.M. Climatological assessment of circulating processes in the northern hemisphere and their influence on temperature regime.....	23

HYDROLOGY. WATER RESOURCES

Loboda N.S., Kuza A.M. Anthropogenic load on the flow of the Great Kuyalnik River in the context of climate change	33
Hopchenko E.D., Kirilyuk O.S. The maximum modulus of a slope inflow during the period of spring flood in the territory of the Azov sea	42

HYDROCHEMISTRY. HYDROEKOLOGY

Osadcha N., Osadchyi V., Zinets I., Nabyvanets Y., Artemenko V. Field Experimental Studies of the Leaching of Humic Substances from the Peat Soils and Estimation of their Role in Dissolved Iron Transportation	48
Zhezherya V.A., Linnik P.N., Ignatenko I.I. The role of various groups of dissolved organic substances of surface water bodies in the migration of metals.....	59

GEOGRAPHICAL ASPECTS OF HYDROLOGICAL RESEARCH

Balabuh V.O., Odnoletok L.P., Kryvoshein O.O. Climate change impacts on the winter wheat productivity in Ukraine during vegetation cycle	72
Shven N., Mytnyk T., Galperina T. An analysis of long-term tendencies of dynamics of temperature of soil on depths under natural surface.....	86
Pyasetska S.I., Shcheglov A.A. Trends in changes in the of ice deposits in Ukraine for the period 2001-2015 relative standard climatic norm 1961-1990.....	95
Huda K. V., Ostrogradska O. S. Spatial and temporal distribution features of thunderstorms on the territory of Ukraine and their forecasting: the current state of the issue and development prospects.....	105
Osypov V.V. Substantiation of mathematical model for estimation and regulation of surface waters pollution in Ukraine by nutrients.....	112
The presenting and official registration of the articles for the scientific periodical collection «Hydrology, hydrochemistry and hydroecology».....	122

УДК 556.012:556.51

Хільчевський В.К.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ПРО ФУНКЦІОНАЛЬНО-ГЕНЕТИЧНУ ТА ГІДРОХІМІЧНУ КЛАСИФІКАЦІЇ СТАВКІВ

Ключові слова: ставок, гідрохімічна класифікація, гідрохімічне районування, мінералізація води, класифікація ставків.

Вступ. Ставки були і залишаються характерним елементом ландшафту України, важливим елементом інфраструктури кожного, навіть, невеликого населеного пункту. Всього в Україні нараховується понад 49,4 тис. ставків [3]. Ставки використовуються людиною в різноманітних цілях: для сільськогосподарського водопостачання, зрошення, розведення риби та водоплавної птиці, рекреації, для протипожежних заходів тощо. Крім основного функціонального призначення ставки впливають на мікроклімат прилеглої території, сприяють підвищенню вологості повітря, зниженню максимальних витрат води річок і тимчасових водотоків, зменшенню ерозійних проявів на території.

В той же час, в Україні відсутні дослідження гідрологічної ролі ставків, комплексні конструктивно-географічні узагальнення про їхнє значення як антропогенних утворень у ландшафтах різних природних зон, класифікаційні розробки. Узагальнюючі довідкові розробки обмежуються регіональною статистикою на рівні областей – сумарна кількість ставків, площа водного дзеркала, об'єм [14]. У роботі [3] характеристика цих показників доведена до рівня адміністративних районів (наведено сумарні показники в цілому для адмінрайонів). Також характерною ознакою роботи [3] є те, що у ній вперше в Україні зроблено розрахунки кількісних показників по ставках не лише для територіальних адміністративних одиниць, але й для районів річкових басейнів, визначених у 2016 р. основними гідрографічними одиницями для управління водними ресурсами держави згідно з положеннями Водної рамкової директиви Європейського Союзу [2, 16].

Більший розвиток, порівняно з гідрологічними, отримали гідрохімічні дослідження ставків. Зумовлено це прикладними завданнями - необхідністю мати чіткі уявлення про якість води ставків з позицій ведення місцевого рибного господарства. У свій час важливою узагальнюючою роботою стала монографія Г.Д. Коненко, у якій висвітлено загальні закономірності хімічного складу води ставків на території України [9]. Згодом у фундаментальній роботі Горєва Л.М., Пелешенка В.І. та Хільчевського В.К. з гідрохімії України окремий розділ було присвячено ставкам [5].

Інтерес до якості води ставків зберігається і в наш час. Основним стимулом таких досліджень слугує місцеве рибництво [1, 7, 11]. Також якість води викликає інтерес дослідників при вивченні екологічного стану ставків, які мають високий рекреаційний потенціал [6, 8, 10, 12], можливостей ревіталізації чи рекультивації технічних ставків у промислових зонах [4, 19, 20] чи урбанізованих територіях [15].

Основні результати. Надзвичайно важливим постає питання розроблення уніфікованої класифікації ставків. Але на сьогодні вирішити це питання не можливо.

Тому вчені йдуть шляхом створення класифікацій за окремими ознаками. Так, В.М. Мішон, досліджуючи ставки Центрального Чорнозем'я Росії, зробив систематизацію відомих раніше класифікацій ставків за певними ознаками, назвавши її функціонально-генетичною класифікацією ставків [13]. Систематизовано 6 класифікацій ставків, які у поясненні автор називає класами (за функціональним призначенням, способом спорудження, морфометричними характеристиками, геоморфологічними особливостями, еволюційно-віковими показниками, джерелами живлення та водного режиму). Всередині класів, виходячи зі специфічних особливостей, виділяються відповідні групи ставків, які поділяються на типи і за необхідності на підтипи. В цілому, систематизація класифікацій за функціонально-генетичними ознаками, виконана в роботі [13], є корисною науковою розробкою. Вона може стати у нагоді при дослідженнях ставків на території України.

Нижче наведено схему класифікацій за функціонально-генетичними ознаками, виконану в роботі [13].

I. Класифікація ставків за функціональним призначенням:

1. Комплексного призначення.
2. Сільськогосподарського і промислового водопостачання.
3. Зрошувальні.
4. Млинові.
5. Протиерозійні.
6. Господарсько-побутові.
7. Рибницькі: а) нагульні; б) маточні; в) нерестові; г) виросні.
8. Рекреаційні.
9. Протипожежні.
10. Ландшафтно-декоративні: а) присадибні; б) садово-паркові.
11. Ставки-відстійники.

II. Класифікація ставків за способом спорудження:

1. Загатні.
2. Обваловані (польдерні).
3. Вириті: а) ставки-копанки; б) кар'єрні.

III. Класифікація ставків за морфометричними характеристиками:

1. За об'ємом: а) дуже малі; б) малі; в) середні; г) великі.
2. За площею: а) малі; б) середні; в) великі; г) дуже великі.
3. За глибиною: а) мілководні; б) середньоглибокі; в) глибокі; г) дуже глибокі.

IV. Класифікація ставків за геоморфологічними особливостями:

1. За положенням у гідрографічній мережі: а) яружно-балочні; б) руслові.
2. За розташуванням на водозборі: а) одиничні; б) каскадні; в) віяльні; г) каскадно-віяльні.
3. За формою: а) вузькі стрічкоподібні; б) лінійно-втягнуті; в) видовженого трикутника; г) розгалужені; д) складні.

V. Класифікація ставків за еволюційно-віковими показниками:

1. За стадіями еволюції: а) становлення; б) стабільності; в) відмирання.
2. За віком: а) молоді; б) зрілі; в) середнього віку; г) старі; д) дуже старі.
3. За ступенем заростання: а) незарослі; б) слабко зарослі; в) зарослі; г) сильно зарослі.

VI. Класифікація ставків за джерелами живлення та водного режиму:

1. За джерелами водного живлення: а) снігове; б) ґрунтовими водами; в) змішане; г) штучне.
2. За рівневим режимом: а) нестійкий; б) підвищення рівня весною.
3. За характером регулювання стоку: а) повне; б) багаторічне; в) річне (сезонне).

4. За водоутримуючою здатністю: а) добра; б) середня; в) погана.

У цій схемі класифікації ставків відсутня гідрохімічна класифікація ставків. Особливо важливою є мінералізація води, яку необхідно враховувати, наприклад, при риборозведенні тих чи інших видів, рекреації, а також при узагальнюючих гідрохімічних дослідженнях ставків у різних регіонах [18]. Використовуючи досвід розробки відповідної класифікації поверхневих вод за мінералізацією [17], можна запропонувати наступну класифікацію, яка могла б доповнити функціонально-генетичну.

Гідрохімічна класифікація ставків за мінералізацією води. Ставки з водою, г/дм³: а) дуже прісною - $< 0,1$; б) прісною - $0,1-1,0$; в) слабкосолоною - $1,0-3,0$; г) середньосолоною - $3,0-10,0$; д) сильносолоною - $10,0-50,0$.

Ця класифікація ставків за мінералізацією води дає змогу охопити ставки не лише рибоводні та рекреаційного характеру, але й техногенні водойми, які необхідно ревіталізувати.

Гідрохімічне районування ставків на території України. У гідрохімічному районуванні ставків на території України, виконаному у 1971 р. Г.Д. Коненко, за основу було взято схожість води у ставках за максимальними (протягом вегетаційного періоду) значеннями мінералізації та характерним для цього періоду співвідношенням головних іонів [9]. За цим районуванням на території України було виділено 9 районів (без власної назви) поширення ставків зі схожим хімічним складом води. Відсутність назви у районів, ймовірно, пояснюється тим, що деякі з виділених районів мали «розірване» поширення.

Базуючись на наробках по районуванню, розробленому Г.Д. Коненко [9], використовуючи досвід роботи над довідником з водного фонду України по штучних водоймах у 2014р. [3], пропонується наступне удосконалене гідрохімічне районування ставків з виділенням 13 районів на території України зі схожими умовами формування хімічного складу ставкових вод (на 4 райони більше, ніж у районуванні 1971 р.).

1. **Північно-Поліський район** – охоплює ставки в північних районах Полісся, розташованих серед заболочених водозборів. У таких ставках утворюються води з високою концентрацією забарвлених органічних речовин. Мінералізація води у межах не перевищує $100-150$ мг/дм³, а в період весняної повені - $26-30$ мг/дм³. У воді вміст головних іонів (HCO_3^- , Ca^{2+}) коливається в широких межах. Нерідко трапляються слабокислі води з $\text{pH} = 6,5-6,8$.

2. **Поліський район** - охоплює ставки й малі водойми Західного, Центрального і Східного Полісся, склад води в яких формується під впливом багатих на карбонати відкладів верхньокрейдової і третинної систем та антропогенних відкладів лесу. Мінералізація води в цих ставках протягом вегетаційного періоду коливається переважно в межах $200-300$ мг/дм³, а в повінь - $100-200$ мг/дм³; в іонному складі виразно переважають HCO_3^- та Ca^{2+} .

3. **Прикарпатський район** – охоплює ставки Прикарпаття, склад води в яких формується під впливом флішових порід (піщаник, глини, мергель, вапняки). Мінералізація ставкової води протягом меженного періоду коливається переважно в межах до 300 мг/дм³, а в повінь - $100-200$ мг/дм³; в іонному складі переважають HCO_3^- та Ca^{2+} .

4. **Карпатський район** - охоплює ставки Карпат і Закарпаття, склад води в яких формується в умовах високого зволоження та поширення піщано-глинистих флішових порід. Мінералізація води в ставках влітку не перевищує 200 мг/дм³. Склад води виразно гідрокарбонатно-кальцієвий. Від водойм першого району відрізняються меншим вмістом у воді органічних речовин.

5. **Лісостеповий район** - охоплює більшість ставків лісостепової зони України, склад води в яких утворюється, як і в річках, під впливом карбонатних порід:

мертелів, вапняків і багатих на карбонати суглинків. Мінералізація води в межах становить 300-700 мг/дм³, а в повінь - 100-300 мг/дм³. Склад води гідрокарбонатно-кальцієвий.

6. *Лівобережно-придніпровський район* - охоплює ставки та водойми Лівобережного Придніпров'я, водозбори яких характеризуються виразним гідрокарбонатним засоленням підземних вод. У цьому районі склад ставкової води відрізняється від більшості ставків лісостепової зони підвищеною лужністю. Загальна мінералізація води в цих ставках у межах досягає 1000 мг/дм³, а за іонним складом вода належить до гідрокарбонатного класу групи магнію-натрію I типу. Серед аніонів переважають HCO³⁻, серед катіонів - Mg²⁺ та Na⁺ над Ca²⁺.

7. *Північно-степовий район* - охоплює ставки з атмосферно-грунтовим живленням на водозборах північної частини степової зони. Склад води в них характеризується в межах переважанням іонів SO₄²⁻, а в повінь - незначним переважанням HCO³⁻. Мінералізація води коливається в межах від 700 до 2000 мг/дм³, а в повінь – від 200 до 500 мг/дм³. До цього району за складом води належать водойми Криворізького басейну, розташовані у верхів'ї р. Інгулець.

8. *Донецько-приазовський район* - охоплює води у ставках і водоймах, розташованих у середній і нижній течії річок Донецького кряжу та Приазов'я. Склад води у ставках у межах цього району утворюється під сильним впливом солених порід пермської системи та пов'язаних з ними шахтних вод. Мінералізація води у межах досягає 2-5 г/дм³; у повінь, за достатнього водообміну (після скидання засолених зимових вод), вона може зменшуватися до 500-350 мг/дм³.

Склад води в межах виразно сульфатний та сульфатно-хлоридний натрієвий; у повінь - гідрокарбонатно-сульфатний та сульфатно-гідрокарбонатно-кальцієво-натрієвий. Ставкова вода характеризується високою твердістю (загальна твердість становить 4-8 ммоль/дм³ у повінь та понад 9 ммоль/дм³ - у межах).

9. *Південно-степовий район* - охоплює ставки у південній приморській частині степової зони. Склад води в них формується під впливом морського засолення. Це визначає високу мінералізацію ставкових вод (понад 5 г/дм³) та значне переважання в їхньому сольовому складі хлориду натрію. В літній період вони належать до хлоридного класу групи натрію, і лише в період високих паводків мінералізація води в них зменшується до 500-600 мг/дм³. Склад води, при цьому, змінюється з хлоридного на сульфатний.

10. *Присиваський район* - охоплює ставки безстічної рівнини Присивашся. Цей район характеризується найбільшим морським засоленням ставків; склад води в них - хлоридно-натрієвий, за співвідношенням іонів наближається до ропи в солоних озерах Криму. Після обводнення цього району водами Північно-Кримського каналу ставкові води можуть значно опріснюватися. Проте, навіть при значному розбавленні їх дніпровською водою (до 500-700 мг/дм³) характер їхнього іонного складу може залишитися попереднім - хлоридно-натрієвим.

11. *Керченський район* - охоплює ставки Керченського півострова. На склад води впливає морське засолення, що зумовлює високу мінералізацію ставкових вод (понад 4,5 г/дм³) та з переважання в їхньому складі хлориду натрію. В літній період вони належать до хлоридного класу групи натрію, і лише в період високих паводків мінералізація води в них зменшується до 550-600 мг/дм³. Склад води змінюється з хлоридного на сульфатний.

12. *Передгірно-кримський район* – охоплює ставки передгірної частини Криму, що живляться сульфатними підземними водами. Склад води в них характеризується в межах переважанням іонів SO₄²⁻, а в повінь - незначним переважанням HCO³⁻. Мінералізація води коливається в межах від 650 до 1900 мг/дм³, а в повінь – від 230 до 600 мг/дм³.

13. *Гірсько-кримський район* – охоплює ставки гірської частини Криму, формування хімічного складу в яких відбувається під впливом вапняків і мергелів, з яких складається Кримська яйла. Мінералізація води в межах становить 350-700 мг/дм³, а в повінь - 150-300 мг/дм³. Склад води гідрокарбонатно-кальцієвий: HCO³⁻ та Ca²⁺.

Висновки.

1. Розглянута за літературними джерелами загальна схема класифікацій ставків за функціонально-генетичними ознаками може застосовуватися для дослідження ставків України. Але її можна розвивати і доповнювати.

2. Запропонована автором гідрохімічна класифікація ставків за мінералізацією вод (від ставків з дуже прісною водою – до ставків з сильносолonoю водою), якою можна доповнити схему класифікацій за функціонально-генетичними ознаками, дає змогу охопити ставки не лише рибоводні та рекреаційного характеру, але й техногенні водойми, які необхідно ревіталізувати.

3. В удосконаленому автором гідрохімічному районуванні ставків України виділено 13 районів зі схожими умовами формування хімічного складу ставкових вод (Північно-поліський, Поліський, Прикарпатський, Карпатський, Лісостеповий, Лівобережно-придніпровський, Північно-степовий, Донецько-приазовський, Південно-степовий, Присиваський, Керченський, Передгірно-кримський, Гірсько-кримський), що сприятиме ефективності досліджень ставків та реалізації проектів їхнього практичного використання.

Список літератури

1. *Бабань В.П.* Оцінювання ставів рибогосподарського призначення басейну Південного Бугу Вінницької області за гідрохімічними показниками. Збалансоване природокористування, 2015. № 2. С. 86-89. URL: http://natureus.org.ua/repec/archive/2_2015/18.pdf. 2. *Водний кодекс України* // Відомості Верховної Ради України. 1995. №24, ст.189 (зі змінами та доповненнями 2000-2016 рр.). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>. 3. *Водний фонд України: Штучні водойми - водосховища і ставки: Довідник* / За ред. В.К. Хільчевського, В.В. Гребеня. К. : Інтерпрес, 2014. 192 с. 4. *Гайдін А.М.* Екологічні проблеми районів видобутку калійних солей та сірки. Екологія та природокористування, 2013. Вип. 16. С. 127-131. 5. *Горев Л.М., В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський* Гідрохімія України. К.: Вища школа, 1995. 307 с. 6. *Екологічний стан київських водойм* / С.О. Афанасьєв, Т.С. Багацька, Л.Г. Огляницька та ін. К.: Фітосоціоцентр, 2010. 256 с. 7. *Євтушенко М.Ю., Хижняк М.І.* Основні підходи до оцінки стану водойм рибогосподарського призначення на основі біомоніторингу. Гідробіологічний журнал, 2012. Т. 48, № 1. С. 57-64. 8. *Жежеря В.А., Батог С.В., Линник П.М., Жежеря Т.П.* Гідролого-гідрохімічна характеристика Китаївських ставків (м. Київ). Наукові праці УкрГМІ, 2015. Вип. 267. С. 64-81. URL: http://uhmi.org.ua/pub/np/267/Zhezherya_Batoh_Linnik_Zhezherya_257.pdf. 9. *Коненко Г.Д.* Гідрохімія ставків і малих водоймищ України. К. : Наукова думка, 1971. 311 с. 10. *Кравець М.О., Кутлахмедов Ю.О.* Моделювання радіоекологічних процесів у каскаді Голосіївських ставків. Наукоємні технології, 2014. № 3(23). С. 359-363. 11. *Курбатова І. М., Цедик В. В.* Якість води водойм рибогосподарського призначення та її вплив на розвиток ікри коропа (*Syrprinus carpio* L.). Природа Західного Полісся та прилеглих територій, 2012. № 9. С. 224-228. 12. *Лобода Н. С., Гриб О.М., Яров Я.С., Гриб К.О.* Гідрохімічні показники та якість вод водотоків та водойм південно-східної частини водозбору Куяльницького лиману (балки Гільдендорфська, Корсунцівська, озера пересипу). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2016. Т. 3 (42). С. 42-49. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2016_3_6. 13. *Мишон В.М.* Функционально-генетическая классификация прудов Центрального Черноземья. Вестник Воронежского государственного университета. Серия : География. Геоэкология, 2003. Т.2. С.23-32. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/geograph /2003/02/mishon.pdf>. 14. *Паламарчук М.М.* Водний фонд України: Довідковий посібник - 2-е вид., доп. К.: Ніка-Центр, 2006. 320 с. 15. *Хільчевський В. К.* Гідроекологічні проблеми ревіталізації річок на території міських

агломерацій – міжнародний та український досвід. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2017. Т. 2 (45). С. 6-13. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2017_2_3. **16. Хільчевський В.К., Гребінь В.В.** Гідрографічне та водогосподарське районування території України, затверджене у 2016 р. – реалізація положень ВРД ЄС. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2017. Т. 1(44). С. 8-20. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2017_1_3. **17. Хільчевський В.К.** До питання про класифікацію природних вод за мінералізацією. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2003. Т. 5. С. 11-18. **18. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М.** Основи гідрохімії. К. : Ніка-Центр, 2012. 312 с. **19. Шерстюк Н.П.** Випаровування та концентрування розчинених речовин у воді ставків Криворіжжя. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2012. Т. 1(26). С. 107-116. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2012_1_15. **20. Шерстюк Н.П., Хільчевський В. К.** Особливості гідрохімічних процесів у техногенних та природних водних об'єктах Кривбасу. Дніпропетровськ : Акцент, 2012. 263 с.

**Про функціонально-генетичну та гідрохімічну класифікації ставків
Хільчевський В.К.**

За літературними джерелами наведено схему класифікацій ставків за функціонально-генетичними ознаками. Її запропоновано доповнити гідрохімічною класифікацією ставків за мінералізацією води. Удосконалено також гідрохімічне районування ставків України з виділенням 13 районів їхнього поширення зі схожими умовами формування хімічного складу ставкових вод всередині району.

Ключові слова: ставок, гідрохімічна класифікація, гідрохімічне районування, мінералізація води, класифікація ставків.

**О функционально-генетической и гидрохимической классификации прудов
Хильчевский В.К.**

По литературным источникам приведена схема классификаций прудов по функционально-генетическим признакам. Ее предложено дополнить гидрохимической классификацией прудов по минерализации воды. Усовершенствовано также гидрохимическое районирование прудов Украины с выделением 13 районов их распространения с похожими условиями формирования химического состава прудовых вод внутри района.

Ключевые слова: пруд, гидрохимическая классификация, гидрохимическое районирование, минерализация воды, классификация прудов.

**Functionally-genetic and hydrochemical classification of ponds
Khilchevskyi V.K.**

On literary sources a chart over of classifications of ponds is brought on functionally-genetic signs. She is suggested to complement new hydrochemical classification. Classification of ponds is also offered on total dissolved solids of water. Hydrochemical districting of ponds of Ukraine is offered with a selection 13 districts of their distribution.

Keywords: pond, hydrochemical classification, hydrochemical districting, total dissolved solids, classification of ponds.

Надійшла до редколегії 23.05.2017

УДК 551.50

Москаленко С.О.¹, Манукало В.О.², Митник Т.Г.²

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка

²Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, м. Київ

**Виявлення «повзучої» неоднорідності в рядах
метеорологічних величин (на прикладі даних спостережень
ОГМС КИЇВ)**

Ключові слова: моніторинг клімату, реперна кліматична станція, вплив міста, «повзуча» неоднорідність.

Вступ. Для проведення моніторингу та досліджень клімату, виявлення його природних коливань та антропогенного впливу велике значення мають дані інструментальних вимірювань, які проводять на реперних кліматичних станціях

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2017. № 3 (46)

гідрометеорологічної служби (далі – РКС) [1]. Ці дані використовують для оцінювання метеорологічних параметрів, які формують кліматичні характеристики на території, що оточує станції. Тому дуже важливо періодично проводити перевірку репрезентативності даних спостережень, особливо у випадках, коли станції розташовані в межах великих урбанізованих територій, які можуть впливати на метеорологічні умови. Зокрема, рекомендовано періодично перевіряти ряди метеорологічних спостережень на наявність так званої «повзучої» неоднорідності. Під цим терміном розуміють порушення однорідності в рядах виміряних метеорологічних величин унаслідок змінювання метеорологічних умов під впливом великого міста. Зараз для перевірки «повзучої» неоднорідності в гідрометеорологічних організаціях використовують рекомендації нормативного документа [2] 1978 року. Однак ці рекомендації викладено недостатньо чітко, без наведення детальних прикладів розрахунків.

Тому в Українському гідрометеорологічному інституті в рамках наукової тематики з розроблювання нормативного документа «Методичні вказівки. Оцінювання репрезентативності реперних кліматичних станцій» було проведено дослідження з уточнення методичного підходу щодо оцінювання «повзучої» неоднорідності в рядах метеорологічних величин та наведено детальні приклади проведення цієї роботи для умов України.

Метою цієї статті є представлення результатів досліджень із уточнення рекомендацій з оцінювання «повзучої» неоднорідності в рядах метеорологічних величин (далі – «повзучої» неоднорідності).

Виклад основного матеріалу.

Вихідні дані та методичні підходи. Для виявлення «повзучої» неоднорідності використано методику, опубліковану в роботах [2, 5], яка полягає в побудові «східчастого тренду» та оцінюванні статистичної значущості зміни рівня ряду. На підставі цього можна зробити висновок, що зміна рівня ряду викликана антропогенним чинником і не пов'язана із природною мінливістю метеорологічних процесів. Одночасно аналізують не самі ряди метеорологічних елементів, а ряди різниць або відношень метеорологічних елементів, виміряних на станції, розташованій у межах міста, та на найближчій станції, де антропогенний вплив на метеорологічні умови можна вважати мінімальним. За наявності «повзучої» неоднорідності в хронологічному ряді метеорологічної величини повинні спостерігатися декілька порівняно невеликих, але зростаючих чи спадаючих за значеннями однорідних східчастих ділянок.

У процесі оцінювання наявності «повзучої» неоднорідності в рядах метеорологічних величин можна виділити два основних етапи.

На першому етапі визначають зміни рівня ряду метеорологічної величини в часовому перебігу. Ряд ділять на проміжки, у межах яких процес зміни різниць у часі можна вважати однорідним.

На другому етапі визначають, наскільки зміни різниць між однорідними ділянками статистично значимі.

Порядок розрахунків з оцінювання наявності «повзучої» неоднорідності розглянемо на прикладі аналізу рядів різниць середньомісячних значень температури повітря та швидкості вітру за липень і січень за даними спостережень Об'єднаної гідрометеорологічної станції (ОГМС) Київ (міська станція), а також найближчих до неї станцій, що розташовані поза містом: ОГМС Вишгород та метеостанції Бориспіль (станції розташовані від Києва на відстані 24 км та 32 км відповідно) (табл. 1).

Виділення однорідних ділянок у послідовностях метеорологічних величин виконують за такою схемою. Члени хронологічного ряду різниць (табл. 1) нумерують

від 1 до N (у нашому випадку від 1 до 30). Весь діапазон значень різниць розбивають на рівні за величиною градації.

Таблиця 1. Середні місячні значення температури повітря та швидкості вітру за липень періоду 1981-2010 рр. у місті (ОГМС Київ) та за містом (ОГМС Вишгород)

Рік	Середньомісячні значення за липень							
	температура повітря, °C				швидкість вітру, м/с			
	№ з. п.	у місті Києві	за містом Вишгород	різниця між значеннями	№ з. п.	у місті Києві	за містом Вишгород	різниця між значеннями
1981	1	20,8	21	-0,2	1	2,3	4,5	-2,2
1982	2	18,5	18,8	-0,3	2	2,2	4,0	-1,8
1983	3	19,2	19,4	-0,2	3	2,1	4,1	-2,0
1984	4	17,6	17,9	-0,3	4	2,0	4,0	-2,0
1985	5	17,9	18,1	-0,2	5	2,3	4,6	-2,3
1986	6	19	19,3	-0,3	6	2,4	4,4	-2,0
1987	7	20,3	20,7	-0,4	7	1,9	3,8	-1,9
1988	8	21,7	22,1	-0,4	8	1,9	4,6	-2,7
1989	9	19,4	19,9	-0,5	9	2,1	3,9	-1,8
1990	10	18,4	18,7	-0,3	10	2,3	3,8	-1,5
1991	11	21,2	21,4	-0,2	11	2,4	4,7	-2,3
1992	12	20,7	20,8	-0,1	12	2,3	3,9	-1,6
1993	13	17,9	17,9	0	13	2,7	3,5	-0,8
1994	14	21,1	21,2	-0,1	14	2,2	3,8	-1,6
1995	15	20,5	20,7	-0,2	15	2,3	3,9	-1,6
1996	16	19,3	19,2	0,1	16	2,0	3,1	-1,1
1997	17	19,4	19,6	-0,2	17	1,7	3,4	-1,7
1998	18	19,5	19,5	0	18	2,2	2,6	-0,4
1999	19	22,7	22,8	-0,1	19	2,4	4,4	-2,0
2000	20	19,1	19,4	-0,3	20	2,2	3,4	-1,2
2001	21	24,6	24,8	-0,2	21	1,6	2,4	-0,8
2002	22	23,9	23,9	0	22	2,0	3,8	-1,8
2003	23	21,3	21,7	-0,4	23	1,9	3,0	-1,1
2004	24	20,5	20,6	-0,1	24	1,7	3,1	-1,4
2005	25	21,4	21,6	-0,2	25	1,4	2,6	-1,2
2006	26	20,9	21,4	-0,5	26	2,2	3,2	-1,0
2007	27	21,3	21,5	-0,2	27	2,7	3,4	-0,7
2008	28	20,8	21,3	-0,5	28	2,7	3,7	-1,0
2009	29	21,7	21,9	-0,2	29	2,3	4,0	-1,7
2010	30	24,4	24,9	-0,5	30	1,8	2,9	-1,1

Для наближеної оцінки необхідної кількості градацій n_x , на яку розбивається сукупність величин, використано формулу [3]:

$$n_x = \sqrt{N} , \quad (1)$$

де N – кількість членів ряду. У нашому випадку, для ряду різниць за $N = 30$, діапазон значень різниць може бути поділено на 5 градацій.

Маючи амплітуду змін різниць (величину між найбільшою та найменшою різницею досліджуваних рядів метеорологічних величин на двох метеостанціях), визначають межі різниць для кожної градації. Потім здійснюють розподіл змін різниць за градаціями. При цьому в кожній градації, крім кількості випадків попадання в цю градацію, вказуємо в хронологічному порядку самі значення різниць, що потрапили в градацію [2, 3]. Таким чином складають першу розрахункову таблицю розподілу різниць за градаціями. У табл. 2 і 3 наведено розподіл за градаціями різниць для середніх температур повітря та для середніх швидкостей вітру за липень за період 1981-2010 рр.

Далі значення різниць, що потрапили в цю градацію, замінюють на відповідні їм номери років і заносять до табл. 4 та 5 (верхній рядок кожної градації).

Таким чином, у кожній градації отримують групу номерів значень ряду, які відповідають значенням різниць середніх місячних температур повітря (табл.4) чи середніх місячних швидкостей вітру (табл.5). Потім у кожній градації обчислюють різниці (або відстані) між сусідніми номерами значень ряду (ΔN), які заносять також до табл. 4 та 5 (нижній рядок градації).

При цьому відлік різниць у кожній градації починають від першого номера так, що перша різниця в кожній градації є різницею між номером $N = 1$ і першим номером, що потрапив до цієї градації. Останню різницю в кожній градації обчислюють між останнім номером усієї сукупності різниць й останнім номером цієї градації.

Якщо виявиться, що два сусідніх номери градації віддалені далеко один від одного і різниця між ними більша деякого критичного значення, то це дає підставу вважати, що вони належать до двох різних стаціонарних ділянок, тобто між цими різницями спостерігається розрив. Критичні значення різниць для кожної градації розраховують за формулою:

$$\Delta_{кр} = \frac{\lambda_{кр} \cdot N_K}{m_K}, \quad (2)$$

де N_K – останній номер градації; m_K – кількість випадків у градації; $\lambda_{кр}$ – статистика Колмогорова [2, 3, 6].

За стаціонарності ряду в кожній градації розподіл відстаней між номерами повинен підкорятися закону Пуассона. І, навпаки, відмінності розподілу різниць від цього закону свідчать про наявність нестационарності, тобто про зміни рівня ряду. Приймаючи ймовірність перевищення 99,99% (що відповідає рівню значущості 0,01 %) за таблицями розподілу А.Н. Колмогорова, знаходимо відповідне цьому рівню значення статистики $\lambda_{кр} = 0,33$ [6, 7]. У табл. 6 та 7 для наших прикладів наведено розраховані критичні значення відстаней між номерами для кожної градації.

Для різниць, що перевищують критичні значення, виписують пари номерів для кожної градації метеорологічних величин, які дають ці різниці (табл. 8 та 9).

Таблиця 2. Розподіл за градаціями різниць середніх температур повітря за липень за період 1981-2010 рр. у місті (Київ) та за містом (Вишгород)

№ градації	Межі градацій різниць, °С		Значення різниць середніх температур повітря за липень, °С										Кількість випадків у градації
	верхня	нижня	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,2	-0,2	-0,2	
1	-0,5	-0,39	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5				7
2	-0,38	-0,27	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3					5
3	-0,26	-0,15	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	10
4	-0,14	-0,03	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1							4
5	-0,02	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0							4

Таблиця 3. Розподіл за градаціями різниць середніх швидкостей вітру за липень за період 1981-2010 рр. у місті (Київ) та за містом (Вишгород)

Градації №	Межі градацій різниць, м/с		Значення різниць середніх швидкостей вітру за липень, м/с										Кількість випадків у градації
	верхня	нижня											
1	-2,7	-2,3	-2,3	-2,7	-2,3								3
2	-2,2	-1,8	-2,2	-1,8	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,8	-2,0	-1,8		9
3	-1,7	-1,3	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,4	-1,7				7
4	-1,2	-0,8	-0,8	-1,1	-1,2	-0,8	-1,1	-1,2	-1,0	-1,0	-1,1		9
5	-0,7	-0,4	-0,4	-0,7									2

Таблиця 4. Розподіл номерів років та різниць між ними за градаціями значень середньої температури повітря за липень

№ градації	Номери років N (верхній рядок градації) та часові відстані (різниця) в кількостях років ΔN (нижній рядок градації)																			
1		7		8		9		14		23		26		28		30				
	6		1		1				3				2			0				
2		2		4		6				10		20								
	1		2		2		4		10				10							
3		1		3		5				11		15		17		21		25		27
	0		2		2		6		4				2		4		2		2	29
4		12		14		19				24										
	11		2		5		5		6											
5		13		16		18				22										
	12		3		2		4		8											

Таблиця 5. Розподіл номерів років та різниць між ними за градаціями значень середньої швидкості вітру за липень

№ градації	Номери років N (верхній рядок градації) та часові відстані (різниця) в кількостях років між ними ΔN (нижній рядок градації)																			
1		5		8		11														
	4		3		3				19											
2		1		2		3				4		6		7		9		19		22
	0		1		1		1		1		2		1		2		10		3	8
3		10		12		14				15				24		29				
	9		2		2		1		1		2		7		5		1			
4		13		16		20				21				25		26		28		30
	12		3		4		1		1		2		2		1		2		2	0
5		18		27																
	17		9		3															

Таблиця 6. Визначення критичних значень відстаней між номерами для кожної градації різниць середніх температур повітря за липень

Критичні значення різниць	Номери градації				
	1	2	3	4	5
$\Delta_{кр}$	4	3	3	4	4

Таблиця 7. Визначення критичних значень відстаней між номерами для кожної градації різниць середніх швидкостей вітру за липень

Критичні значення різниць	Номери градації				
	1	2	3	4	5
$\Delta_{кр}$	2	2	4	3	6

Таблиця 8. Пари номерів різниць середніх температур повітря за липень періоду 1981-2010 рр. у місті (Київ) та за містом (Вишгород), що перевищують критичні значення відстаней між ними для кожної з градацій

№ градації	Критичні значення	Пари номерів років, що перевищують критичні значення відстаней між ними			
1	4	1↔7	9↔23		
2	3	6↔10	10↔20	20↔30	
3	3	5↔11	11↔15	17↔21	21↔25
4	4	1↔12	14↔19	19↔24	24↔30
5	4	1↔13	22↔30		

Таблиця 9. Пари номерів різниць середніх швидкостей вітру за липень періоду 1981-2013 рр. у місті (Київ) та за містом (Вишгород), що перевищують критичні значення відстаней між ними для кожної з градацій

№ градації	Критичні значення	Пари номерів років, що перевищують критичні значення відстаней між ними			
1	2	1↔5	5↔8	8↔11	11↔30
2	2	9↔19	19↔22	22↔30	
3	4	1↔10	17↔24	24↔29	
4	3	1↔13	16↔20		
5	6	1↔18	18↔27		

Далі розглядають пару номерів з найменшим номером ліворуч і вибирають пари номерів з інших градацій, номери ліворуч яких не перевищують значення праворуч у цій градації, тобто вибирають пари, що перетинають дану. Із усіх номерів пар, розташованих праворуч, що перетинають дану, вибирають найменший номер року, у якому спостерігалася перша зміна рівня ряду (тобто, номер року, на якому закінчується перша однорідна частина ряду). Потім вибирають наступну найближчу до цієї частини ряду пару номерів і до неї підбирають пари, що її перетинають. Таким чином виявляють другий номер, де змінюється рівень ряду (межа другої однорідної частини).

Ця процедура повторюється доти, поки не буде вичерпано весь ряд. У табл. 10 та 11 показано результат виділення однорідних частин ряду різниць відповідно для середніх температур повітря та швидкостей вітру в місті (Київ) та за містом (Вишгород) за липень періоду 1981-2010 рр.

Таблиця 10. Виділення однорідних частин ряду різниць середніх температур повітря за липень у місті (Київ) та за містом (Вишгород) періоду 1981-2010 рр.

Пари різниць	Пари, що перетинають задану пару різниць								Однорідні частини ряду
1↔7	6↔10	5↔11	1↔12	1↔13					1↔6
9↔23	6↔10	20↔30	5↔11	21↔25	1↔12	19↔24	1↔13	22↔30	7↔9
11↔15	10↔20	1↔12	14↔19	1↔13					10↔11
14↔19	11↔15	17↔21							12↔14
17↔21	10↔20	20↔30	14↔19	19↔24					15↔18
19↔24	9↔23	20↔30	17↔21	21↔25	22↔30				19↔20
22↔30	9↔23	20↔30	21↔25	19↔24	24↔30				21↔22
24↔30	21↔25	22↔30							23↔24
									25↔30

Таблиця 11. Виділення однорідних частин ряду різниць середніх швидкостей вітру за липень у місті (Київ) та за містом (Вишгород) періоду 1981-2010 рр.

Пари різниць	Пари, що перетинають задану пару різниць					Однорідні частини ряду
1↔5	1↔10	1↔13	1↔18			1↔4
8↔11	9↔19	1↔10				5↔9
11↔30	9↔19	1↔13	1↔18			10↔12
16↔20	9↔19	19↔22	17↔24	1↔18	18↔27	13↔17
19↔22	16↔20					18↔19
22↔30	17↔24	18↔27				20↔23
24↔29	18↔27					24↔26
						27↔30

Треба зауважити, що під час виділення однорідних частин ряду різниць сам рік, де відмічено порушення однорідності, не входить в частину ряду і стає початком наступної стаціонарної ділянки [3].

Наведений вище метод виявлення зміни ряду, викладений в [2], є досить громіздким, тому в НД «Методичні вказівки. Оцінювання репрезентативності реперних кліматичних станцій» ми рекомендували простіший графічний метод, про який детально викладено в [3].

Зазначимо, що при порівняльних розрахунках за обома методами отримано ті ж самі результати.

Осереднюючи значення різниць однорідних частин ряду, одержують східчасту функцію їх змін. У нашому випадку, для ряду різниць середніх температур повітря за липень у місті (Київ) та за містом (Вишгород) за період 1981-2010 рр. осереднюють значення різниць між номерами років 1↔6, 7↔9, 10↔11, 12↔14, 15↔18, 19↔20, 21↔22, 23↔24, 25↔30. А для ряду різниць середніх швидкостей вітру осереднюємо значення різниць між номерами років 1↔4, 5↔7, 8↔9, 10↔12, 13↔17, 18↔19, 20↔23, 24↔26, 27↔30.

Відповідно отримують східчасті функції змін однорідних частин ряду, що представлено графічно на рис. 1 та 2.

Отримані результати та їх обговорення. Аналогічні розрахунки для дослідження наявності «повзучої» неоднорідності було виконано також для рядів середньомісячних значень тиску водяної пари та сум опадів за липень і січень.



Рис. 1 Хід різниць та східчаста функція однорідних частин ряду середньомісячних температур повітря за липень

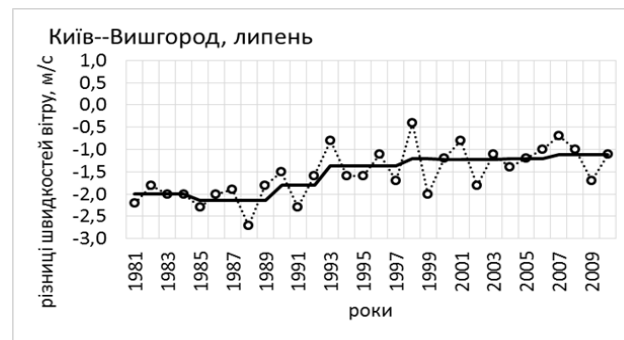


Рис. 2 Хід різниць та східчаста функція однорідних частин ряду середньомісячних швидкостей вітру за липень

Результати виділення однорідних ділянок різниць під час дослідження наявності «повзучої» неоднорідності в рядах метеорологічних елементів, що досліджено, за даними спостережень ОГМС Київ (міська станція) та найближчих до неї метеорологічних станцій, що розташовані поза містами Вишгород і Бориспіль, представлено на рис. 3-6.

Аналіз східчастих функцій однорідних частин рядів ходу різниць метеорологічних елементів у місті (Київ) та за містами (Вишгород, Бориспіль) за липень і січень показав, що «повзуча» неоднорідність присутня лише в хронологічному ряду різниць середньомісячної швидкості вітру за липень, що вимірювали в Києві та у Вишгороді (рис. 5). Це підтверджується наявністю послідовно зростаючих за значеннями однорідних східчастих ділянок.

Відповідно до рекомендацій [3, 5] було проведено перевірку статистичної значущості отриманих значень різкої зміни різниць у даних середньомісячної швидкості вітру в 1993 році за допомогою критерію Стюдента.

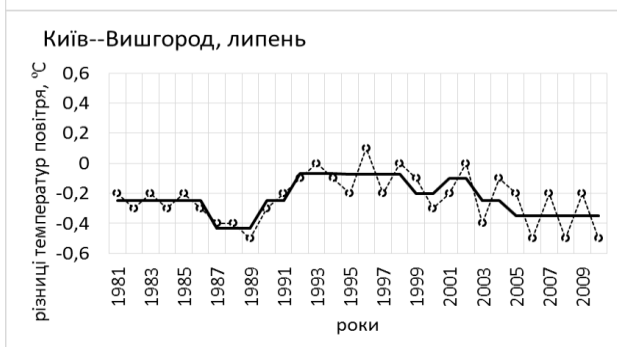
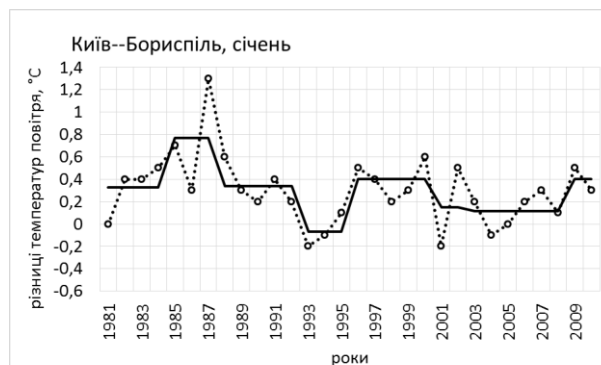
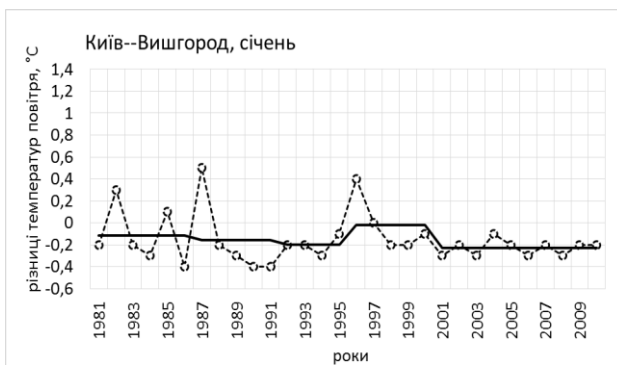


Рис. 3. Хід різниць і східчаста функція однорідних частин ряду середньомісячних температур повітря за липень і січень періоду 1981-2010 рр. у місті (Київ) та за містами (Вишгород, Бориспіль)



Рис. 4. Хід різниць та східчаста функція однорідних частин ряду середньомісячного тиску водяної пари за липень і січень періоду 1981-2010 рр. у місті (Київ) та за містами (Вишгород, Бориспіль)

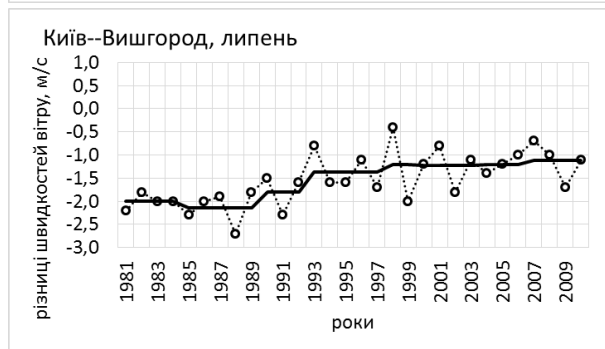


Рис. 5. Хід різниць і східчаста функція однорідних частин ряду середньомісячної швидкості вітру за липень і січень періоду 1981-2010 рр. у місті (Київ) та за містами (Вишгород, Бориспіль)

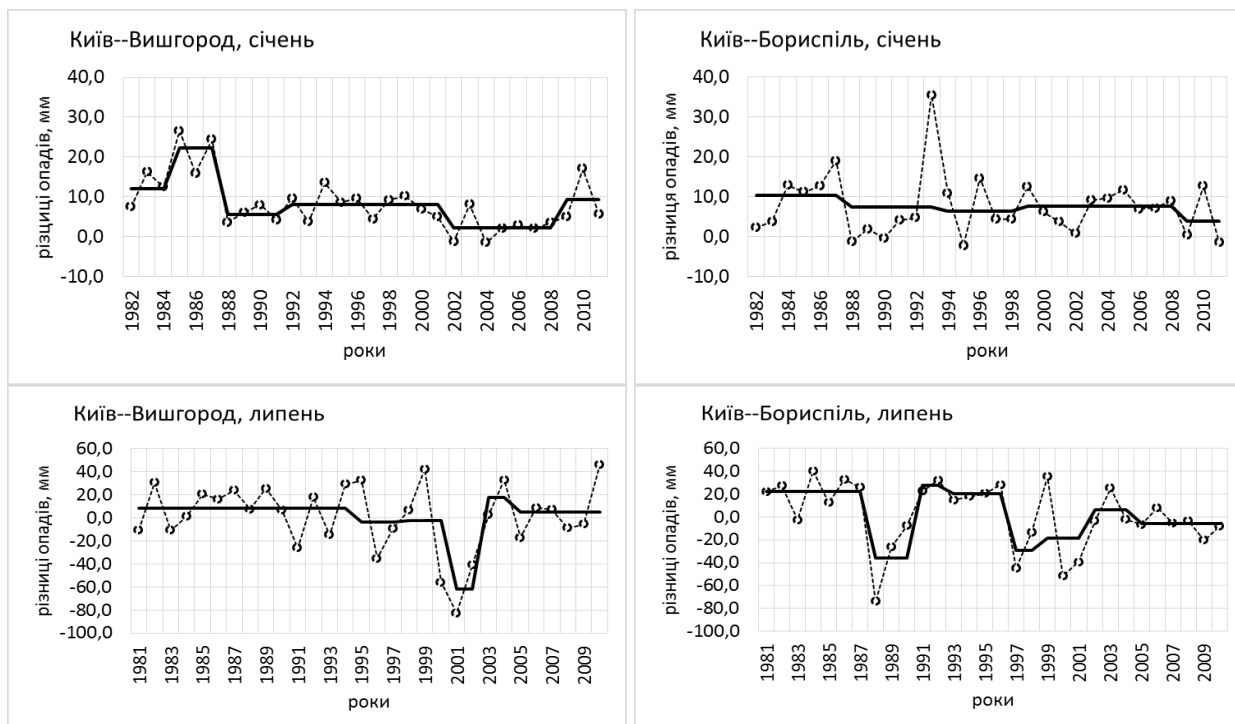


Рис. 6. Хід різниць і східчаста функція однорідних частин ряду середньомісячної суми опадів за липень і січень періоду 1981-2010 рр. у місті (Київ) та за містами (Вишгород, Бориспіль)

У табл. 11 подано вихідні дані та результати розрахунку вибіркової статистики критерію t для ряду різниць липневих середньомісячних швидкостей вітру для 1993 року, в якому відбулася зміна рівня.

Таблиця 11. Вихідні дані та результати визначення критерію Стюдента t для ряду різниць липневих середньомісячних швидкостей вітру за період 1981-2010 рр.

Розрахункові характеристики та позначки		Рік зміни рівня ряду
		1993
Обсяг ряду (кількість) років	N	30
Номер року, в якому відбулася зміна рівня	N_{n+1}	14
Кількість членів частини ряду обсягом від 1 до N_n	n	13
Кількість членів частини ряду обсягом від N_{n+1} до N	m	17
Середні значення частини ряду обсягом n	$\bar{x}$	-1,92
Середні значення частини ряду обсягом m	$\bar{y}$	-1,26
Середньоквадратичне відхилення частини ряду обсягом n	σ_x	0,443
Середньоквадратичне відхилення частини ряду обсягом m	σ_y	0,417
Вибіркова статистика	t	4,31

Значення розрахованої статистики критерію Стюдента $t = 4,31$ порівнюємо з критичним значенням $t_{кр}$, яке знаходимо за таблицями [6]. За рівня значущості $2\alpha = 5\%$ для ступенів вільності 28 $t_{кр}$ дорівнює 2,05. Значення статистики t виявилось більше ніж критичне значення критерію Стюдента ($4,31 > 2,05$). Це означає, що

зміни різниць липневих середньомісячних швидкостей вітру в 1993 році є статистично значимими.

Висновки та рекомендації. Запропоновані в нормативному документі «Методичні вказівки. Оцінювання репрезентативності реперних кліматичних станцій» рекомендації дозволяють спростити процес розрахунків для виявлення «повзучої» неоднорідності в рядах метеорологічних величин порівняно з чинним нормативним документом [2].

Результати перевірки різниць середньомісячних значень метеорологічних елементів за липень і січень за даними спостережень ОГКС Київ і найближчих до неї станцій, що розташовані поза містом (ОГКС Вишгород та МС Бориспіль) показали, що статистично значиму «повзучу» неоднорідність відмічено тільки в різницях швидкостей вітру в літній період. Причиною порушення однорідності в рядах середньомісячної швидкості вітру може бути забудова місцевості чи інший вид господарської діяльності, що змінює метеорологічні умови на території навколо метеорологічної станції, що уповільнює швидкість вітру.

На думку авторів, установлення причини появи «повзучої» неоднорідності може стати предметом окремого дослідження.

Список літератури

1. Реперні кліматичні станції – СОУ 74.90.14-02572508-001 : 2014. К., Державна служба з надзвичайних ситуацій. 2014. 15 с. 2. Методические указания управления гидрометеорологической службы по оценке репрезентативности реперных станций и их дублеров. Л., 1978. С. 8-22. 3. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный В.П. Климатология. 1967. С. 33-43. 4. Кобышева Н.В., Наумова Л.П., Михайлова В.Н. Трендовые составляющие рядов основных метеорологических величин. Тр. ГГО им. А.В. Воейкова. Л. : Гидрометеиздат, 1981. Вып. 460. С. 8-17. 5. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии (перевод с английского И.П. Гейбера и В.А. Шмайдмана). Л. : Гидрометеиздат, 1967. С. 57-76. 6. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. С.Пб: изд-во РГГМУ, 2007. 278 с. 7. Таблиці функцій та критичних точок розподілів / Укладач М.М. Горонескуль. Х. : УЦЗУ, 2009. С. 12-53.

Виявлення «повзучої» неоднорідності в рядах метеорологічних величин (на прикладі даних спостережень ОГМС Київ)

Москаленко С.О., Манукало В.О., Митник Т.Г.

Розглянуто рекомендації з оцінювання «повзучої» неоднорідності в рядах метеорологічних елементів. На прикладі даних спостережень ОГМС Київ, а також найближчих до неї станцій, що розташовані поза великим містом (Вишгород та Бориспіль), показано послідовність розрахунків для виявлення «повзучої» неоднорідності в рядах середньомісячних значень температури повітря, тиску водяної пари, швидкості вітру та сум опадів за січень і липень періоду 1981-2010 рр.

Ключові слова: моніторинг клімату, реперна кліматична станція, вплив міста, «повзуча» неоднорідність.

Выявление «ползучей» неоднородности в рядах метеорологических элементов (на примере метеорологической станции Киев)

Москаленко С.А., Манукало В.А., Митник Т.Г.

Рассмотрено рекомендации по оцениванию «ползучей» неоднородности в рядах метеорологических элементов. На примере данных наблюдений ОГМС Киев, а также ближайших к ней станций, расположенных за пределами большого города (Вышгород и Борисполь), показано последовательность расчетов по выявлению наличия «ползучей» неоднородности в рядах среднемесячных значений температуры воздуха, давления водяного пара, скорости ветра и суммы осадков за январь и июль за период 1981-2010 годов.

Ключевые слова: мониторинг климата, реперная климатическая станция, влияние города, «ползучая» неоднородность.

Detecting the “creeping” heterogeneity in the series of meteorological elements (on the example of Kyiv meteorological station)

Moskalenko S., Manukalo V., Mytnyk T.

The instrumental measurements data that carried out at the reference climatic stations of the Hydrometeorological service, have a great importance for monitoring and research of the climate, detection of its natural fluctuations and anthropogenic influences. These data are used to assess meteorological parameters that form climatic characteristics in the surrounding area of the station. Therefore, it is important to periodically verify their representativeness, especially in cases when the stations are located within large urban areas that may affect meteorological conditions.

In particular, it is recommended to periodically check the series of meteorological observations for the presence of so-called “creeping” heterogeneity. Under this term we mean the violation of homogeneity in the ranges of measured values due to changes in meteorological conditions under the influence of a large city. Currently, the Hydrometeorological organizations are used the recommendations of the normative document by 1978 for check of the “creeping” heterogeneity. However, these recommendations are not sufficiently clear, without giving detailed examples of calculations.

The aim of this article is refinement of recommendations for the assessment of “creeping” heterogeneity in the range of meteorological values.

In following research the guidance on a detection of «creeping» heterogeneity in the series of meteorological elements is considered. The sequence of calculations to identify the presence of «creeping» heterogeneity in the series of the average monthly air temperature, water vapor pressure, wind speed and total precipitation for January and July for the period 1981-2010 years on the example of the Kyiv reference climate station as well as the nearest to it Vyshgorod and Boryspil stations is shown.

Keywords: climate monitoring, reference climate station, city’s influence, «creeping» heterogeneity.

Надійшла до редколегії 27.04.2017

УДК 551.583

Заболоцька Т.М., Шпиг В.М.

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

КЛІМАТОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ПІВНІЧНІЙ ПІВКУЛІ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ

Ключові слова: індекси циркуляції, зміни клімату, температура повітря.

Вступ. Дослідження температурного режиму в різних регіонах світу (з початку систематичних метеорологічних спостережень) вказують на існування коливань клімату (потепління/похолодання) тривалістю в декілька десятиліть, які мають квазіперіодичний характер й не впливають на хід вікових змін. У ХХ ст. виділяють три періоди зі значними змінами температури: потепління із швидкістю приблизно $0,94 \cdot 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C/рік}$ в 1910-1945 рр., слабе похолодання (менше $0,05^{\circ}\text{C}$) в 1946-1975 рр. та інтенсивне потепління із швидкістю $1,68 \cdot 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C/рік}$ з 1976 р. до теперішнього часу [3, 4, 9].

Загалом, за останні майже 100 років середня річна глобальна температура збільшилася на $0,8 \pm 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (у Північній півкулі – майже на 1°C , у Південній – на $0,6^{\circ}\text{C}$). Підвищення приземної температури, температури поверхні океану та верхнього діяльного шару ґрунту узгоджуються між собою. Потепління з 1976 р. супроводжувалося глобальним підвищенням рівня Світового океану та зменшенням площі снігового покриву в Північній півкулі [3, 4].

Питання тривалості останнього глобального потепління клімату поза всілякими сумнівами є актуальним, тому дослідження змін температурного режиму проводяться майже у всіх країнах світу з головною метою – визначити причини виникнення та знайти методи запобігання.

Метою даної статті є узагальнення та аналіз наукових публікацій щодо взаємозв'язку індексів циркуляції та їх впливу на температурний режим у контексті глобального потепління.

Моделювання прогностичних змін приповерхневої (над земною та морською поверхнями) температури сучасними моделями вказує на продовження потепління в ХХІ ст. і однією з головних причин цього явища називають вплив антропогенного фактору [4, 9, 42]. В інших ретельних дослідженнях (наприклад, у Північній Америці, Туреччині, Іспанії) підтверджують поступове підвищення температури, проте підкреслюють неузгодженість між просторовими змінами, тому вважають, що крім антропогенного фактору існують й інші причини [28, 31, 41].

Водночас все більше з'являється досліджень, в яких стверджується, що глобальне потепління почало уповільнюватися, а серед причин його виникнення та існування називають такі, як: довготривалий вплив певних геофізичних та циркуляційних процесів [7, 8, 24, 32, 39].

Серед геофізичних факторів найбільшу увагу приділяють змінам сонячної радіації та швидкості обертання земної кулі. Так, багаторічні дослідження середніх річних значень чисел Вольфа (1923-2005 рр.) виявили узгодженість між характером змін у циклах сонячної активності з аномаліями атмосферного тиску за межами тропічних широт Північної півкулі. Якщо впродовж декількох сонячних циклів підряд спостерігають один і той же тип коливань, то формується довготривала аномалія обміну між помірними та високими широтами. Хронологічно сучасне потепління клімату відбувалося одночасно з поширенням зменшення тиску над Канадою, Гренландією, Північним Льодовитим океаном, Східною Європою, Західним та Східним Сибіром [8].

Відмічають узгодженість між швидкістю обертання Землі і тривалістю періоду потепління. Прискорене обертання Землі почалося з 1973 р., закінчилося у 2004 р., тобто, обертання почало уповільнюватися. Це співпадає з сьогоденним уповільненням зростання приповерхневої температури [24].

Уповільнення темпів потепління фіксують і в Південній півкулі (над океанами з 2003 р., над континентами з 2005 р.), у Північній півкулі над океанами з 2005 р., над континентами менш виражено, але також з початку ХХІ ст. [4].

Проте дотепер не існує надійного наукового методу прогнозу змін кліматичних факторів як природного, так і антропогенного походження на тривалий час вперед (навіть на 10 років), тому що кліматичні моделі відтворюють тільки статистичні закономірності різних факторів: середні значення, сезонні зміни, тренди, але не відтворюють їх міжмісячну та міжрічну мінливості, що зумовлені непередбачуваними процесами в земній корі, змінами світимості Сонця, невизначеним розвитком промисловості та енергетики, квазіперіодичним характером впливів циркуляційних коливань [4].

Дослідження циркуляційних процесів, проведених в різних країнах, свідчать, що сучасне потепління (з кінця 70-х років ХХ ст.) у Північній півкулі зумовлено практично повністю значним посиленням адвекції теплого атлантичного повітря на континент [26, 29, 32, 35, 36].

Головний вплив океану на атмосферу здійснюється через потоки тепла завдяки випаровуванню ("приховане" тепло) та подальшому турбулентному обміну. Для кількісної оцінки змін циркуляції атмосфери використовують індекси циркуляції, розраховані за даними приземного тиску [14] або геопотенціалу на поверхнях 1000, 700 чи 500 гПа для середніх місячних значень та середніх добових [15, 27].

Для Атлантико-Європейського регіону мають значення такі індекси циркуляції: NAO – Північно-Атлантичне коливання, EA – Східно-Атлантичне, EA-WR –

коливання Східна Атлантика-Західна Росія, SCAND – Скандинавське, Pol – коливання полярна область – Євразія [16, 37].

Вважається, що на клімат Європи найбільше впливає NAO (North Atlantic Oscillation). Загалом, за результатами багатьох досліджень у [38, реферативний огляд станом на 2000 р.] наголошують, що в Північній півкулі має місце кільцеве Арктичне коливання (АО), а NAO є його проявом в Атлантичному регіоні. Індекс циркуляції NAO – нормована різниця аномалії тиску на рівні моря над Азорськими о-ми та Ісландією під час їх одночасного посилення чи послаблення. Це коливання особливо різко проявляється в амплітуді та площі розповсюдження й зумовлює найбільшу міжрічну мінливість місячних значень тиску. Мінливість NAO проявляється в значеннях приповерхневих температур всієї Північної Атлантики, східної частини Північної Америки, Арктики, Євразії та Середземномор'я. Коефіцієнт кореляції між індексами NAO (грудень-березень) та глобальною температурою над Західною та Центральною Європою (в межах 70-40° пн. ш.) досягає 1,0; над Східною Європою та Азією (в межах 60-45° пн. ш.) – від 0,6 до 1,0 [38].

За позитивною фазою NAO Ісландський мінімум та Азорський максимум добре розвинені, градієнти тиску між ними збільшені, зональна циркуляція посилена, тому західні вітри сильніші відносно середніх статистичних значень. За від'ємною фазою зональна циркуляція послаблюється, а меридіональна посилюється. Найбільш суттєві зміни циркуляції атмосфери бувають у зимовий період під час посиленого теплообміну між океаном і сушею (грудень-березень), коли значення індексу NAO до і після змін фази достатньо великі (більше 1-2 по абсолютній величині) [14].

До фази NAO відчутна частота та тривалість блокуючих процесів (блокінги) у Північній Атлантиці. На 67% більше зимових днів з блокінгом під час від'ємної фази NAO, ніж за позитивною, а тривалість майже вдвічі більше (відповідно 11 та 6 днів) [40].

В [1] наведені результати аналізу змін геопотенціалу на поверхні 1000 гПа за грудень, січень та липень впродовж 1952-2000 рр. в Атлантико-Європейському регіоні. В другій половині XX ст. відмічали позитивну фазу NAO, в цей час зменшувалася повторюваність циклонів у Європейському та Середземноморському регіонах, проте над Північною Європою та південним Середземномор'ям циклони поглиблювалися та збільшувалися в розмірі. Повторюваність антициклонів максимально зростала в субтропіках, а їх потужність у субтропіках та над північним сходом Європи. Збільшення розмірів синоптичних вихорів в період позитивної фази NAO статистично значуще.

Найчастіше для дослідження впливу циркуляційних процесів на мінливість приповерхневої температури використовують період з другої половини XX до початку XXI ст., як найбільш гомогенізований період вимірів температури. Використання тривалішого періоду (більше 100 років) дещо нівелює значущість окремих індексів циркуляції. В [5] аналізували мінливість температури та вплив антропогенного фактору за 105 років. В обох випадках тренд був незначущим, хоча й відмічалася, що за позитивною фазою NAO збільшувалася циклонічна активність в районі Ісландії та тиск у субтропіках. Вочевидь, необхідно досліджувати як величину, такі знак різних індексів циркуляції, а також їх вплив у просторі та часі.

В [19] зазначають, що в Північній півкулі найбільш кліматично значущі флуктуації системи океан – атмосфера мають NAO та EA. Коливання NAO вперше описано в 1932р. Уолкером та Блісом [43]. Позитивна фаза вказує на перевагу зонального типу атмосферної циркуляції в тропосфері над Північною Атлантикою та Європою в широтній зоні 50-60° пн. ш. та послаблення процесів блокування. Траєкторії циклонів (та центрів дії атмосфери) зміщуються в північно-східному напрямі порівняно з роками із середніми умовами. Це призводить до формування

позитивних термічних аномалій над більшою частиною Європи. За від'ємною фазою NAO не тільки послаблюється зональний потік, а й траєкторії циклонів зміщуються на Центрально-Європейський регіон, посилюється активність блокування. Загалом, NAO зумовлює до 77% дисперсії середньої місячної температури на півночі Європейського регіону та 55% сумарної внутрішньої місячної дисперсії температури в західній частині Середземноморського регіону та Західної Європи в зимові місяці. Північно-Атлантичне коливання відповідає за значну долю синоптичної мінливості поля приповерхневої температури практично над всім Європейсько-Середземноморським регіоном.

Слід зауважити, що Північно-Атлантичні центри (Азорський максимум тиску та Ісландський мінімум) є регуляторами загальної циркуляції атмосфери, вони ідентифікують атмосферні процеси в помірних та тропічних широтах. Водночас ці центри (їх положення та інтенсивність) тісно пов'язані з положенням полюса циркуляції (циркумполярний вихор, ЦПВ), який найчастіше зосереджується на периферії Арктики й зміщується по спіралі протягом року зі сходу на захід. Це зміщення призводить до змін положень Азорського антициклону й Ісландського циклону та їх інтенсивності.

Якщо ЦПВ розширюється, то основне кільце західного потоку зміщується до екватора, що призводить до збільшення інтенсивності циркуляції й зміщенню на південь основних траєкторій циклонів. Якщо ЦПВ слабшає (рухається до полюсу), то і траєкторії циклонів наближаються до полюса, а на їх попередньому місці часто встановлюються великомасштабні квазістаціонарні антициклони [18].

В роботах [20-22] підтверджується, що з середини 70-х років XX ст. головну роль в потеплінні відігравало посилення зонального потоку за позитивною фазою NAO. Як для температури, так і для опадів тісний зв'язок з індексом спостерігали з грудня до березня з максимумом у січні – лютому. Саме від його величини та знаку залежали траєкторії циклонів, що зміщувалися на Євразію. Коли індекс взимку був > 0 , цикли проходили по північному заході та півночі Європи, що унеможливило арктичне вторгнення та "підпитку" Сибірського антициклону, тому були теплі зими. Коли індекс < 0 , зональний потік слабшає над Північною Атлантикою і цикли зміщуються по більш південним траєкторіям (південні та південно-західні цикли).

До початку глобального потепління (до 1975-76 рр.) коливання температури взимку були головним чином узгоджувалися зі змінами індексу SCAND (блокування зонального потоку). Перехід від процесів блокування (SCAND) до зональної циркуляції (NAO) співпадає з переходом циркумполярного вихору від слабкого до сильного в нижній стратосфері.

В [22] проаналізували вплив на Євразію найбільш поширених індексів циркуляції за період з 1951 до 2005 р. Для аналізу використали коливання геопотенціалу на поверхні 700 гПа та такі індекси: NAO – Північно-Атлантичний, PNA – Тихоокеансько-Північноамериканський, Pol – Полярно-Євразійський, WP – Західно-Тихоокеанський, EA – Східно-Атлантичний, SCAND – Скандинавський, EA-WR – Східно-Атлантичний-Західно-Російський.

NAO та Pol – показники зонального потоку, перший за межами тропічних районів Північної Атлантики, другий – за межами тропічної Євразії взимку; SCAND – показник блокування зонального потоку; WP та PNA – показники посилення та блокування зонального потоку для Тихоокеанського сектора; EA та EA-WR відображають аномалії тиску над Північною Атлантикою та на заході Східноєвропейської рівнини. Аналіз температури проводили для кожного місяця зими (з грудня до березня та за сезон); для літа – за сезон (червень-серпень) та для липня. Отримали такі результати, див. табл. 1.

Таблиця 1. Найбільший вклад (%) у мінливість літньої та зимової температур на півночі Європи

	NAO	SCAND	PNA	Pol	WP	EA-WR	EA
ЛІТО							
	—	8	4	—	34	—	4
ЗИМА							
грудень	16	17	—	—	5	—	8
січень	17	34	10	10	—	—	4
лютий	14	27	7	14	3	—	—

Наведені дані свідчать, що у другій половині XX ст. активність циркуляції була найбільшою в січні та лютому, а в середньому за сезон перевагу мав індекс NAO. Автори також порівнювали два періоди 1951-1970 та 1971-2005 рр. й отримали для січня й березня (як місяців з найбільшими коливаннями), що до 1970 р. перевищував внесок SCAND (50%) та PNA (13%), водночас внесок NAO був незначущим. Після 1970 р. зростає внесок NAO. Найбільші внески були в січні та лютому, відповідно 34 та 9%, SCAND у ці місяці – 18 та 5%. PNA в цей час був статистично незначущий.

Дуже високі значення індексу NAO були в 1989-1995 рр., тоді ж були незвично теплі зими, тому що траєкторії циклонів проходили по північному заході Європи та вздовж узбережжя Арктики, не допускаючи арктичне повітря в низькі широти.

Загалом, впродовж 1951-2005 рр. Північно-Атлантичне коливання (NAO) порівняно зі Скандинавським (SCAND) мало більший вплив на мінливість температури, зумовлювало більш швидке її підвищення в 1968-1997 рр. та формувало тренд за 1971-2005 рр. Скандинавське коливання (SCAND) відігравало головну роль у 1951-1970 рр., в цей час його вплив був більшим, ніж NAO в 1951-2005 та 1971-2005 рр.

Визначення причин сучасного тривалого потепління спонукало підвищену увагу щодо досконалого вивчення як окремих циркуляційних процесів, так і їх взаємодії між собою. В [10] наведені результати дослідження взаємозв'язку між полярним (Pol), Північно-Атлантичним та Південним коливаннями за період 1950-2004 рр. Використано різні методи моделювання (метод моделювання фазової динаміки, метод побудови нелінійних прогностичних моделей, розрахунки взаємних кореляційних функцій). Виявлено вплив EA на NAO з довірчою вірогідністю 0,95–0,98. Час запізнення впливу складає від 1 до 3 років. Впливу NAO на EA не виявлено, також не виявлено зв'язку між EA та Pol.

Проте надалі дослідження взаємозв'язку EA та NAO авторами було продовжено [12] та використано більш тривалий період – 1871-2013 рр. Як NAO, так і EA глобально впливають на приповерхневу температуру, циклонічну та антициклонічну діяльність у Північній півкулі. Квазіперіодичні зміни EA становлять 2-8 років. Північно-Атлантичне коливання проявляється значущо в міжрічних та міждесятилітніх коливаннях градієнта тиску. Отримано найбільш значущі ознаки зв'язку: "осінній" режим EA залежить від NAO попереднього сезону; від літнього режиму NAO залежать подальші особливості EA.

Скандинавський індекс також діє на всю Північну півкулю [11, 13]. Автори вважають, що на фоні глобального потепління (вочевидь, автори надають велике значення антропогенному фактору) утворюються довготривалі блокінги, які спричиняють посухи (2010 р.), екстремально холодні зими (2003, 2006, 2010, 2011 р.). Якщо глобальне потепління продовжиться, то кількість блокінгів буде зростати. Хоча глобальна приповерхнева температура в 2001-2010 рр. була на 0,5°C більше, ніж в 1961-1990 рр. й на 0,2°C більше, ніж у 1991-2000 рр., автори все-таки

вважають, що з кінця XX ст. – початку XXI ст. відмічається уповільнення глобального потепління. Такої думки дотримуються і в роботі [32], в якій на основі перевіреної бази даних максимальної та мінімальної добової температури впродовж 1951-2010 рр. досліджували еволюцію ступеню потепління на території Іспанії. Потепління досягло максимуму між 1970 й 1990 роками, далі слідує зменшення інтенсивності як $T_{\max}$, так і $T_{\min}$, і такий стан має місце до теперішнього часу. Річна та сезонна температура продовжує підвищуватися, але незначуще, тобто, в останні десятиліття зростання температури уповільнилося. Зменшення ступеню зростання $T_{\max}$ більше, ніж $T_{\min}$ в останні десятиліття, тобто, нові ступені річного потепління залежать більше від $T_{\min}$, ніж від $T_{\max}$. В останні десятиліття є відмінності між сезонами.

Необхідно також зазначити, що останнім часом [33] виявлено зміни у значеннях та мінливості NAO, а саме, суттєве зменшення величини NAO, починаючи з 90-х років XX ст., влітку й одночасно різке зростання мінливості взимку, особливо в грудні. Ці зміни зумовлені збільшенням тренду Гренландського блокуючого індексу (GBI). Весна та осінь залишаються відносно незмінними останні 30 років. В цей період індекс AO, який сильно корелює з NAO [38], не показує літнього зменшення, проте показує збільшення мінливості в грудні.

Індекс GBI – це середнє значення висоти поверхні 500 гПа для території Гренландії (60-80° пн. ш., 20-80° зх. д.). В [34] визначили, що за період з січня 1851 включно до грудня 2015р. кореляції GBI та NAO найсильніші з грудня до березня (екстремально високі та низькі значення GBI фіксують з 2001 р.), найслабкіші – в липні. Аналіз гомогенізованих значень GBI свідчить, що GBI значуще збільшується літом і стає значуще більш мінливим у грудні.

Впродовж останніх 10-20 років відмічають посилення одночасного антициклонального блокування над Гренландією та Сибіром й більше посилення північно-полярної струменевої течії (Arctic Amplification). Багатократні десятилітні коливання GBI (особливо взимку) подібні 10-20 річним коливанням NAO та й ще більш довгим Атлантичним багатократним коливанням (Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO). Більша мінливість GBI у грудневій місяці не протирічить більш позитивному середньому GBI і пов'язана з негативним трендом AMO з 2000р. та з більш змінними грудневими NAO та AO в останні декілька десятиліть. Причини цього на сьогодні неясні. Можливо, це вплив тропіків на десятилітні коливання в північних регіонах Тихого та Атлантичного океанів (North Pacific and Atlantic) або на внутрішню атмосферну мінливість [34].

Вплив Південного коливання на мінливість температури в Європейсько-Середземноморському регіоні менше, ніж вплив NAO. Це – збудження крупномасштабних коливань в атмосфері під час дії зрілої фази Ель-Ніньо, які проявляються на всій земній кулі. Дослідження явища Ель-Ніньо (40-річний період) показали, що під час його дії збуджується вся тропосфера в екваторіальній зоні Тихого океану (над районами максимальних аномалій тропосферних західних та стратосферних східних вітрів). Це зумовлює зміни циркуляції у тропічній атмосфері, тобто масштабність змін по інтенсивності та значущості зіставна із загальнопланетарною циркуляцією [23].

Петросянц М.А. [17] вважає, що під час Ель-Ніньо західні вітри екваторіальної зони можуть охоплювати третину всієї земної кулі, проникати в тропічну зону, нижню стратосферу та сприяти посиленню циклонічної діяльності в Північній півкулі. Під час дії Південного коливання взимку приземний тиск зменшується над південною і центральною Європою та прилеглими районами Північної Атлантики, проте збільшується над Північною Європою, Ісландією та Гренландією. В результаті зональна циркуляція слабшає, а вірогідність блокування зростає.

В [30] автори досліджували фізичну природу мінливості траєкторій циклонів й прийшли до висновку, що індекс NAO відображає широтні зміни траєкторії циклонів, а EA – зміни їх інтенсивності та кількості. Нестеров Е.С. [16] порівнював NAO та EA для січня, коли взаємодія океану та атмосфери в Північній Атлантиці найбільш активна, за період 1950-2007 рр. й отримав, що найбільші зміни циркуляції та температури в січні в Атлантико-Європейському регіоні бувають, коли на фоні позитивної фази NAO розвивається від'ємна фаза EA. Автор також порівнював два 12-річні періоди (1984-1995 та 1996-2007 рр.) й отримав, що найбільші розбіжності в індексах були впродовж 1996-2007 рр., коли індекс EA суттєво перевищував індекс NAO. Це призвело до зсуву на північ траєкторій циклонів, що рухались з Північної Атлантики на Європу та, відповідно, до зниження температури в Європі, і до її підвищення над Скандинавією та північними районами.

Сучасні дослідження індексів циркуляції [2, 6, 16, 22, 25, 44] вказують на надзвичайно складний взаємозв'язок циркуляційних процесів, значну мінливість їх довготривалого прояву, двосторонній в часі вплив тропосфери та стратосфери. Так, в [6] зазначають, що арктичне коливання зумовлено впливом вертикального розподілу планетарних хвиль на атмосферну циркуляцію в зимово-весняний період (січень-березень). Довгоперіодичні зміни його індексу мали позитивну фазу з початку глобального потепління, проте з кінця XX та на початку XXI ст. індекс зменшується та причина цього явища поки що не встановлена. В [22] стверджують, що з другої половини 1990-х років намітився перехід індексу AO (можливо, й NAO як індексу, що сильно корелює з AO) від позитивної фази до від'ємної, а SCAND – навпаки.

Суттєві зміни відбуваються з індексом Південного коливання [2, 25, 44]. Тепле явище Ель-Ніньо – Південне коливання (ЕНПК) має глобальний вплив на погоду в тропічних, помірних та високих широтах. Причина його виникнення – аномалії вітру в західній екваторіальній частині Тихого океану весною та літом, потім у другій половині року аномально підвищується температура у східній екваторіальній частині Тихого океану. Це – канонічний ЕНПК.

Так було продовж 1980-2000 рр. Особливо після 2005 р. аномальну високу температуру почали спостерігати в центральній екваторіальній частині Тихого океану. Це явище назвали ЕНПК Модокі. Причина – внаслідок глобального потепління в західній екваторіальній частині утворилися однорідні динамічні умови, взаємодія океану й атмосфери ослабла. Тому аномалії температури поверхні океану почали виникати в центральній частині внаслідок нестійкості струменевої течії в межах протоки Дрейка (це – Антарктична циркумполярна течія). Тут може встановлюватися як високий, так і низький атмосферний тиск. Коли встановлюється підвищений (понижений) атмосферний тиск, то в тропіках Тихого океану розвиваються додатні (від'ємні) аномалії температури, тобто створюється тепле (холодне) Південне коливання. Виявлено, що перед розвитком теплих (холодних) явищ Ель-Ніньо Модокі відбувається суттєве потепління (похолодання) стратосфери Південної півкулі, якого не спостерігали при канонічних ЕНПК.

Наведені дані свідчать про складний нелінійний квазіперіодичний крупномасштабний взаємозв'язок між всіма океанами земної кулі, тропосферою та стратосферою, що створює значні труднощі у прогнозуванні кліматичних змін. Однозначно назвати головну причину виникнення та тривалого існування глобального потепління в даний час не можна.

Висновки. Розглянуто основні циркуляційні процеси, що впливають на кліматичний режим у Північній півкулі.

Для Атлантико-Європейського регіону найбільш вагомі такі коливання циркуляції: NAO – Північно-Атлантичне, EA – Східно-Атлантичне, EA-WR – Східно-

Нещодавні дослідження (після 2012 р.) мінливості температури свідчать, що зміни температури стали незначущими, тобто глобальне потепління призупинилося.

Вивчення динамічних процесів на земній кулі та майбутнє моделювання прогностичних змін клімату має бути зосереджено на визначенні відносних впливів різних кліматичних посилювачів.

Окремо варто зауважити, що, на думку авторів цієї статті, однією із першочергових задач має бути зменшення викидів парникових газів в атмосферу для зниження впливу антропогенного фактору на температурний режим.

Список літератури

1. Бардин М.Ю, Полонский А.Б. Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европейско-Атлантическом регионе в зимний период. Изв. РАН, ФАО, 2005. т. 41, № 2. С. 147–157. 2. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. Эль-Ниньо как следствие глобальной атмосферной осцилляции в динамике климатической системы Земли. Доклады АН, 2012. Т. 446, ч. 1. С. 89–94. 3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата. Метеорология и гидрология, 2004. № 4. С. 50–66. 4. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Оценка предстоящих изменений климата на территории Российской Федерации. Метеорология и гидрология. 2009. № 11. С. 15–29. 5. Дзюба А.В. Формализация зависимости температурного режима Атлантико-Евразийской приполярной зоны от североатлантического колебания. Метеорология и гидрология, 2009. № 5. С. 16–33. 6. Жадин Е.А., Зюляева Ю.А., Володин Ю.М. Связи межгодовых вариаций стратосферных потеплений, циркуляции тропосферы и температуры поверхности океанов Северного полушария. Известия РАН, ФАО, 2008. т. 44, № 5. С. 641–653. 7. Заболоцька Т.М., Шпиг В.М. Кількісні зміни хмарності як індикатор періоду глобального потепління. Наук. праці УкрНДГМІ, 2015. Вип. 267. С. 23–27. 8. Егоров А.Г. Два варианта колебаний приземного давления во внетропической зоне Северного полушария в зависимости от многолетних изменений солнечной активности. Метеорология и гидрология, 2008. № 10. С. 9–23. 9. Израэль Ю.А., Груза Г.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий. Метеорология и гидрология, 2001. № 5. С. 5–21. 10. Мохов И.И., Смирнов Д.А. Исследование взаимного влияния процессов Эль-Ниньо – Южное колебание и Северо-Атлантического и Арктического колебаний. Известия РАН, ФАО, 2006. Т. 42, № 5. С. 650–667. 11. Мохов И.И., Акперов М.Г., Прокофьева М.А. и др. Блокнги в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам. Доклады АН, 2013. Т. 449, № 5. С. 1–5. 12. Мохов И.И., Смирнов Д.А. Трехкомпонентный анализ сезонных особенностей взаимосвязи между изменениями Эль-Ниньо, североатлантическим колебанием и индийским муссоном. Метеорология и гидрология, 2016. № 1. С. 18–32. 13. Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата. Метеорология и гидрология, 2016. № 2. С. 16–28. 14. Нестеров Е.С. О фазах североатлантического колебания. Метеорология и гидрология, 2003. № 1. С. 64–74. 15. Нестеров Е.С. О влиянии температуры воды и потоков тепла на поверхности океана в Северной Атлантике на циркуляцию атмосферы. Метеорология и гидрология, 2009. № 1. С. 39–46. 16. Нестеров Е.С. О восточно-атлантическом колебании циркуляции атмосферы. Метеорология и гидрология, 2009. № 12. С. 32–40. 17. Петросянц М.А., Гущина Д.Ю. Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Метеорология и гидрология, 2002. № 8. С. 24–35. 18. Полонский А.Б. О междесятилетней изменчивости в системе океан – атмосфера. Метеорология и гидрология, 1998. № 5. С. 55–64. 19. Полонский А.Б., Башарин Д.В. О влиянии североатлантического и южного колебаний на изменчивость температуры воздуха в европейско-средиземноморском регионе. Изв. РАН, ФАО, 2002. Т. 38, № 1. С. 135–145. 20. Попова В.В., Шмакин А.Б. Влияние североатлантического колебания на многолетний гидротермический режим Северной Евразии. Метеорология и гидрология, 2003. № 5. С. 52–
- ISSN:2306-5680 **Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia. 2017. № 3 (46)**

74. **21.** Попова В.В., Шмакин А.Б. Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий температуры в Северной Евразии в конце XX столетия. Метеорология и гидрология, 2006. № 12. С. 15–25. **22.** Попова В.В., Шмакин А.Б. Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в Северной Евразии во второй половине XX – начале XXI веков. Известия РАН, ФАО, 2010. Т. 46, № 2. С. 161–175. **23.** Семенов Е.К., Соколихина Е.В., Соколихина Н.Н. Атмосферная циркуляция в низких широтах в периоды теплых и холодных фаз явления Эль-Ниньо – Южное колебание. Метеорология и гидрология, 2006. № 8. С. 5 –8. **24.** Сидоренков Н.С., Орлов И.А. Атмосферные циркуляционные эпохи и изменения климата. Метеорология и гидрология, 2008. № 9. С. 22–29. **25.** Степанов В.Н. О вероятной причине изменения характеристик Эль-Ниньо в 2000-е годы. Метеорология и гидрология, 2016. № 11. С. 23–40. **26.** Уэрюмов А.И., Харькова Н.В. Современные изменения климата С.-Петербурга и колебания циркуляции атмосферы. Метеорология и гидрология, 2008. №1. С. 24–30. **27.** Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. Mon. Wea. Rev, 1987. Vol.115 (6). P. 1083–1126. **28.** Booth E.L.J., Byrne J.M., Johnson D.L. Climatic changes in western North America, 1950-2005. International journal of climatology, 2012. Vol. 32 (15). P.2283–2300. **29.** Ceppi P., Scherrer S.C., Fischer A.M., Appenzeller Ch. Revisiting Swiss temperature trends 1959-2008. International Journal of Climatology, 2012. Vol. 32 (2). P.203-213. **30.** Franzke C. and Feldstein S.B. The continuum and dynamics of Northern Hemisphere teleconnection patterns. J. Atmos. Sci, 2005. Vol. 62 (9). P. 3250–3267. **31.** Gonzalez-Hidalgo J.C., Peña-Angulo D., Brunetti M., Cortesi N. MOTEDAS: a new monthly temperature database for mainland Spain in the trend in temperature (1951-2010). International Journal of Climatology, 2015. Vol. 35 (15). P. 4444–4463. **32.** Gonzalez-Hidalgo J.C., Peña-Angulo D., Brunetti M., Cortesi N. Recent trend in temperature evolution in Spanish mainland (1951-2010): from warming to hiatus. International Journal of Climatology, 2016. vol. 36 (6). P. 2405–2416. **33.** Hanna E., Cropper T.E., Jones P.D., Scaife A.A., Allan R. Recent seasonal asymmetric changes in the NAO (a marked summer decline and increased winter variability) and associated changes in the AO and Greenland Blocking index. International Journal of Climatology, 2015. Vol. 35 (9). P. 2540–2554. **34.** Hanna E., Cropper T., Hall R., Cappelen J. Greenland blocking index 1851-2015: a regional climate change signal. International Journal of Climatology, 2016. Vol. 36(15). P. 4847–4861. **35.** Irannezhad M., Chen D., Kløve B. Interannual variations and trends in surface temperature in Finland in relation to atmospheric circulation patterns, 1961-2011. International Journal of Climatology, 2015. vol. 35 (10). P. 3078–3092. **36.** Irannezhad M., Kløve B. Do atmospheric teleconnection patterns explain variations and trends in thermal growing season parameters in Finland? International Journal of Climatology, 2015. Vol. 35(15). – P. 4619–4630. **37.** Mailier P.J., Stephenson D.B., Ferro C.A.T. and Hodges K.I. Serial clustering of extratropical cyclones. Mon. Wea. Rev, 2006. Vol. 134(8). P. 2224–2240. **38.** Marshall J., Kushnir Y., Battisti D., Chang P., Czaja A., Dicson R., Hurrell J., McCartney M., Saravanan R., Visbeck M. North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms. International Journal of Climatology, 2001. Vol. 21(15). – P. 1863–1898. **39.** Molavi-Arabshahi M., Arpe K., Leroy S. A.G. Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena. International Journal of Climatology, 2016. Vol. 36(5). P. 2156–2172. **40.** Shabbar A., Huang J., Higuchi K. The relationship between the wintertime north Atlantic oscillation and blocking episodes in the north Atlantic. International Journal of Climatology, 2001. Vol. 21 (3). P. 355–369. **41.** Toros H. Spatio-temporal variation of daily extreme temperatures over Turkey. International journal of climatology, 2012. Vol. 32(7). P. 1047–1055. **42.** Vin H., Sun Y., Wan H., Zhang X. Detection of anthropogenic influence on the intensity of extreme temperatures in China. International Journal of Climatology, 2017. Vol. 37 (3). P. 1229–1237. **43.** Walker G.T., Bliss E.W. World weather. Memoirs of the Royal Meteorology Society, 1932. Vol. 4, № 36. P. 53–84. **44.** Zubiaurre I. and Calvo N. The El Niño - Southern Oscillation (ENSO) Modoki signal in the stratosphere. Geophys. Res, 2012. Vol. 117. (doi: 10.1029/2011.JDO16690).

Кліматологічна оцінка циркуляційних процесів у Північній півкулі та їх вплив на температурний режим

Заболоцька Т.М., Шпиг В.М.

Виконано реферативний кліматологічний огляд результатів досліджень циркуляційних процесів у Північній півкулі, що впливають на температурний режим в період глобального потепління. Зосереджена увага на складних взаємозв'язках різних індексів циркуляції. Показано, що причини мінливості циркуляційних процесів, особливо екстремальних викидів, в останні десятиліття, поки що не визначені, тому подальші дослідження індексів циркуляції є актуальними.

Ключові слова: індекси циркуляції, зміни клімату, температура повітря.

Климатологическая оценка циркуляционных процессов в Северном полушарии и их влияние на температурный режим

Заболоцкая Т.Н., Шпиг В.М.

Выполнен реферативный климатологический обзор результатов исследований циркуляционных процессов в Северном полушарии, влияющих на температурный режим в период глобального потепления. Уделено внимание сложным взаимоотношениям различных индексов циркуляции. Показано, что причины изменчивости циркуляционных процессов, особенно экстремальных выбросов, в последние десятилетия, пока еще не определены, поэтому дальнейшие исследования индексов циркуляции остаются актуальными.

Ключевые слова: индексы циркуляции, изменения климата, температура воздуха.

Climatological assessment of circulating processes in the Northern hemisphere and their influence on temperature regime

Zabolotska T.M., Shpyg V.M.

Global warming on the Earth is fixing the last 40 years (from 1976 to the present time). The major reasons of its forming and long period existence are called the general simultaneous influence of antropogenic, geophysical and circulation factors. The refer research description of different circulation indexes and its influence on temperature regime behind global warming offer in this study. For Atlantic-Europa region have been attributed such circulation oscillations as NAO – North-Atlantic Oscillation, EA – East-Atlantic, EA/WR – East-Atlantic/West Russia, SCAND – Scandinavian, Pol – Polar-Europa and Asia. The results of many studies show that North Atlantic Oscillation (NAO) most influence on Europe climate. Changeability of NAO reveal in surface temperature over all Northern Atlantic, east part of Northern America, Arctic, Europe-Asia and Mediterranean region. With positive phase of NAO Island minimum and Azores maximum very develop, pressure gradients between its increased, zonal circulation is intensified, therefore west winds more strong relatively mean statistic. With negative phase zonal circulation is weakened, but meridional is intensified. The most significant changes atmospheric circulation there are during winter with reinforced heat exchange between ocean and land. Climatic considerable fluctuations there are EA and SCAND oscillations/ In winter with EA surface pressure is reduced over south and central Europe and contiguous regions North America but is increased over North Europe, Island and Greenland, hence zonal circulation is reduced, blocking probability is growing. SCAND index influence on all North Hemisphere also. Before global warming (before 1975-1976) temperature fluctuations were mainly winter cause of SCAND index changes (blocking zonal flow). The large attenuation was considered to the compound relations between different circulation indexes. It is shown that the reasons of circulation changes (especially extreme impacts during last decades) are indefinite at the same time. The recent researches (after 2012) of climatic temperature variables are corroborated that these changes are unimportant, consequently, the global warming is stopping. The influence of circulation processes on temperature regime in Northern Hemisphere is different because it is necessary to continue the researches using the long time homogeneous ranges of temperature measurements.

Keywords: circulation indices, climate change, air temperature.

Надійшла до редколегії 26.05.2017

УДК 556.16:556.06

Лобода Н.С., Куза А.М.

Одеський державний екологічний університет, м.Одеса

АНТРОПОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА СТІК РІЧКИ ВЕЛИКИЙ КУЯЛЬНИК В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Ключові слова: модель «клімат-стік», кліматичний сценарій, коефіцієнти антропогенного впливу.

Вступ. Актуальність роботи пов'язана із необхідністю передбачення наслідків змін клімату зони недостатнього зволоження України, включаючи Одеську область [1]. Особливої уваги заслуговує питання охорони та збереження природних ресурсів, серед яких значуще місце посідають водні ресурси степової зони, які є вразливими і обмеженими. В результаті кліматичних змін і нестабільності природних екосистем водних об'єктів, виникає ціла низка кліматичних ризиків для економіки країни, пов'язаних із зростанням тривалості посушливих періодів, розширенням у просторі зони недостатнього зволоження, зменшенням водності річок. Головними чинниками, які виснажують річки та лимани Північно-Західного Причорномор'я є зміни регіонального клімату у поєднанні із водогосподарською діяльністю [2]. Річка Великий Куяльник є надзвичайно важливою для екологічної системи Куяльницького лиману, який має світове визнання завдяки цілющим властивостям грязі і ропи, що сформувалися у лимані на протязі століть [3]. У минулому сторіччі р.В. Куяльник поставляла до Куяльницького лиману головну частину (91,8%) об'ємів прісної води, що надходила від річок. За даними спостережень у період з 1953 до 1988 рр. середній багаторічний стік р.Великий Куяльник становив 13,8 млн.м³, а з 1989 р. (переламний рік, з якого починаються значущі зміни клімату на території України) по 2011 рр. об'єм припливу прісних вод від річки до Куяльницького лиману зменшився до 3,86 млн.м³ [4]. Прогноз змін середнього багаторічного річного стоку р. Великий Куяльник за метеорологічними даними сценаріїв змін клімату у ХХІ сторіччі, наданий на базі моделі «клімат-стік», показав стійку тенденцію до зменшення стоку [5,6] за рахунок потепління. За таких умов особливу значущість набуває прогноз впливу водогосподарської діяльності на стік річки. Вирішення проблеми відновлення екосистеми Куяльницького лиману може відбуватися двома шляхами: через оптимізацію водогосподарської діяльності на річках і відповідне збільшення їх стоку або через надання об'ємів морської води трубопроводом море-лимани [7]. У такій ситуації було необхідно визначитися, які види водогосподарської діяльності є найбільш впливовими та потребують проведення оптимізаційних заходів.

Метою роботи є вияв найбільш впливових чинників водогосподарської діяльності та оцінка можливих змін стоку через їхню дію у різних кліматичних умовах.

Робота базується на використанні стохастичної моделі «клімат-стік», розробленої в ОДЕКУ [8, 9] і виконана у рамках «Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки», яка була затверджена рішенням Одеської обласної ради № 270-VI від 28.10.2011 р. [10], а також у рамках науково-дослідної роботи № 177 «Науково-дослідні роботи з гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного та медико-

біологічного обстеження стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки» *частина (лот) 1 – гідрологічне обстеження*» (Договір з Департаментом екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації № 28/10-16 від 18.10.2016 р.).

Аналіз попередніх досліджень. Інтенсивне зростання масштабів сільського господарства у минулому сторіччі (за часів РССР) потребувало розвитку наукових досліджень щодо оцінки впливу антропогенної діяльності на гідрологічний режим річок. Результати наукової праці вчених різних республік, присвячених вивченню наслідків господарської діяльності у змінах водних ресурсів, публікувалися у збірниках наукових робіт Державного Гідрологічного інституту (м.Ленінград), Інституту водних проблем (м. Москва), Українського регіонального гідрометеорологічного науково-дослідного інституту (м. Київ), Одеського гідрометеорологічного інституту, науково-дослідних інститутів комплексного використання водних ресурсів різних республік. Серед українських науковців, які займалися цими проблемами слід виділити роботи Я.О. Фоменка, А.І. Шерешевського, В.А. Войцехович, П.Ф. Вишневського, А.М. Бефані, Є.Д. Гопченка, Н.С. Лободи, А.В. Яцика, О.З. Ревери та ін. Сумісні дослідження впливу антропогенного навантаження на водні ресурси Дунаю, Дністра, Північно-Західного Причорномор'я проводилися такими вченими Молдови як Лаликін Н.В. [11] та Мельничук О.М. [12, 13].

Наукові дослідження впливу водогосподарських перетворень на гідрологічний режим річок у часи незалежної України проводилися такими вченими як Вишневський В.І. [14, 15], Яцик А.В. [16], Гребінь В.В. [17, 18].

У стінах ОДЕКУ плідно працюють над проблемами оцінки антропогенного впливу на гідрологічні характеристики річок України Є.Д. Гопченко та Н.С. Лобода [4, 8, 9, 14, 20]. Роботи з математичного моделювання наслідків змін водних ресурсів на гідрологічний та екологічний стан лиманів та прибережної зони Чорного моря виконуються під керівництвом Ю.С. Тучковенко [21]

Питання доцільного використання і дбайливого ставлення до водних ресурсів також активно обговорювалося під час Першого всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду, який відбувся у березні 2017 року в ОДЕКУ.

Важливою задачею початку нового сторіччя є дослідження антропогенного впливу на водні ресурси із урахуванням змін глобального та регіонального клімату. Така проблема зумовила надання водним ресурсам особливого статусу: «Вода на відміну від будь-якого комерційного продукту є спадщиною, яку необхідно охороняти, захищати та відповідно з нею поводитися.» (визначення, прийняте у 2000 році Водною Рамковою Директивою Європейського Співтовариства № 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року) [22].

У 2012 році було опубліковане дослідження Еріка Е. Массея «Досвід Європейського Союзу в адаптації до зміни клімату та застосування його в Україні», перекладене А. Плесаком [23], згідно якого сталий розвиток держави передбачає наступні дії*:

- зниження споживання води у всіх сферах промисловості і господарства країни через застосування субсидій, податків і штрафів.

- захист каналів з метою зменшення втрат від фільтрації; заліснення постійних каналів у системах зрошення для утилізації фільтрованої води та зменшення випаровування.

- регулярний перегляд моделювання водного режиму в регіоні з використанням останніх кліматичних даних (оновлені результати є основою для раціонального використання водних ресурсів та надання ліцензій і дозволів);

- оцінка потреб у воді основними комунальними службами в умовах зміни клімату.

План імплементації Водної Рамкової директиви ЄС затверджено Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 квітня 2015 року №371 [24, 25].

Рішення поставлених задач частково надане у роботах вчених Одеського державного екологічного університету присвячених розгляду гідроекологічних проблем лиманів Північно-Західного Причорномор'я [19], включаючи Куяльницький, Тилігульський та Хаджибейський лимани [4, 26]. До дослідження водозбору Куяльницького лиману був залучений європейський досвід з питань комплексного управління водними ресурсами Європейських лагун в умовах змін клімату (Міжнародний дослідницький проект 7-ї Рамкової Програми ЄС «Комплексне управління водними ресурсами і прибережною зоною в Європейських лагунах в умовах зміни клімату» [27].

Виклад основного матеріалу дослідження. Річка В.Куяльник є водним об'єктом Північно-Західного Причорномор'я і джерелом живлення Куяльницького лиману прісними річковими водами. Основними чинниками антропогенного впливу є урбанізація, розораність земель і створення штучних водойм (ставків, прудів, каналів, тощо).

Ступінь впливу водогосподарської діяльності на природний стік річки оцінювався за стохастичною моделлю "клімат-стік", де на вході використовуються метеорологічні дані та відомості про масштаби водогосподарських перетворень, а на виході отримуються характеристики природного та побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку. Методики розрахунків природного та побутового стоку невивчених у гідрологічному відношенні річок, водозбори яких знаходяться під дією антропогенного навантаження, спираються на результати математичного моделювання за моделлю "клімат-стік". В результаті імітаційного стохастичного моделювання виявлені та узагальнені у вигляді розрахункових залежностей основні закономірності змін статистичних параметрів річного стоку від показників рівня водогосподарської діяльності на водозборах [8,9]. Апроксимація отриманих залежностей математичними функціями дозволила розробити узагальнені розрахункові рівняння, названі "функціями антропогенного впливу" або "функціями відгуку". Розроблені методики увійшли до нормативних документів по розрахунках стоку республіки Молдова [28] та введені у проект державних будівельних норм України [29].

Оцінку наслідків водогосподарської діяльності надаються через «коефіцієнти антропогенного впливу»

$$k_A = \frac{A_f}{A_0}, \quad (1)$$

де A_0 – значення того або іншого статистичного параметра річного стоку в природних умовах; A_f – значення параметра річного побутового стоку при заданих показниках антропогенного впливу.

Чинники водогосподарської діяльності впливають на стік річок в комплексі, тому було запропоновано методику їх сумісного врахування. Сумісна дія m водогосподарських чинників може бути визначена за наступним рівнянням

$$A_f = A_0 [k_1 + k_2 + k_3 \dots + k_m - (m-1)], \quad (2)$$

де $k_1, k_2, k_3 \dots k_m$ – коефіцієнти, які кількісно враховують зміни статистичних параметрів річного стоку при різних водогосподарських чинниках.

Для кількісної оцінки впливу додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм на річний стік розроблені такі «функції відгуку» характеристик стоку на водогосподарське втручання, які мають вигляд

$$k'_{\bar{Y}} = e^{-\alpha_{\bar{Y}} f_B} ; \quad (3)$$

$$k'_{C_V} = e^{\alpha_{C_V} f_B} ; \quad (4)$$

$$k'_{C_S} = e^{\alpha_{C_S} f_B} , \quad (5)$$

де $k'_{\bar{Y}}$, k'_{C_V} , k'_{C_S} – коефіцієнти впливу додаткового випаровування з поверхні штучних водойм на статистичні параметри річного стоку $\bar{Y}$, C_V , C_S , f_B – сумарна площа водної поверхні штучних водойм, виражена у відсотках від загальної площі водозборів F ; α_A – коефіцієнти інтенсивності антропогенного впливу на розглядуваний статистичний параметр, які залежать від норми кліматичного стоку $\bar{Y}_K$.

Визначення коефіцієнтів α_A для рівнинних територій відбувається за такими рівняннями

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,767 \bar{Y}_K^{(-0,49)} ; \quad (6)$$

$$\alpha_{C_V} = 0,247 e^{(-0,0274 \bar{Y}_K)} ; \quad (7)$$

$$\alpha_{C_S} = 0,179 e^{(-0,0246 \bar{Y}_K)} . \quad (8)$$

Коефіцієнт антропогенного впливу, який характеризує втрати на заповнення штучних водойм водою, визначається як відношення

$$\frac{\bar{W}_{PP} - \bar{W}_3}{\bar{W}_{PP}} = \frac{W_{POB}}{W_{PP}} = k_{\bar{Y},3} , \quad (9)$$

де $\bar{W}_{PP}$ – об'єм природного стоку, який надходить до водосховищ або ставків; $\bar{W}_3$ – об'єм заповнення; W_{POB} – об'єм побутового стоку, який залишається після врахування «функцій відгуку»; $k_{\bar{Y},3}$ – коефіцієнт втрат на заповнення штучних водойм.

Значення коефіцієнту антропогенного впливу, які відображають дію агротехнічних заходів (а саме – розораність водозбору), встановлювалися за методикою, запропонованою вченими Молдови, зокрема проф. Мельничуком О.М., які сумісно з науковцями ОДЕКУ розробляли методики оцінки характеристик стоку в умовах значного антропогенного впливу [28]

$$\psi_{at} = \frac{\bar{Y}_{POB}}{\bar{Y}_{PP}} = 1 - 10^{-2} \Delta_{at} , \quad (10)$$

де ψ_{at} – коефіцієнт впливу агролісомеліорацій; $\bar{Y}_{POB}$ – норма побутового стоку, яка утворилася під впливом агролісомеліорацій; $\bar{Y}_{PP}$ – норма природного річного стоку, являє собою водні ресурси незмінні антропогенними факторами, і встановлюється як добуток норми кліматичного стоку на значення антропогенного коефіцієнту; Δ_{at} – зменшення норми природного стоку, у % (встановлюється за [28]).

Урбанізованість територій залежить від утворення значних водонепроникних площ. За умови, що відсутні додаткові атмосферні опади над урбанізованою

територією, підземне живлення та відсутність перекиду стоку з інших басейнів, зміну середньої багаторічної величини річного стоку було оцінено за такою формулою [28]

$$\Delta Y_{ur} = \bar{Y}_{пп} \psi_{\eta} f_{ur} , \quad (11)$$

де ΔY_{ur} - зміни річного стоку за рахунок урбанізації; ψ_{η} - коефіцієнт, який залежить від долі непроникних площ; f_{ur} - доля площі урбанізованої території. Параметри ψ_{η} , f_{ur} встановлюються за відповідною таблицею [28].

Коефіцієнт антропогенного впливу, який відображає наслідки урбанізації при формуванні стоку з водозборів, визначався наступним чином

$$k_{ur} = 1 + \psi_{ur} f_{ur} , \quad (12)$$

$$\text{де } k_{ur} = \frac{\bar{Y}_{пп} + \Delta \bar{Y}_{ur}}{\bar{Y}_{пп}} .$$

Коефіцієнт впливу скиду забруднених вод розраховувався таким чином:

$$K_{СК} = \frac{W_{пп} + W_{СК}}{W_{пп}} , \quad (13)$$

де $K_{СКПР}$ - коефіцієнт впливу скиду вод на природний стік; $W_{пп}$ - природний річний стік, млн. м³; $W_{СК}$ - об'єм скидів, млн. м³.

Розораність водозбору р. Великий Куяльник прийнята рівною 61,27%, урбанізованість – 6,97%, об'єм скиду - 0,372 млн.м³, сумарний об'єм заповнення штучних водойм – 15,6 млн.м³, відносна площа водної поверхні – 0,33%.

Опис і аналіз результатів. Оцінка втрат стоку на заповнення штучних водойм виконувалася на основі даних про їх сумарні об'єми для кожної річки окремо. Якщо вважати, що всі водойми щорічно повністю заповнюються водою (100% заповнення), то вийшло б, що середній багаторічний стік усіх приток р. Великий Куяльник витрачався б на заповнення ставків і мав би дорівнювати нулю (табл. 1). У роботі [4], було показано, що найбільша відповідність розрахункових та фактичних значень побутового стоку у створі р. Великий Куяльник установлюється за умови, що для середнього багаторічного періоду приймається 40% наповнення штучних водойм (табл. 2).

Таблиця 1. Оцінка впливу штучних водойм на середній багаторічний об'єм природного стоку річок у басейні р. Великий Куяльник (при 100% їх заповненні) [4]

Річка	$\bar{W}_{пп}$, млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				наповнення $k_{\bar{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\bar{Y}}$	сумарний коефіцієнт $k_{\bar{Y}}$
р. В.Куяльник	20,4	15,6	0,33	0,24	0,93	0,27
р. Кошкова	3,50	5,05	0,36	0,00	0,94	0,00
б. Силівка	1,53	3,07	0,37	0,00	0,94	0,00
р. Суха Журівка	3,29	2,19	1,78	0,33	0,76	0,09
Верхів'я р. В.Куяльник	7,85	1,27	0,62	0,84	0,91	0,75
Ділянка р. В.Куяльник (Силівка–Суха Журівка)	3,41	4,32	0,87	0,00	0,87	0,00

Таблиця 2. Оцінка впливу штучних водойм на середній багаторічний об'єм природного стоку річок водозбору р. Великий Куяльник при їх 40%-му заповненні

Річка	$\bar{W}_{\text{ПР}}$, млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				наповнення $k_{\bar{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\bar{Y}}$	сумарний коефіцієнт $k_{\bar{Y}}$
р. В.Куяльник	20,4	7,8	0,33	0,70	0,93	0,63
р. Кошкова	3,50	2,02	0,36	0,42	0,94	0,36
б. Силівка	1,53	1,23	0,37	0,20	0,94	0,14
р. Суха Журівка	3,29	0,876	1,78	0,73	0,76	0,49
Верхів'я р. В.Куяльник	7,85	0,506	0,62	0,94	0,91	0,85
р. В.Куяльник(Силівка– Суха Журівка)	3,41	1,73	0,87	0,49	0,87	0,36

Результати розрахунків коефіцієнтів антропогенного впливу за кожним видом господарської діяльності зведені до таблиці 3.

Сумарний коефіцієнт антропогенного впливу за виділеними чинниками встановлювався за формулою

$$Y_{\text{ПОБ}} = Y_{\text{ПР}} \left\{ \left[k_{\bar{Y},3} + k'_{\bar{Y}} + \psi_{at} + k_{ur} + k_{СК} - 4 \right] \right\}. \quad (14)$$

Установлено, що сумарний коефіцієнт антропогенного впливу дорівнює 0,67 (табл. 3). Штучні водойми та розораність водозборів сприяють зменшенню стоку річки В.Куяльник, а вплив урбанізованості та скиду вод – зростанню.

Таблиця 3. Розраховані коефіцієнти антропогенного впливу

Вид антропогенної діяльності	Коефіцієнти антропогенного впливу
Втрати на заповнення штучних водойм (при 40% заповненні їх загального об'єму), $k_{\bar{Y},3}$	0,70
Втрати на додаткове випаровування з водної поверхні штучних водойм, $k'_{\bar{Y}}$	0,93
Вплив агролісомеліорацій, ψ_{at}	0,94
Вплив урбанізованості водозбору, k_{ur}	1,08
Скидання вод, $K_{СК\text{ПР}}$	1,02
Сумарний коефіцієнт антропогенного впливу	0,67

Проте вплив останніх двох чинників не суттєвий (у межах 10%). Сумарна дія штучних водойм (їх заповнення $k_{\bar{Y},3}$ та втрати на випаровування $k'_{\bar{Y}}$) оцінюється коефіцієнтом 0,63. Вплив урбанізованості та скиду вод майже перекривається наслідками розораності поверхні водозбору. Отже, основним антропогенним чинником на водозборі р.Великий Куяльник слід визнати вплив штучних водойм. Оскільки на інших водотоках водозбору Куяльницького лиману зберігається така сама водогосподарська ситуація, у подальшому при оцінках побутового стоку розглядалися саме наслідки впливу штучних водойм.

Отримані Н.С. Лободою та Божок Ю.В. результати моделювання водних ресурсів Північно-Західного Причорномор'я в умовах змін клімату (за кліматичними сценаріями) [5, 6] показали, що можливе їх зменшення за сценарієм RCP4.5 становитиме 37,4% у 2011-2050 рр. та 48,6% за сценарієм RCP8.5. Коефіцієнти сумарного антропогенного впливу штучних водойм досягнуть у 2011-2050 рр. значення 0,36 (за сценарієм RCP4.5) та 0,27 (для сценарію RCP8.5) (табл. 4, 5).

Таблиця 4. Оцінка впливу штучних водойм на середній багаторічний об'єм природного стоку річок водозбору р. Великий Куяльник при їх 40%-му заповненні за 2011-2050 рр. згідно із сценарієм RCP4.5

Річка	$\bar{W}_{\text{ПР}}$, млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				наповнення $k_{\bar{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\bar{Y}}$	сумарний коефіцієнт $k_{\bar{Y}}$
р. Великий Куяльник	12,9	7,8	0,33	0,91	0,40	0,30
р. Кошкова	2,20	2,02	0,36	0,88	0,37	0,26
б. Силівка	0,964	1,23	0,37	0,90	0,42	0,31
р.Суха Журівка	2,07	0,876	1,78	0,65	0,88	0,53
Верхів'я р. В.Куяльник	4,95	0,506	0,62	0,88	0,90	0,77
р. В.Куяльник (Силівка– Суха Журівка)	2,15	1,73	0,87	0,78	0,20	0

Таблиця 5. Оцінка впливу штучних водойм на середній багаторічний об'єм природного стоку річок водозбору р. Великий Куяльник при їх 40%-му заповненні за 2011-2050 рр. згідно із сценарієм RCP8.5

Річка	$\bar{W}_{\text{ПР}}$, млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				наповнення $k_{\bar{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\bar{Y}}$	сумарний коефіцієнт $k_{\bar{Y}}$
р. В.Куяльник	10,4	7,8	0,33	0,90	0,25	0,15
р. Кошкова	1,78	2,02	0,36	0,87	0,23	0,10
б. Силівка	0,78	1,23	0,37	0,88	0,28	0,17
р.Суха Журівка	1,68	0,876	1,78	0,62	0,85	0,47
Верхів'я р. В.Куяльник	4,00	0,506	0,62	0,86	0,87	0,74
р. В.Куяльник (Силівка– Суха Журівка)	1,74	1,73	0,87	0,76	0,01	0

Висновки. Оцінка різних чинників водогосподарської діяльності на водозборі р. Великий Куяльник, яка у минулому була головним постачальником прісних річкових вод до Куяльницького лиману, показала, що найбільш дієвий вплив на її водність чинять штучні водойми, які заповнюються лише у багатоводні роки і можуть на протязі декількох сезонів, і навіть років, знаходитись у пересохлому стані. Отримані за моделлю “клімат-стік” результати розрахунків побутового стоку за кліматичними сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 дозволяють зробити висновок, що у XXI сторіччі збільшення стоку річок водозбору р. Великий Куяльник за рахунок кліматичних умов не відбудеться, оскільки посушливість клімату буде зростати. Через зменшення водності річок наслідки створення штучних водойм посиляться, що призведе до незворотного руйнування водних ресурсів річок (побутовий стік на період 2011-2050 рр. за сценарними даними зменшиться майже у два рази у порівнянні із сучасним). Для збереження водних ресурсів р. Великий Куяльник необхідно лімітувати об'єми заповнення штучних водойм в залежності від значень природного (непорушеного господарською діяльністю) середнього багаторічного річного стоку річок.

Список літератури

1. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: моногр. / С. М. Степаненко, А. М. Польовий, Н. С. Лобода. Одеса: ТЕ, 2015. 520 с. 2. Loboda N., Bozhok Y. Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region.

International Journal of Research In Earth and Environmental Sciences, 2015. Vol 02, No. 9. P. 1-6. **3. Осмоловський-Ярошенко А. Р.** Історія наших лиманів за теорією і спостереженнями. Зап. Од. наук. при ВУАН Тар, 1929. Ч. 3. С. 39-74. **4.** Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: моногр. / За ред. Лободи Н. С., Гопченка Є. Д. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с. **5. Лобода Н. С., Божок Ю. В.** Вплив кліматичних змін на водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я у сценарних умовах (RCP8.5 та RCP4.5). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2016. Т.2 (41). С.48-58. **6. Лобода Н. С., Божок Ю. В.** Водні ресурси України ХХІ сторіччя за сценаріями змін клімату (RCP8.5 та RCP4.5). Український гідрометеорологічний журнал, 2016. №17, С. 114-122. **7. Лобода Н. С., Тучковенко Ю. С. Гриб О. М., Кушнір Д. В., Отченаш Н. Д.** Раціональне використання та відновлення водних ресурсів водозбору р. Великий Куяльник та Куяльницького лиману у кліматичних умовах ХХІ сторіччя / Збірник статей науково-практичної конференції із міжнародною участю, м.Рівне, 5-8 липня, 2017 р. Житомир : Вид-во ЕП "Укрекобіокон". 2017. С. 211-216. **8. Лобода Н. С.** Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: моногр. Одеса : Экология, 2005. 208 с. **9. Гопченко Е. Д., Лобода Н. С.** Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). К. : КНТ, 2005. 188 с. **10.** Регіональна програма збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки, затверджена рішенням Одеської обласної ради № 270-VI від 28.10.2011 р. (з усіма змінами та доповненнями). **11. Лалыкин Н.В., Светличный А.А.** Влияние орошения на норму годового стока рек Молдавии. Метеорология, климатология и гидрология. Одесса-Киев : Вища Школа, 1982. Вып. 18. с. 144-148. **12. Мельничук О. Н.** Паводки и наводнения на реках Молдовы: монография. Кишинэу: Primex-Com, 2012. 234 р. **13. Мельничук О., Лалыкин Н., Константинова Т., Бобок Н., Недялкова М.** Отчет по теме «Современное количественное и качественное состояние водных ресурсов». Кишинэу. 2004. 79 с. **14. Вишневський В.І.** Річки і водойми України. Стан і використання. К. : Віпол, 2000. 376 с. **15. Вишневський В.І., Косовець О.О.** Гідрологічні характеристики річок України. К. : Ніка-Центр, 2003. 324 с. **16. Яцык А.В.** Экологические основы рационального водопользования. К. : Генеза, 1997. 628 с. **17. Гребінь В. В., Мокін В. Б., Хільчевський В. К. та ін.** Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу. К. : Інтерпрес, 2013. 55 с. **18. Гребінь В. В., Яцюк М. В., Чунарьов О. В.** Водогосподарське районування території України: критерії та порядок виділення водогосподарських ділянок. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2013. Т. 3. С. 6-14. **19.** Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: моногр. / за ред. Ю.С.Тучковенко, Є.Д. Гопченко. Одеса : ТЭС, 2012. 224 с. **20.** Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману : монографія / За ред. Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лободи. Одеса : ТЕС, 2014. 276 с. **21. Тучковенко Ю.С., Кушнір Д.В.** Результати чисельного моделювання внутрішньорічної мінливості характеристик гідрологічного режиму Куяльницького лиману. Український гідрометеорологічний журнал, 2016. № 17. С. 137-149. **22.** Директива 2000/60/ЄС Європейського парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23.10.2000 р. Люксембург: Бюро офіційних публікацій Європейських співтовариств. 2003, Р. 108. **23.** Досвід Європейського Союзу в адаптації до зміни клімату та застосування його в Україні, Organization for Security and Co-operation in Europe. OSCE, 2012, Р. 40. **24.** Якість води та управління водними ресурсами: короткий опис Директив ЄС та графіку їх реалізації / Проект ЄС, ЕПТІСА. Київ, 2015. 15 с. **25.** Урядовий портал: єдиний веб-портал органів виконавчої влади України. URL: http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=246396130&cat_id=223223535 (дата звернення 3.09.2017). **26. Гриб О.М., Лобода Н.С., Яров Я.С., Гриб К.О., Ренгач О.В., Марчук О.В.** Якість води малих річок на водозборах Хаджибейського та Куяльницького лиманів (Свинна, Малий та Великий Куяльник) в умовах водогосподарських перетворень в їх басейнах / Збірник статей науково-практичної конференції із міжнародною участю, м.Рівне, 5-8 липня, 2017 року. Житомир : Вид-во ЕП "Укрекобіокон". 2017. С.73-78. **27.** Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies / editor(s) Ana I. Lillebø, Per Stalnacke, Geoffrey D. Gooch. London: IWA Publishing, 2015. 256 р. **28.** Определение гидрологических характеристик для условий республики Молдова. СР D.01.05-2012. (Н.С. Лобода у ISSN:2306-5680 **Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia. 2017. № 3 (46)**

співавторстві) / Ministerul Dezvoltării Regionale și Construcțiilor al Republicii Moldova. Chișinău, Молдова. 2012. 180 с. **29.** ДБН України. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик. ДБН В.2.4 / Держ. наук.-дослід.ін-т будів. конструкцій» (НДІБК). Київ, 2014. 137 с.

**Антропогенне навантаження на стік річки Великий Куяльник в умовах кліматичних змін
Лобода Н.С., Куза А.М.**

На базі моделі «клімат-стік» оцінено вплив різних чинників водогосподарської діяльності на формування стоку річки Великий Куяльник. Установлено, що найбільшу дію чинять штучні водойми. Визначено коефіцієнти антропогенного впливу у кліматичних умовах ХХІ сторіччя за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Показано, що очікується безповоротне виснаження водних ресурсів водозбору Куяльницького лиману.

Ключові слова: модель «клімат-стік», кліматичний сценарій, коефіцієнти антропогенного впливу.

Антропогенная нагрузка на сток реки Большой Куяльник в условиях климатических изменений

Лобода Н.С., Куза А.М.

На базе модели «климат-сток» оценено влияние различных факторов водохозяйственной деятельности на формирование стока реки Большой Куяльник. Установлено, что наибольшее воздействие оказывают искусственные водоемы. Определены коэффициенты антропогенного воздействия в климатических условиях ХХІ века по сценариям RCP4.5 и RCP8.5. Показано, что ожидается необратимое истощение водных ресурсов водосбора Куяльницкого лимана.

Ключевые слова: модель «климат-сток», климатический сценарий, коэффициенты антропогенного воздействия.

**Anthropogenic load on the flow of the Great Kuyalnik River in the context of climate change
Loboda N.S., Kuza A.M.**

On the basis of the "climate-runoff" model, the influence of various factors of water use activities on the formation of the Great Kuyalnik River runoff was estimated. The relevance of the work relates to the need of foresight the effects of climate change in insufficient moistening zones of Ukraine, including Odessa region. The issues of careful relation to the natural resources, especially the rational use of water resources, which are limited, deserve a special attention. An important task for the start of the new century is the study of human impact on water resources, taking into account changes in the global and regional climate.

The Great Kuyalnik River is the water body of Northwest Black Sea region and the source of fresh river waters for the Kuyalnitskyi Liman. The river runoff is regulated. The main factors of human pressure are urbanization, plowing of lands and creation of artificial reservoirs (ponds, canals, etc.). It has been established that artificial ponds have the greatest impact. As a result of simulation stochastic modeling, the basic patterns of changes in statistical parameters of annual runoff and indicators of water use level in catchment areas are identified and summarized in the form of calculated dependences. Factors of water management influence the drainage of rivers in the complex, therefore a method of their joint accounting was proposed.

The coefficients of anthropogenic impact in the climatic conditions of the 21st century are determined according to the scenarios RCP4.5 and RCP8.5. It was found that the total coefficient of anthropogenic impact is 0.67. At the same time, artificial reservoirs and plowing of watersheds contribute to a decrease in river runoff, and the influence of urbanization and the dumping of water on growth. The results of calculations of domestic runoff according to the climate scenarios RCP4.5 and RCP8.5, obtained from the climate-drain model, allow to conclude that in the 21st century, the increase in the runoff of the Great Kuyalnik River due to climatic conditions will not occur, as the aridity of the climate will be growing.

It is shown that the irrevocable destruction of the water resources of the watershed of the Kuyalnitskyi Liman is expected. For preserving the water resources of the Great Kuyalnik River, it is necessary to limit the volumes of artificial reservoirs filling depending on the values of the natural (undisturbed by human activity) average annual river runoff.

Keywords: climate- runoff model, climate scenario, coefficients of anthropogenic impact.

Надійшла до редколегії 24.04.2017

МАКСИМАЛЬНІ МОДУЛІ СХИЛОВОГО ПРИПЛИВУ В ПЕРІОД ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ НА ТЕРИТОРІЇ ПРИАЗОВ'Я

Ключові слова: *максимальні модулі; весняне водопілля; дощові паводки; схиловий приплив.*

Вступ. Максимальний стік річок Приазов'я досить різноманітний та представлений дощовими паводками в теплий і холодний періоди року і весняною повінню. Проблема надійного розрахунку характеристик максимального стоку досить актуальна для регіону Приазов'я, який часто страждає від підтоплень, спричинених головним чином весняною повінню. Внаслідок цього наноситься значний економічний збиток об'єктам народного господарювання. На сьогоднішній день в області розрахунку максимального стоку річок в Україні все ще використовується нормативно-розрахункова база СНіП 2.01.14-83 [1], з моменту прийняття якої пройшло більше 40 років, що не могло не позначитись на тих чи інших базових параметрах.

Мета, вихідні матеріали. Описувана територія відноситься до степової зони і розташована на південних схилах Донецького кряжу і Приазовського плато. Спускаючись до моря, річки течуть по Приазовській низовині.

Приазовський басейн (7,8% території України) об'єднує річки, що впадають в Азовське море та його лимани і затоки. Тут налічується 2213 малих річок із сумарною довжиною 8,7 тис. км. Середня густота річкової мережі 0,20 км/км², а в цілому за територією спостерігається зменшення густоти річкової мережі зі сходу (0,3 км/км²) на захід (0,1-2,2 км/км²).

До найбільших річок північного узбережжя Азовського моря належать Молочна, Обіточна, Берда, Кальміус, Кальчик, Грузинський Єланчик, Мокрий Єланчик, Міус і Кринка [2].

З метою визначення максимальних модулів схилового припливу q'_m м³/с•км² для річок Приазов'я використовувалися дані 31 гідрологічних постів з площами водозборів від 63 км² (балка Полкова - с. Кременівка) до 5780 км² (р. Міус – р.п. Матвій Курган) та періодами спостережень від 6 років (р. Ольхівка – х. Ковальов) до 84 років (р. Берда – с. Осипенко).

Методика дослідження. В гідрологічній літературі наводиться досить велика кількість методик і формул для розрахунку характеристик максимального стоку весняного водопілля. Більшість з них має емпіричне походження і ґрунтується на залежностях максимальних модулів стоку від розміру водозборів або тривалості руслового добігання та декількох параметрів, за допомогою яких враховується регулюючий ефект озер, водосховищ, лісів та інше.

Першу спробу узагальнення напрацьованих формул і методів для розрахунку максимального стоку здійснив Д.Л. Соколовський. Він поділив спочатку формули на 2 групи за областю застосування: окремо по розрахунках максимального стоку весняного водопілля і дощових паводків. До першої групи віднесені редуційні й об'ємні формули. Класичним прикладом редуційної розрахункової методики є формула Д.І. Кочеріна (1932). Її загальний вигляд досить простий [2]

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + 1)^{n_1}}, \quad (1)$$

де q_m - максимальний модуль стоку; q'_m - максимальний модуль схилового припливу; F - площа водозбору; n_1 - степеневий показник редукції.

Наведені параметри, що входять до (1), визначаються за простою процедурою – логарифмуванням вихідної формули та побудовою емпіричних залежностей $\lg q_m = f[\lg(F + 1)]$. Тангенс кута нахилу лінії зв'язків до вісі абсцис є показник степені n_1 , а відрізок, що відсікається по ординаті (при $F = 0$) – максимальний модуль схилового припливу q'_m . Проблемними питаннями, які стосуються структури (1), були й залишаються:

1. Адекватність запровадженої структури явищу формування максимального стоку.

2. Можливості просторового узагальнення параметрів базової структури. Недоліки, які необхідно віднести до існування першої проблеми, були чітко окреслені у наукових працях К.П.Воскресенського (1956), О.О.Соколова (1970) й ін. Вони пов'язані з тим, що крім площі водозбору характер редукції багато в чому залежить від шарів стоку. І дійсно, виявилось, що модулі q'_m залежать від шару стоку за період водопілля та описуються рівнянням [3]

$$q'_m = k_0 Y_m, \quad (2)$$

де k_0 - коефіцієнт «дружності» (за термінологією нормативного документу СН 435-72) весняного водопілля.

Після підстановки (2) в (1) максимальний модуль стоку q_m буде дорівнювати

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (3)$$

У методичному відношенні шари стоку Y_m за період весняного водопілля рекомендується картувати, а k_0 - районувати або визначати за аналогією з сусідніми річками.

Редукційні формули вигляду (3) до цього часу використовуються при нормуванні характеристик максимального стоку річок як в Україні (СНіП 2.01.14-83), так і в інших країнах (зокрема, в деяких країнах СНД – це СП 33-101-2003).

Максимальний модуль схилового припливу q'_m можна розрахувати, виходячи з рівняння [4].

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right]. \quad (4)$$

При одномодальній формі гідрографів дощових паводків і весняних водопіль

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m = k_0 * Y_m, \quad (5)$$

де $\frac{n+1}{n}$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу; T_0 – тривалість схилового припливу; Y_m – максимальний шар стоку за період весняного водопілля (дощового паводку).

Результати дослідження. Параметри, що входять до формули (1), визначаються за простою процедурою – логарифмуванням вихідної структури та побудовою емпіричної залежності $\lg q_{1\%} = f[\lg(F+1)]$ (рис. 1).

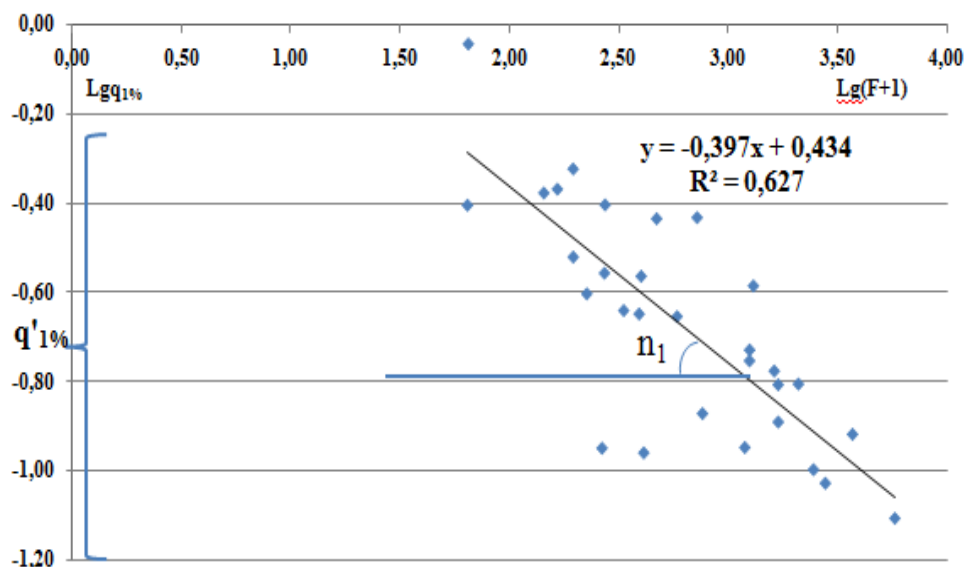


Рис. 1. Залежність максимальних модулів стоку весняного водопілля $q_{1\%}$ від площі водозборів річок Приазов'я

Степеневий показник n_1 є тангенсом tg кута нахилу лінії зв'язку до осі абсцис і дорівнює 0.40. Максимальний модуль схилового припливу $q_{1\%}$ при забезпеченості $P_{=1\%}$ – це відсікаємий відрізок на осі ординат, він дорівнює $2.7 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$.

Таким чином,

$$q_{1\%} = \frac{2.7}{(F+1)^{0.40}} \quad (6)$$

Перевірочні розрахунки за рівнянням (6) при $q'_{1\%} = 2.7 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$ і $n_1=0.40$ свідчать про досить велику похибку ($|\Delta q'_{1\%}| = 49\%$). З метою уточнення розрахункових модулів схилового припливу оберненим шляхом з (1) були отримані індивідуальні значення $q'_{1\%}$, тобто

$$q'_{1\%} = q_{1\%} \cdot (F+1)^{0.40} \quad (7)$$

Величини k_0 були узагальнені шляхом побудування карти – схеми ізоліній (рис. 2).

Ізолінії $k_0 \cdot 10^{-2}$ проведені через $0.5 \cdot 10^{-2}$, змінюються по території Приазов'я від $1.0 \cdot 10^{-2}$ до $2.5 \cdot 10^{-2}$ у напрямку з північного сходу на південний схід.

Похибка коефіцієнта схилового припливу $|\Delta k_0|$ становить 16.7%, що відповідає точності вихідної інформації ($\sigma Q_{1\%} = \pm 29\%$) і вимогам діючого в Україні СНіП 2.01.14 – 83 [1].

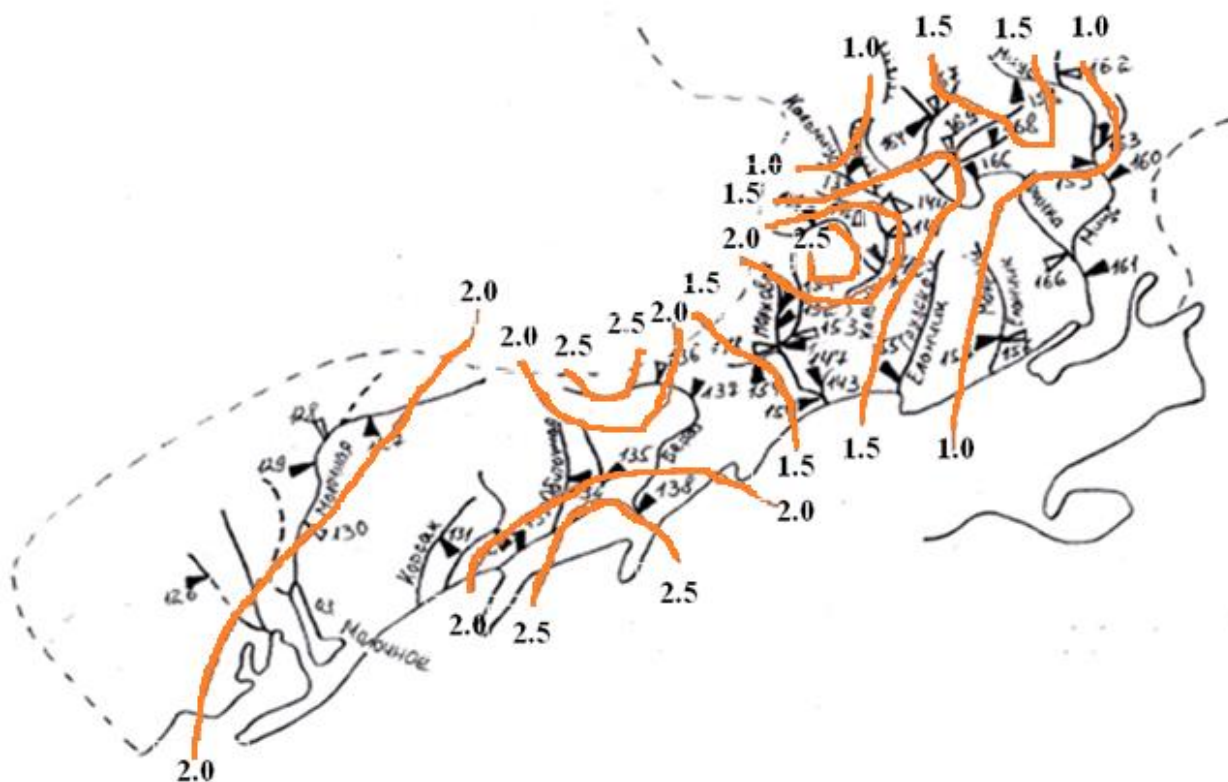


Рис. 2. Карта – схема розрахункових коефіцієнтів «дружності» $k_0 \cdot 10^{-2}$ весняного водопілля на території Приазов'я

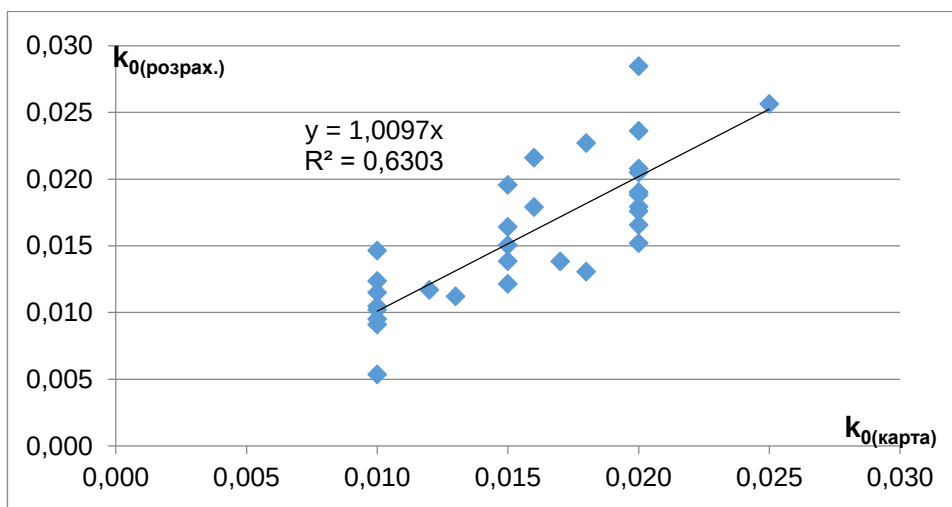


Рис. 3. Порівняльний аналіз коефіцієнтів схилової трансформації k_0 , $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$, розрахованих за рівнянням та знятих з карти

Залежність свідчить про задовільну збіжність розрахункових коефіцієнтів схилової трансформації k_0 з вихідними даними. Відсутні для річок, на яких спостереження не ведуться, максимальні модулі схилового припливу $q_{1\%}$ можливо визначити за допомогою карти - схеми модулів схилового припливу весняного водопілля (рис. 4).

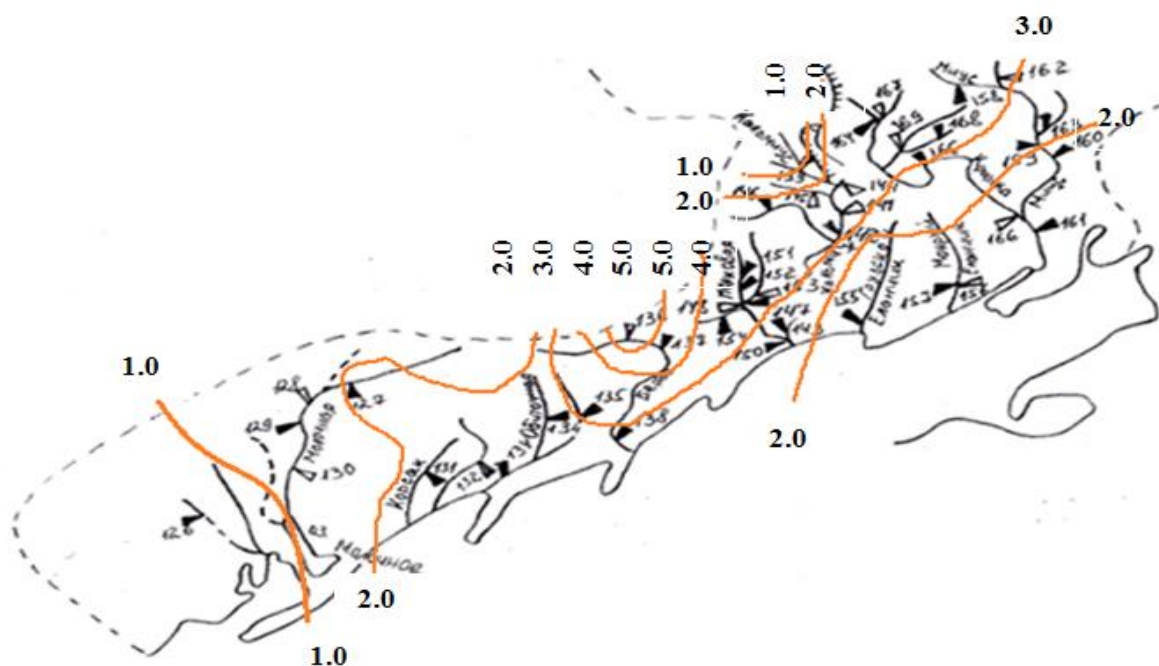


Рис. 4. Карта -схема ізоліній розрахункових модулів схилового припливу $q'_{1\%}$ м³/с*км² весняного водопілля на території Приазов'я

Ізолінії $q'_{1\%}$ проведені через 1.0 м³/с*км² і змінюються по території Приазов'я від 1.0 м³/с*км² до 5.0 м³/с*км² у напрямку з північного сходу на південний схід.

Висновок. Отримані результати в подальшому можуть бути використані для розрахунку максимального стоку весняного водопілля в басейні річок Приазов'я.

Список літератури.

1. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик (СНиП 2.01.14-83). Л. : Гидрометеиздат, 1984. 447 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. Вып. 3. Бассейн Северского Донца и реки Приазовья. Л. : Гидрометеиздат, 1967. 492 с.
3. Соколовський Д. Л. Речной сток. Л. : Гидрометеиздат, 1968. 439 с.
4. Гопченко Є. Д., Лобода Н. С., Овчарук В. А., Гідрологічні розрахунки. Підручник .: Одеса, ТЕС, 2014. 483 с.

Максимальні модулі схилового припливу в період весняного водопілля на території Приазов'я

Гопченко Є.Д., Кирилюк О.С.

У статті розглядаються розрахункові характеристики весняного водопілля у межах степової зони і розташована на південних схилах Донецького кряжу і Приазовського плато. Спускаючись до моря, річки течуть по Приазовській низовині.

Науково – методичні підходи, які використані для розрахунку, пов'язані з проблемою визначення максимального стоку весняних водопіль на річках Приазов'я.

Ключові слова: максимальні модулі; весняне водопілля; дощові паводки; схиловий приплив.

Максимальные модули склонового притока в период весеннего половодья на территории Приазовья

Гопченко Е.Д., Кирилюк О.С.

В статье рассматриваются расчетные характеристики весеннего половодья в пределах степной зоны, которая расположена на южных склонах Донецкого кряжа и Приазовского плато. Спускаясь к морю, реки текут по Приазовской низменности.

Научно - методические подходы, которые использованы для расчета, связанные с проблемой определения максимального стока весенних половодий на реках Приазовья.

Ключевые слова: максимальные модули; весеннее половодье; дождевые паводки; склоновый приток.

The maximum modulus of a slope inflow during the period of spring flood in the territory of the Azov sea

Hopchenko E.D., Kirilyuk O.S.

The article deals with the calculated characteristics of the spring flood within the steppe zone which is located on the southern slopes of the Donetsk ridge and the Priazov plateau. Going down to the sea, the rivers flow along the Priazovskaya lowland.

The maximum runoff of the Azov Sea rivers is quite diverse and is represented by rain floods in the warm and cold periods of the year and spring flood. The problem of a reliable calculation of the characteristics of the maximum runoff is very relevant for the Azov region, which often suffers from flooding, caused mainly by the spring flood. As a result, considerable economic damage is caused to the objects of the national management.

Scientific and methodical approaches that are used for calculation related to the problem of determining the maximum runoff of spring floods on the rivers of the Azov Sea.

Keywords: maximum modules, spring flood, rain floods, slope tide.

Надійшла до редколегії 15.05.2017

УДК 556.56.3.4

Осадчая Н.Н., Осадчий В.И., Зинец И.А., Набиванець Ю.Б., Артёменко В. А.

Украинский гидрометеорологический институт, г. Киев

ПОЛЕВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫНОСА ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ТОРФЯНИСТЫХ ПОЧВ И ОЦЕНКА ИХ РОЛИ В ТРАНСПОРТИРОВАНИИ РАСТВОРЕННЫХ ФОРМ ЖЕЛЕЗА

Ключевые слова: *стоковая площадка; гуминовые кислоты; фульвокислоты; железо; термодинамическое моделирование.*

Введение. Питьевое водоснабжение в Украине обеспечивается преимущественно за счет ресурсов поверхностных вод. Среди них только р. Днепр обеспечивает питьеое водоснабжение для более 30 млн. человек. В пределах территории Украины сток р. Днепр зарегулирован в каскад из 6 водохранилищ. Сооружение каскада днепровских водохранилищ привело к изменениям химического и гидробиологического режимов реки. Верхнее Киевское водохранилище, из-за своего расположения, имеет функции главного барьера в каскаде, также оно является одним из источников питьевого водоснабжения для 4 миллионов жителей столицы Украины, города Киева. Киевское водохранилище имеет специфический химический состав воды: высокие концентрации органических веществ и значения цветности воды, повышенное содержание железа, высокую степень эвтрофикации, периодическое снижение концентраций кислорода до критических значений, приводящее к частым заморным явлениям.

Как отмечалось в наших предыдущих работах, значительное влияние на химический состав воды Киевского водохранилища оказывает р. Припять, формирующая 27 % водного стока Днепра [6, 7]. Региональные климатические изменения, наблюдающиеся в течение последних десятилетий, существенно повлияли на характеристики весеннего половодья р. Припять, вызвали увеличение стока зимней межени, что отразилось на показателях химического состава воды реки [3, 14]. Ввиду своего заболоченного бассейна, воды р. Припять ежегодно приносят в Киевское водохранилище более 13 км³ воды с высоким содержанием гумусовых веществ (ГВ). Органическое загрязнение воды, вызванное повышенным поступлением ГВ, усложняет проблему обеспечения качественной питьевой водой городов, для которых р. Днепр является основным источником питьевого водоснабжения. ГВ вносят значительные помехи в процесс водоподготовки, при обеззараживании воды, образуя вторичные канцерогенные хлорорганические соединения [12, 18].

Бассейн р. Припять является трансграничным. В Украине находится 57% его площади, в Беларуси – 43%. На украинской части бассейна Припяти расположены исток, верхнее течение и устьевая зона впадения реки в Киевское водохранилище. Несмотря на то, что наблюдения за гидрологическим режимом устьевой зоны были начаты в конце XIX в., имеющиеся ряды очень разрознены, неоднократно прерывались, посты меняли свою координатную привязку, а после Чернобыльской аварии в 1986 г., значительная часть информации стала носить ведомственный характер. Наблюдения за содержанием органических веществ гумусового

ISSN:2306-5680 *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiia*. 2017. № 3 (46)

происхождения выполняются только в процессе реализации специализированных научных проектов.

В связи с вышесказанным, исследования особенностей эмиссии органических веществ с водой р. Припять, а также прогнозирование количественных характеристик их поступления в Киевское водохранилище являются актуальной задачей для управления водными ресурсами в бассейне Днестра, а также обеспечения надлежащего качества питьевой воды для населения Украины.

Цель работы – изучить особенности и установить количественные параметры выноса органических веществ гумусовой природы и железа с болотных угодий, покрытых торфом, а также оценить роль отдельных процессов, ответственных за миграцию железа с водным стоком реки.

Материалы и методы исследования. Исследования были проведены на территории экспериментальной базы Украинского гидрометеорологического института (УкрГМИ), расположенной в лесостепной зоне Украины на расстоянии 130 км от г. Киева. Экспериментальную площадку, размером 2 м² (2X1 м) обустроили на левобережном склоне долины р. Рось в пределах малого водосбора р. Богуславки. Площадку оконтуривал бетонный бортик высотой 10 см, который углублялся в почву на 100 см. Уклон площадки составлял 2°. Водоприемный блок находился в нижней части площадки на глубине 1 м. Стоковые трубы располагались на глубине около 10 см и возле водоудерживающего слоя. Это позволило физически разделить поверхностный и подповерхностный сток. Пробы воды отбирали в пластиковые емкости объемом 10 л. В летний период почвенный покров площадки был извлечен на глубину промерзания почвы 50 см. Образовавшаяся емкость была укрыта водоудерживающим слоем, на который плотно уложили торф, отобранный послойно квадратами 50X50 см в бассейне р. Припять. Доминирующая часть компонентного состава торфа - 96% - была представлена органическим веществом гумусовой природы, образовавшимся в результате разложения растительных остатков. Содержание основных фракций ГВ было следующим: гуминовые кислоты (КГ) - 696 мг/г, фульвокислоты (ФК) – 265 мг/г. Общий запас ГВ на площадке составил 1789 кг (1295 кг ГК и 494 кг ФК). Подготовленная таким образом площадка стояла до начала зимы. В холодный период года на ней был аккумулирован запас снега высотой около 1 м.

Эксперимент по моделированию стока в период снеготаяния. Эксперимент начался, когда повышение температуры воздуха привело к образованию стока. Пробы водного стока отбирали вручную в водоприемном блоке. Частота отбора проб зависела от интенсивности стока, а их объем должен был составлять не менее 2 л, что было продиктовано особенностями химического анализа. Пробы фильтровали через мембранный фильтр (0,45 мкм) и помещали в холодильник.

Изложение основного материала исследования.

Водный сток. В процессе снеготаяния был сгенерирован водный сток, наблюдавшийся 292 часа до полного истощения снегового запаса (рис. 1). Поверхностный сток отсутствовал, а объем подпочвенного составил 473 л, что соответствовало слою стока 237 мм. Как известно, в болотных массивах формирование дождевых паводков и весеннего половодья происходит преимущественно под влиянием фильтрационного движения атмосферных осадков через активный слой торфа. Торф, используемый на экспериментальной площадке, практически полностью состоял из продуктов гумификации органических остатков (96%). Коллоидно-дисперсные свойства ГВ обуславливают высокую влагоемкость торфа, которая может достигать 2000%. Иными словами, торф может удерживать в 20 раз больше влаги по сравнению с его собственной сухой массой [14].

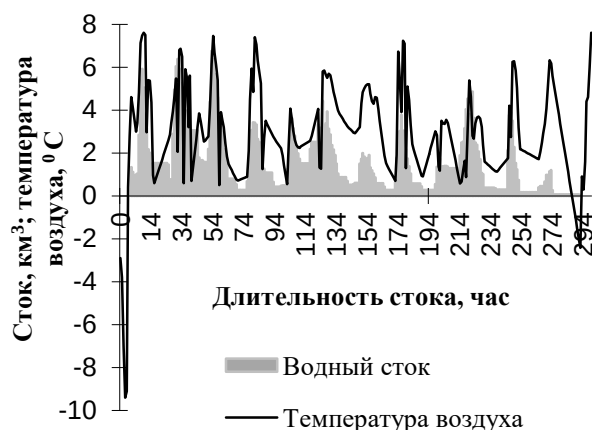


Рис. 1. Динамика температуры воздуха и объема водного стока в процессе снеготаяния на малой стоковой площадке

Высокая степень гидрофильности торфа связана с доминированием в составе ГВ активных полярных карбоксильных COOH и гидроксильных OH групп, обуславливающих склонность коллоидных частиц к ионообменным реакциям.

Характерно, что коэффициент соотношения суммарного стока к суммарной температуре воздуха (R) со временем снижался (рис. 2). Торф чрезвычайно чувствителен к смене влажности. Его водоотдача не является постоянной характеристикой, а в сильной степени зависит от условий предварительного насыщения водой. На начальной стадии увлажнения торфяной залежи значительная часть воды удерживается капиллярными силами в порах и трещинах твердого скелета торфа, что обеспечивает достаточно высокую водоотдачу торфяной массы. Это наблюдалось первые 3-е суток формирования стока. В условиях продолжительного увлажнения торфяной массы увеличивается доля физико-химической влаги, связанной с коллоидными частицами, в связи, с чем водоотдача торфа уменьшилась.



Рис. 2. Изменение отношения суммарного стока к суммарной температуре воздуха (R) в процессе формирования водного стока

Эмиссия гумусовых веществ. Водный сток стимулировал вымывание из толщи торфа ГВ. Среди двух исследованных нами фракций ГВ в эмиссионном стоке доминировали ФК, что характерно для природных вод. Концентрации ГК в воде стока варьировали в пределах $12\text{--}44\text{ мг/дм}^3$, ФК – $144\text{--}443\text{ мг/дм}^3$. Известно, что растворимость ГВ напрямую зависит от размеров и конфигурации их молекулы [10].

Несмотря на общие принципы строения ГВ, в центре молекулы которых находится ароматическое ядро, окруженное периферийными алифатическими цепями углеводного и полипептидного состава, между молекулами ГК и ФК есть существенные индивидуальные различия. Они заключаются в соотношении ароматических и периферийных алифатических структур, а также в различном содержании функциональных групп (преимущественно карбоксильных и гидроксильных). Большая по сравнению с ГК подвижность и реакционная способность ФК обусловлена их меньшими молекулярными массами и более высоким содержанием функциональных групп. В составе ГК соотношение ароматического и алифатического углерода выше по сравнению с ФК, а содержание основных функциональных групп значительно меньше [19]. Между концентрациями ГВ в подпочвенном стоке и расходами воды не найдено сколько-нибудь значимой зависимости. Это связано с турбулентно-диффузионным характером поступления ГВ и детально описано в нашей предыдущей работе на примере односуточного стока ГВ [15]. В процессе взаимодействия твердой фазы грунта и водного стока схематически можно выделить несколько фаз. На первой фазе возрастание расходов воды сопровождается увеличением концентраций растворимых веществ. Вследствие их диффузии из почвенного покрова до достижения равновесного состояния между контактирующим слоем почвы и водой. На второй фазе наблюдается динамическое промывание контактирующего слоя, когда возрастание расходов воды не отражается на концентрациях растворенных веществ в стоке. И на третьей фазе, когда водный сток достигает нового горизонта почвы, содержание транспортируемых веществ в водах стока снова возрастает вследствие возникшего градиента концентраций. Эта фаза обычно наблюдается на нисходящей ветви гидрографа стока. В результате последовательной смены перечисленных фаз, одним и тем же расходам воды могут соответствовать разные концентрации растворенных веществ.

В отличие от концентраций, вынос ГК и ФК с водосборной территории прямо зависит от объема водного стока (рис. 3). Коэффициенты корреляции между водным стоком и указанными компонентами составили 0,91 и 0,97, соответственно.

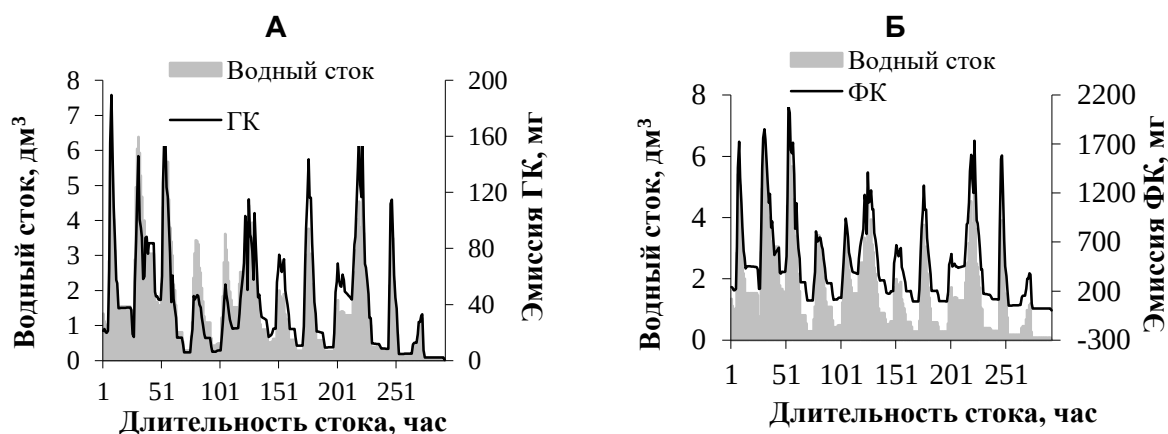


Рис. 3. Эмиссия ГК (А) и ФК (Б) из слоя торфа глубиной 50 см слоя в процессе снеготаянья

Как следует из двойных интегральных кривых ГК, ФК и водного стока, растворение первых является гомогенным процессом. Напротив, некоторые переломы наблюдаются на двойной интегральной кривой ГК. В связи с этим нами было проведено дополнительное лабораторное исследование условий и

граничных пределов растворимости ГК в воде с использованием препарата ГК. Соотношение твердой и жидкой фазы в эксперименте составляло 1: 100. Полученные результаты показали, что при контакте ГК с водой в растворенную фазу может переходить не более 1,8% массовой доли ГК.

Процесс растворения ГК в значительной мере зависел от физико-химических условий среды (рис. 4). Увеличение ионной силы раствора до $\mu = 0,01$ в результате реакции замещения ионов водорода на ионы щелочных металлов повышало долю растворенных ГК до 2,2%. Дальнейшее увеличение минерализации раствора ($\mu = 0,02$) из-за роста коэффициента активности привело к уменьшению растворения ГК, часть которых снизилась до 1,6%. В кислых условиях среды ГК практически нерастворимы. Константа диссоциации ГК варьирует в пределах $pK = 4,8-5,02$ [12]. В кислой среде равновесие диссоциации ГК сдвинуто в сторону недиссоциированных форм, количество ионов, принимающих участие в ионных взаимодействиях, невелико. В условиях, когда pH воды $> pK$, в составе ГК начинают преобладать их диссоциированные формы и растворимость ГК возрастает. Растворения ГК в щелочных условиях происходят в два этапа, что связано с участием в растворении сначала карбоксильных, а далее гидроксильных групп. Кроме того, в щелочной среде молекула ГК раскручивается, приобретает более линейную структуру. Результат - большее количество функциональных групп вступает в ионные взаимодействия.

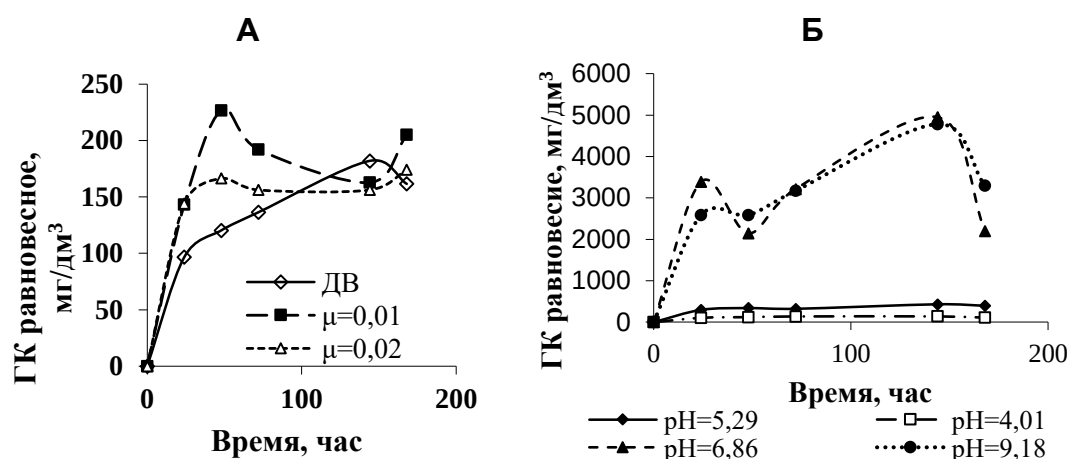


Рис. 4. Зависимость растворимости гуминовых кислот (ГК) от (А) ионной силы (μ) и (Б) pH раствора. ДВ – дистиллированная вода.

Изучение молекулярно-массового распределения растворенных форм ГК показало, что в их составе преобладают более низкомолекулярные фракции (молекулярная масса $< 0,25-5$ кДа), содержание которых составляет около 60%. В работе [1], выполненной для ФК, также отмечается уменьшение растворимости соединений ФК с увеличением их молекулярных масс.

Эмиссия железа. Одним из основных компонентов заболоченных массивов северной части Украины является железо, содержание которого достигает 1,7% минеральной составляющей торфа. В связи с этим большое внимание в нашей работе было уделено исследованию эмиссии Fe из толщи торфа.

Экспериментальные данные показали, что динамика железа в талых водах во многом определяется как водным стоком, так и ФК (рис. 5). Значения соответствующих коэффициентов корреляции составили 0,89 и 0,86.

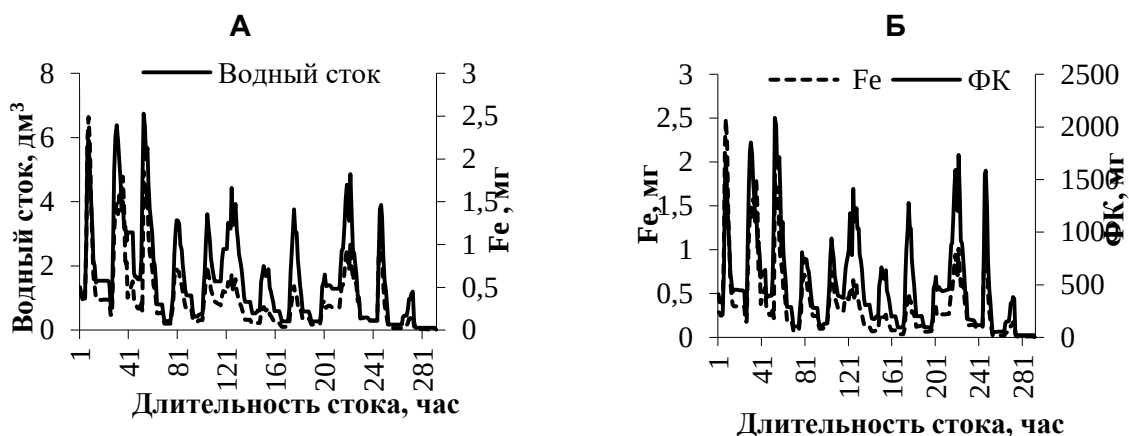


Рис. 5. Хронологический график эмиссии железа и водного стока (А), эмиссии железа и ФК (Б) с экспериментальной площадки, покрытой 50 см слоем торфа, во время снеготаяния

Железо относится к весьма нестойким элементам в поверхностных водах. Подобно другим металлам Fe^{3+} подпадает под действие процесса гидролиза с образованием малорастворимого соединения $\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$. Его гидролиз начинается уже в кислой среде с доминированием формы $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, а при pH более 6,5 наблюдается практически полный гидролиз металла с образованием малорастворимой формы $\text{Fe}(\text{OH})_3^0$. При pH=8 количество растворенного железа Fe^{3+} , уравновешенного с гидроксидом $\text{Fe}(\text{OH})_3^0$, не превышает 0,2 мкг/дм^3 . В реальных же водных экосистемах, концентрации растворенного железа значительно выше. В частности, в воде смоделированного нами стока концентрация железа достигала 0,62 мг/дм^3 . Указанное явление обусловлено процессом комплексообразования, конкурирующего с гидролизом и повышающим миграционную способность железа. Так, в [16] показано, что в водохранилищах Днепра железо находится преимущественно в виде комплексных соединений с органическими лигандами. Доминирующими лигандами органической природы, участвующими в процессе комплексообразования, являются ГК и ФК. Вследствие существенной разницы их концентраций в природных водах преобладают комплексные соединения металлов с последними.

Сосуществующие формы железа в сточных водах были исследованы с помощью термодинамического подхода с использованием модели MINTEQA2, построенной на принципе константы равновесия. Базы данных модели были модифицированы в связи с отсутствием констант стабильности для железа и ГВ [17]. Трудность заключалась в том, что константы стабильности металл-органических комплексов, идентифицированы при определенных значениях pH, и являются условными. Общеизвестным является тот факт, что ассоциация приводит к увеличению средней молекулярной массы растворенных ГК с возрастанием pH. Таким образом, константы стабильности ГК возрастают при увеличении pH, вызывающих структурные изменения ГК, когда многие поверхностные функциональные группы действуют в качестве дополнительных центров связывания.

Константы стабильности фульватных комплексов с железом, как отмечено в литературе, были получены для pH=5. Однако, это значение pH не является типичным для поверхностных вод. Для трансформации значений констант стабильности, соответственно типичным для поверхностных вод pH, был

использован следующий методический подход. Способности к комплексообразованию большинства металлов (как это было показано для ЭДТА комплексов) зависят от их ионного потенциала. Это позволило нам разработать уравнение и прогнозировать константы стабильности комплексов ГВ на основании, по меньшей мере, одной экспериментальной константы [16]. Расчет для остальных значений pH был сделан согласно уравнения: $\lg\beta_{1(c)} = 0.0667 \text{ pH}^2 - 0.033 \text{ pH} + 5.5$. Полученные константы стабильности представлены в табл. 1.

Таблица 1. Константы стабильности комплексных соединений железа с ФК при различных pH

pH	Константа стабильности, $\lg\beta_{1(c)}$								* $\lg\beta_{1(c)}$ - экспериментальная условная константа стабильности
	3	4	5	6	7	8	9	10	
$[\text{Fe}^{3+}\text{-FA}]^+$	6,0	19,1	7,0*	7,7	8,5	9,5	10,6	11,8	
$[\text{Fe}(\text{OH})\text{FA}]^0$	19,1	19,2	20,1*	20,8	21,6	22,6	23,7	24,9	

Входной информацией для проведения термодинамического моделирования служили данные химического состава подпочвенного стока, сформированного на исследуемой стоковой площадке в период снеготаянья. Расчеты выполнены для температуры воды 5°С, pH=7,6. Содержание ГК и ФК составляло соответственно 13 и 288 мг/дм³. Концентрации железа изменялись от 0,1 до 9,0 мг/дм³.

Полученные результаты показали, что независимо от исследуемых концентраций, железо в водной фазе практически полностью (99,8–100%) находится в составе гидроксофульватных комплексных соединений. В нейтральных и слабощелочных условиях среды, комплекс $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, образовавшийся в результате гидролиза, реагирует с ФК с последующим образованием хорошо растворимых гидроксофульватных комплексов. Указанный процесс значительно увеличивает миграционную способность железа в водных экосистемах. В пределах исследуемого диапазона концентраций Fe занимает 15–62% фульватных лигандов.

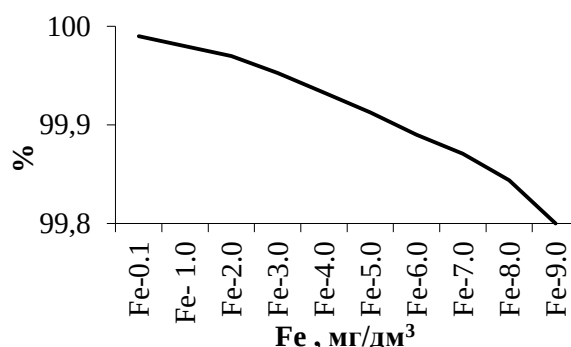


Рис. 6. Формы нахождения железа в воде подпочвенного стока с торфяной залежи

Методом термодинамического моделирования нами были установлены граничные пределы концентраций растворенного железа для условий поверхностных вод Украины (рис. 7). Моделировались формы миграции железа в концентрации 2 мг/дм³ в диапазоне pH=6,0–9,5 при вариабельности концентраций ФК от 2,5 мг/дм³ до 30 мг/дм³.

Из рис. 7 следует, что при условии pH = 7 и в пределах диапазона ФК равно 10–30 мг/дм³, в растворе может быть от 0,35 до 1,95 мг/дм³ железа. При повышении pH к 8,0, количество растворенного Fe снижается до 0,1–0,8 мг/дм³. Увеличение значения pH приводит к удалению железа из раствора из-за гидролиза.

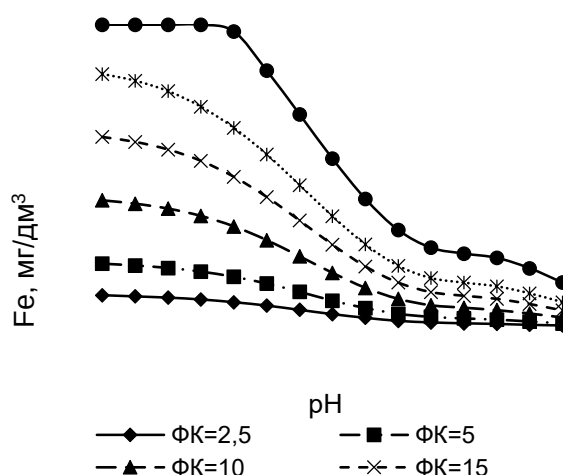


Рис. 7. Пределы миграции железа (2 мг/дм^3) в растворенном состоянии при условии изменения pH в диапазоне 6,0–9,5 и концентраций ФК – 2,5–30,0 мг/дм^3

Поступление гумусовых веществ и железа с территории водосбора р. Припять. Для выполнения прогнозных оценок поступления в Киевское водохранилище органических веществ и железа с водами р. Припять предложен следующий метод. Экспериментальные площадки предоставляют информацию о роли отдельных факторов. Существенным недостатком является то, что гомогенный характер ландшафта не позволяет экстраполировать их результаты на уровень всего водосбора, где проявляется совокупный эффект различных процессов на химический состав воды.

На территории бассейна р. Припять всего выделяют 15 различных ландшафтных комплексов [11]. Несмотря на это, для оценки поступления органических веществ с ее водосбора с высокой надежностью могут быть использованы результаты моделирования выноса веществ с торфяной залежи. Это предположение базируется на следующих фактах. Заболоченность территории бассейна Припяти достаточно высока, площадь болот в естественном состоянии составляет 6,8 тыс. км^2 , а вместе с осушенными ареалами она достигает более 16,8 тыс. км^2 (около 15 %). Районы заболачивания относятся к местам с формированием особого типа вод, имеющих наибольшие среди водных объектов концентрации органических веществ, высокое содержание биогенных элементов, тяжелых металлов, в первую очередь, железа. Участвуя в питании поверхностных водотоков, болотные воды непосредственно влияют на химический состав рек, причем это влияние часто бывает гораздо шире самого региона заболачивания [9]. По нашим данным, влияние заболоченных территорий бассейна р. Припять прослеживается до устьевых участка Днестра [6, 7]. Таким образом, доминирующее влияние на вынос органических веществ и железа в бассейне р. Припять будут оказывать заболоченные территории. Влияние других ландшафтов будет минимальным. Водный сток, сформированный на малой стоковой площадке с торфяным покрытием, составил 237 мм, что практически соответствовало значению исторического максимума в бассейне р. Припять (272 мм – в 1845 г.). Таким образом, был охвачен весь возможный диапазон изменения водности. Как известно, концентрации растворенных веществ зависят от показателей водного стока. Для учета этих отличий, был использован метод разделения водного стока на интервалы, разработанный Агентством по охране окружающей среды США [11]. В соответствии с процентом превышений интервалы были разделены на: очень высоководные (<10%), высоководные (10-40%), средние по водности – 40-60%,

маловодные – 60-90%, очень маловодные > 90%. В связи с тем, что гидрологические наблюдения в устьевой области Припяти не имели систематического характера, кривая продолжительности стока была построена для верхней станции наблюдения (п. Мозырь), где наблюдения были начаты в 1881 г. Характеристики стока для замыкающего створа в г. Чернобыль были пересчитаны согласно [2]. На гидрографе стока экспериментальной площадки выделяли часть, соответствующую значениям слоя стока отдельных интервалов водности. Для каждого из интервалов были рассчитаны средневзвешенные концентрации ГК, ФК и железа (табл. 2).

Таблица 2. Показатели слоя стока, средних концентраций ГК, ФК и железа для различных условий водности р. Припять, створ г. Чернобыль

Интервал стока воды	Процент превышения, Р	Слой стока, мм	ГК, мг/дм ³	ФК, мг/дм ³	Fe, мг/дм ³
Очень высоководный	<10%	237	25,8	304,5	0,22
Высоководный	10-40%	151	23,3	289,0	0,24
Средний по водности	40-60%	114	23,6	284,0	0,30
Маловодный	60-90%	88	23,9	280,9	0,31
Очень маловодный	>90%	61	22,9	278,9	0,33

На основании представленных данных для любого интервала времени (день, месяц, сезон, год) можно получить значения выноса исследуемых веществ по зависимости:

$$\text{Вынос} = S_{\text{болот}} \cdot \text{слой стока} \cdot C,$$

где Вынос – вынос веществ за исследуемый период времени; $S_{\text{болот}}$ – площадь болот; слой стока – слой стока заданной обеспеченности, мм; C – концентрации веществ.

Результаты расчета годового поступления ГК, ФК и железа в Киевское водохранилище с водами р. Припять в маловодный, средний по водности и многоводный годы (табл. 3) хорошо согласуются с аналогичными характеристиками, полученными на основании натурных наблюдений [8].

Таблица 3. Показатели годового выноса ГК, ФК и железа с водами р. Припять

Интервал стока воды	ГК, тыс. т/год	ФК, тыс. т/год	Fe, т/год
Маловодный год	9,7	119,2	90,8
Средний по водности год	17,7	213,8	195,5
Многоводный год	32,2	379,5	376,1

Выводы. Полевой эксперимент, выполненный на малой стоковой площадке, проводился с целью изучения поступления органических веществ и железа с торфяной залежи глубиной 50 см в период весеннего снеготаяния. В процессе снеготаяния наблюдался подпочвенный сток высотой 237 мм, образованный согласно механизму избытка насыщения. С увеличением продолжительности увлажнения торфяной массы интенсивность стока уменьшилась.

Моделирование весеннего стока показало более интенсивный приток растворенных ФК по сравнению с ГК. Концентрации ГК в процессе стока изменялись в пределах 12–44 мг/дм³, тогда как минимальные и максимальные

значения содержания ФК превысили их практически на порядок и составил, 144–443 мг/дм³, соответственно. Результаты модельного распределения ГК в системе «твердая фаза – вода» показали, что при контакте ГК с водой в растворенную фазу может переходить не более 1,8% массовой доли ГК. Растворения ГК происходит в два этапа, что отвечает последовательному участию карбоксильных и гидроксильных групп. Эмиссия ГВ с экспериментальной площадки зависела от показателей водного стока. Эмиссия Fe с заболоченных территорий определялась водным стоком и присутствием органических веществ. Геохимические условия болот существенно повышают миграционную способность железа за счет его связывания в прочные комплексные соединения с ГК. В речную сеть Fe поступает в виде растворимых гидроксофульватных комплексов. Будучи одним из наиболее распространённых в земной коре элементом, Fe не занимает все потенциальные центры связывания ГВ, часть из которых остается свободными для взаимодействия с другими металлами. Расчёты, выполненные методом термодинамического моделирования, показали, что величина pH и концентрация ФК являются основными факторами, определяющими миграцию железа в растворенной форме. Предложен метод расчета выноса ГВ и Fe с водосборной площади р. Припяти при различных условиях водности.

Список литературы

1. Варшал Г. М., Кошечева И. Я., Сироткина И. С. и др. Изучение органических веществ поверхностных вод и их взаимодействия с ионами металлов. Геохимия, 1979. №4. С. 598-607.
2. Горбачова Л. О., Христюк Б. Ф. О водном стоке р. Припять в постчернобыльский период. УкрНИГМИ, 2001. С.147-153.
3. Гребінь В. В. Сучасний гідрологічний режим верхів'я Прип'яті та його прогнозні зміни / Гідроекосистеми заповідних територій верхів'я Прип'яті під впливом кліматичних змін. Під. ред. В. Д. Романенка, С. О. Афанасьєва, В. І. Осадчого. 2013. С. 32-68.
4. Лиштваев И. И., Круглицкий Н. Н., Третинник В. Ю. Физико-химическая механика гуминовых веществ. Наука и техника, 1979. 263 с.
5. Набиванець Б. Й., Осадчий В. І., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б. Аналітична хімія поверхневих вод. К. : Наук. Думка, 2007. 455 с.
6. Осадчая Н. Н., Осадчий В. И. К вопросу о загрязнении вод днепровского каскада органическими веществами. Вопр. химии и хим. Технологии, Спец. Выпуск, 2002. № 5. С. 250-254.
7. Осадчая Н. Н., Осадчий В. И. Оценка выноса растворенных органических веществ гумусовой природы со стоком р. Припять. УкрНИГМИ, 2001. Вып. 249. С. 161–177.
8. Осадча Н. М., Осадчий В. І. Стік розчинених гумусових речовин з басейну Прип'яті: розрахунок, чинники, річний розподіл. Український географічний журнал, 2002. № 1. С. 51–57.
9. Осадча Н. М., Осадчий В. І. Хімічний склад основної водойми у межах Національного природного парку «Прип'ять – Стохід» / Гідроекосистеми заповідних територій верхів'я Прип'яті під впливом кліматичних змін. Під. ред. В. Д. Романенка, С. О. Афанасьєва, В. І. Осадчого. 2013. С. 74-116.
10. Попов А. И. Гуминовые вещества. Свойства, строение, образование / под ред. Е. И. Ермакова. СПб. : Изд-во С.-Петерб.ун-та, 2004. 248 с.
11. Управление трансграничным бассейном Днепра: Суббассейн реки Припять / под ред. А. Г. Ободовского, А. П. Станкевича, С. А. Афанасьєва. 2012. 448 с.
12. Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії: підручник. К. : Ніка-Центр, 2012. 312 с.
13. An approach for using load duration curves in the development of TMDLs. (2007) Technical Report EPA 841-B-07-006 US Environmental Protection Agency.
14. Moore P., Bellamy D. Peatlands. Springer-Verlag. 1974.
15. Osadcha N., Lutkovsky V. Simulation of humic substances diffuse runoff during a snowmelt event at the experimental plot scale. Die Bodenkultur Journal for Land Management, Food and Environment, 2013. № 64 (3-4), P. 87-94.
16. Osadchy V., Nabyvanets B., Linnik P., Osadcha, N., Nabyvanets Yu. Processes Determining Surface Water Chemistry. Springer, 2016.
17. Osadchy V., Osadcha N., Nabyvanets Yu. Modelling of trace metal migration forms in water of the Dnieper reservoirs. Ekologija (Vilnius), 2003. N 2. P.63–67.
18. Radlinger G., Heumann K. Determination of halogen species of humic substances using HPLC/ICP-MS coupling. Fresenius' J. Anal.Chem. 1997. № 359, P. 430–433.
19. Sposito G. The Thermodynamics of Soil Solution. Oxford Clarendon Press, 1981.

Полеві експериментальні дослідження виносу гумусових речовин з торф'янистих ґрунтів і оцінка їх ролі в транспортуванні розчинених форм заліза

Осадча Н.М., Осадчий В. І., Зінець І. А., Набиванець Ю. Б., Артеменко В. А

Виконано натурний експеримент по транспортуванню гумусових речовин і розчиненого заліза з водозбірної площі у весняний період. Дослідження виконані на малому стоковому майданчику (2Х1м), заповненому торфом на глибину 50 см. У процесі сніготанення було сформовано виключно підповерхневий стік. Отримано значення характеристик розподілу двох основних фракцій гумусових речовин - гумінових кислот і фульвокислот - між твердою фазою торфу і водним стоком. Показано, що процес комплексоутворення з фульвокислотами істотно розширює межі міграції заліза в розчиненій фазі. Методом термодинамічного моделювання встановлено, що величина рН води і концентрація фульвокислот є лімітуючими чинниками для знаходження заліза в розчиненому стані. Запропоновано спосіб прогнозування емісії гумусових речовин і заліза з водним стоком р. Прип'ять (Україна).

Ключові слова: стокова площадка; гумінові кислоти; фульвокислоти; залізо; термодинамічне моделювання.

Полевые экспериментальные исследования выноса гумусовых веществ из торфянистых почв и оценка их роли в транспортировании растворенных форм железа

Осадчая Н. Н, Осадчий В. И., Зинец И. А., Набиванець Ю.Б., Артёменко В. А.

Выполнен натурный эксперимент, позволивший изучить поступление гумусовых веществ и растворенного железа с водосборной площади в период снеготаяния. Исследования выполнены на малой стоковой площадке (2Х1м), заполненной торфом на глубину 50 см. В процессе снеготаяния на площадке сформировался исключительно подповерхностный сток. Получены значения характеристик распределения двух основных фракций гумусовых веществ – гуминовых кислот и фульвокислот - между твердой фазой торфа и водным стоком. Показано, что процесс комплексообразования с фульвокислотами существенно расширяет пределы миграции железа в растворенной фазе. Методом термодинамического моделирования установлено, что величина рН воды и концентрация фульвокислот являются лимитирующими факторами для миграции железа в растворенном состоянии. Предложен способ прогнозирования эмиссии гумусовых веществ и железа с водным стоком р. Припять.

Ключевые слова: стоковая площадка; гуминовые кислоты; фульвокислоты; железо; термодинамическое моделирование.

Field Experimental Studies of the Leaching of Humic Substances from the Peat Soils and Estimation of their Role in Dissolved Iron Transportation

Osadcha N., Osadchyi V., Zinets I., Nabyvanets Y., Artemenko V.

A field experiment was conducted on a small runoff plot to study the removal of organic substances and iron from the peat layer 50 cm deep during spring season. During snowmelt a saturation excess mechanism of runoff generation was observed, which produced a subsurface runoff 237 mm deep. The intensity of the runoff decreased with increasing duration of the peat mass moistening. Spring simulations showed more intensive removal of dissolved FA than HA. The concentration of HA in the runoff ranged within 12-44 mg/l, while the minimum and maximum values of FA content exceeded them nearly by an order of magnitude and amounted to 144-443 mg/l. The results of model distribution of HA in the solid-water system showed that not more than 1.8% of HA mass fraction is dissolved. HA dissolution occurs in two stages, featuring sequential involvement of carboxyl and hydroxyl groups. The rate of HA emission from the experimental plot depended on the performance of water runoff.

The rate of iron emission from wetlands was determined by water runoff and the presence in it of organic substances. Geochemistry of wetlands significantly improves migration properties of iron due to its binding into strong compounds with humic acids. Iron enters the river in the form of soluble hydroxy-fulvate complexes. Being one of the most common elements in the earth's crust, iron does not engage all HA potential binding sites, some of which are free to interact with other metals. Calculations using thermodynamic modeling showed that pH and FA concentration are the main factors determining the migration of dissolved iron. A methodology has been proposed to calculate the removal of HA and iron from the catchment area of the Pripjat River under various water content conditions.

Keywords: plot scale; humic acids; fulvic acids; iron; thermodynamic modeling.

Надійшла до редколегії 29.04.2017

Жежеря В.А., Линник П.М., Ігнатенко І.І.

Інститут гідробіології НАН України, м. Київ

РОЛЬ РІЗНИХ ГРУП РОЗЧИНЕНИХ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ПОВЕРХНЕВИХ ВОД В МІГРАЦІЇ МЕТАЛІВ

Ключові слова: гумусові речовини, білковоподібні речовини, вуглеводи, метали, форми знаходження, водойми з уповільненим водообміном

Постановка та актуальність проблеми. У природному водному середовищі метали в розчиненому стані можуть знаходитись у вигляді гідроксокомплексів, комплексних сполук з неорганічними (фосфат-, фторид-, сульфат-, силікат-йонами тощо) й органічними (переважно з гумусовими та білковоподібними речовинами (ГР та БПР) й вуглеводами) лігандами [3, 7, 9, 12, 13, 16, 30, 32, 36]. Поверхневі водні об'єкти відрізняються між собою як за вмістом у воді розчинених органічних речовин (РОР), так і за їхнім компонентним складом, який, до того ж, зазнає сезонних і просторових змін. У зв'язку з цим роль тієї чи іншої групи РОР в міграції металів буде відрізнятись. При дослідженнях найбільшу увагу приділяють, зазвичай, трьом основним групам РОР, а саме ГР, БПР і вуглеводам. У більшості випадків дослідження стосуються саме ролі ГР в міграції металів, оскільки зазначена група РОР домінує у поверхневих водах. Однак результати наших багаторічних досліджень показали, що у водних об'єктах, які не мають живлення з болотних масивів, частка металів у складі комплексів з ГР зменшується з одночасним її збільшенням у складі комплексів з вуглеводами [5].

Потенційний вплив металів на розвиток живих організмів залежить значною мірою від того, в якій формі (доступній або недоступній) вони знаходяться у водному середовищі. Відповідно саме це й визначає їхню біологічну роль – вони або життєво необхідні, або ж можуть проявляти негативну роль в розвитку гідробіоти. До біологічно доступної форми металів відносять їхні вільні йони, гідроксокомплекси і комплексні сполуки, молекулярна маса яких не перевищує 5 кДа. Саме ця форма металів здатна проникати крізь біологічну мембрану [34]. Тому при вивченні форм знаходження металів у поверхневих водах важливо з'ясувати не лише їхній розподіл між комплексними сполуками з РОР різної хімічної природи, але також і молекулярну масу. При оцінюванні потенційної біодоступності комплексів метала з РОР слід враховувати також стійкість органічних речовин до деструкції [17, 18, 23, 24, 31, 35, 37, 38]. Серед зазначених груп РОР найбільшою стійкістю характеризуються ГР, а вуглеводи й БПР вважаються легкоокислюваними органічними сполуками. Вони зазнають розщеплення з підвищенням температури води й активізацією діяльності мікрофлори. Отже, зростання не лише частки низькомолекулярних комплексів, але й комплексних сполук з вуглеводами і БПР може бути причиною збільшення частки металу у біологічно доступній та активній формі.

Мета роботи – встановлення впливу компонентного складу РОР на форми знаходження розчинених алюмінію, феруму, купруму, мангану і хрому у поверхневих водних об'єктах з уповільненим водообміном.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводились на верхній ділянці Канівського водосховища (Оболонська затока) і Горіхуватському ставку № 5 на р. Горіхуватка (м. Київ). Проби води відбирали не рідше одного разу за сезон протягом 2016 р. як з поверхневого, так і з придонного шарів за допомогою

модифікованого батометра-склянки [11]. Для вилучення завислих речовин свіжо відібрану пробу води об'ємом 1,0–1,5 дм³ пропускали через нітроцелюлозний фільтр "Synpor" (Чехія) з діаметром пор 0,4 мкм безпосередньо на місці відбору, використовуючи фільтраційну установку УК 40–2М.

Дослідження розподілу POP і розчинних сполук досліджуваних металів за знаком заряду і молекулярною масою здійснювали за допомогою методів йонообмінної та гель-хроматографії. Використовували поліпропіленові колонки, заповнені відповідно аніоном діетиламіноетилцелюлозою (ДЕАЕ) та катіоном карбоксиметилцелюлозою (КМ). Йонообмінне розділення передбачає послідовне пропускання фільтрату природної води спочатку крізь колонку з ДЕАЕ-целюлозою, а потім – з КМ-целюлозою. В результаті цього розділення отримували кислотну (домінують ГР і комплекси металів з ними), основну (превалюють БПР і комплекси металів з ними, а також гідроксокомплекси мангану (можливо й інших металів) з позитивним знаком заряду) і нейтральну (містяться вуглеводи й комплекси металів з ними, а також сполуки металів без заряду) фракції. Детальна інформація стосовно методики йонообмінного розділення POP описана нами раніше [4, 29]. Молекулярно-масовий розподіл ГР, вуглеводів та відповідно їхніх комплексів з металами досліджували за допомогою гель-хроматографії. Застосовували скляні колонки, одна з яких була заповнена гелем Toyopearl HW-50F (Японія) для дослідження ГР, а інша – Toyopearl HW-55F (Японія) для дослідження вуглеводів. Першу колонку калібрували за допомогою поліетиленгліколів (1,0, 2,0, 15,0 і 20,0 кДа) і глюкози (0,18 кДа), а для другої, окрім зазначених речовин, використовували ще й розчин декстрану (70 кДа). Як елюенти використовували 0,05 моль/дм³ розчин KNO₃ для першої колонки і 0,025 моль/дм³ фосфатний буферний розчин з рН 7,0 для другої колонки.

Концентрацію алюмінію і феруму визначали фотометричним методом з використанням відповідно хромазуолу S і о-фенантроліну [1, 15], а купруму, мангану і хрому – хемілюмінесцентним методом [8, 10, 28]

Вміст досліджуваних металів у складі комплексних сполук з POP різної хімічної природи та молекулярної маси визначали після їхньої фотохімічної деструкції. Для цього отримані фракції після йонообмінної і гель-хроматографії об'ємом відповідно 25 і 15 см³ вносили у кварцові склянки і підкислювали концентрованою H₂SO₄ градації "х. ч." до рН 1,0–1,5, а потім додавали ще по 5–7 крапель 35%-ного розчину H₂O₂ і опромінювали ртутно-кварцовою лампою ДРТ-1000 протягом 2,0–2,5 годин.

У кислотній фракції фільтрату природної води. концентрацію ГР встановлювали за кольоровістю води, яку знаходили за градуювальним графіком "Кольоровість води, °Cr-Co-шкали – концентрація ГР, мг/дм³". Для побудови градуювального графіка використовували очищені сухі препарати фульвокислот і гумінових кислот з води Канівського водосховища. Вміст БПР і вуглеводів визначали фотометричним методом з використанням відповідно реактиву Фоліна і антрону [2, 14].

Результати досліджень та їхнє обговорення.

Вміст та співвідношення POP різної хімічної природи. Досліджувані водні об'єкти були обрані з тієї причини, що вони, за результатами раніше проведених досліджень, містять різну концентрацію ГР. Оскільки ці органічні речовини відносяться до домінуючої групи POP поверхневих вод, то слід було очікувати, що співвідношення між ними й іншими групами POP у цих водних об'єктах буде різним. Передбачалось, що у воді Канівського водосховища переважатимуть ГР, а у воді Горіхуватського ставка № 5 зростатиме частка вуглеводів у літньо-осінній період, що, безперечно, впливатиме на розподіл металів серед комплексних сполук з ГР, БПР і вуглеводами. Зростання концентрації і частки вуглеводів ми пов'язуємо

з прижиттєвими виділеннями езаметаболітів вуглеводної природи представниками фітопланктону, а також під час їхнього відмирання та решток вищої водної рослинності.

Загальна концентрація РОР у воді Канівського водосховища зазнавала сезонних змін і коливалась в межах 18,6–27,4 мг/дм³, досягаючи максимальних значень влітку (табл. 1). Це зростання відбувалось за рахунок збільшення вмісту ГР і вуглеводів. Домінування перших пов'язане з надходження вод р. Прип'ять з високим вмістом ГР, які сформувались під час весняного водопілля. Зростання частки вуглеводів, порівняно з іншими сезонами зумовлене, на нашу думку, збільшенням вмісту езаметаболітів вуглеводної природи під час інтенсивного розвитку фітопланктону. Частка вуглеводів становила 16,6% від загального вмісту РОР. Отже, у Канівському водосховищі, як і очікувалось, ГР домінують серед інших груп РОР. Їхня частка протягом досліджуваного періоду варіювала в межах 58,6–85,8%. Відносний вміст вуглеводів змінювався від 4,8 до 16,6%, а БПР майже не зазнавав істотних часових змін і становив 0,4–0,7%. Окрім досліджуваних груп РОР у воді містилися органічні речовини інших класів, які нами не ідентифікувались. Частка цих РОР змінювалась в межах 4,0–36,2%, складаючи в середньому 14,6% (див. табл. 1).

Таблиця 1. Концентрація ГР, БПР і вуглеводів та їхня частка у складі РОР у воді Канівського водосховища і Горіхуватського ставка № 5, 2016 р.

Пора року	Вміст РОР різної хімічної природи								Всього, мг/дм ³
	ГР		В		БПР		Інші РОР		
	мг/дм ³	%	мг/дм ³	%	мг/дм ³	%	мг/дм ³	%	
Канівське водосховище (Оболонська затока)									
Зима	10,90	58,6	0,90	4,8	0,07	0,4	6,73	36,2	18,6
Весна	15,52	78,0	1,18	5,9	0,13	0,7	3,07	15,4	19,9
Літо	21,60	78,8	4,55	16,6	0,16	0,6	1,09	4,0	27,4
Осінь	18,53	85,8	1,14	5,3	0,12	0,6	1,81	8,3	21,6
Середнє	16,64	76,0	1,94	8,9	0,12	0,5	3,20	14,6	21,9
Горіхуватський став № 5									
Зима	5,29	38,9	1,68	12,4	0,12	0,9	6,51	47,8	13,6
Весна	5,64	39,2	1,87	13,0	0,22	1,5	6,67	46,3	14,4
Літо	6,04	31,5	1,76	9,2	0,23	1,2	11,17	58,1	19,2
Осінь	10,93	64,3	2,25	13,2	0,45	2,7	3,37	19,8	17,0
Середнє	7,00	43,5	1,90	11,8	0,27	1,7	6,93	43,0	16,1

Примітка: Загальну концентрацію РОР розраховано на підставі результатів визначення хімічного споживання кисню (ХСК, дихроматний метод).

У всі пори року, за винятком осені, у воді Горіхуватського ставка № 5 спостерігалось домінування РОР іншого походження, відносний вміст яких становив 46,3–58,1% (див. табл. 1). Частка ГР і вуглеводів знаходилась в межах відповідно 31,5–64,3 і 9,2–13,2%, а БПР не перевищувала 2,7%. Уміст ГР за середніми показниками зрівнявся з концентрацією інших органічних сполук, що нами не досліджувались (відповідно 7,0 і 6,93 мг/дм³). Для Горіхуватського ставка № 5, на відміну від Канівського водосховища, зростання концентрації ГР, вуглеводів і навіть БПР було характерним восени. На нашу думку, збільшення вмісту ГР пов'язане з утворенням автохтонного гумусу у самому водному об'єкті. Цей факт нами було встановлено раніше на прикладі інших водних об'єктів з уповільненим водообміном, у яких відсутнє значне надходження ГР з водозбору за рахунок поверхневого і латерального стоку [6]. Водночас, зростання вмісту вуглеводів і БПР було зумовлене, напевно, їхнім надходженням у воду під час відмирання фітопланктону і решток вищої

водної рослинності. При порівнянні вмісту ГР і вуглеводів у досліджуваних водних об'єктах було встановлено, що у воді Канівського водосховища співвідношення вмісту ГР до вуглеводів становило влітку 4,75:1, тоді як в інші пори року воно було більшим, ніж 12,1:1. У воді Горіхуватського ставка № 5 це співвідношення змінювалось від 3:1 до 4,86:1. Отже, можна припустити, що влітку у воді Канівського водосховища вуглеводи, напевно, більше конкурують з ГР за зв'язування металів у комплекси, ніж в інші пори року. Водночас, це не було характерним для Горіхуватського ставка № 5, оскільки співвідношення зазначених РОР мало відрізнялось протягом року.

Лабільна фракція розчинених металів. У період досліджень концентрація розчинених Al, Fe, Cu, Mn і Cr у воді Канівського водосховища знаходилась в межах відповідно 5,2–19,9, 15,7–137,0, 15,6–40,8, 5,2–38,3 і 1,4–9,6 мкг/дм³. У воді Горіхуватського ставка № 5 їхня концентрація становила – 3,1–20,4, 63,0–193,4, 8,9–50,5, 4,4–364,0 і 6,2–9,6 мкг/дм³. Окрім дослідження загального вмісту металів у розчинній формі, нами визначалась також концентрація кожного з них у складі лабільної фракції, оскільки в ній знаходиться потенційно біодоступна форма металу у розчиненому стані. Концентрація металу у зазначеній фракції вимірювалась до фотохімічної деструкції РОР. При використанні фотометричних методів у цій фракції сукупно визначаються вільні (гідратовані) йони металу і та його частина, яка входить до складу слабких комплексів з РОР. Хемілюмінесцентні методи дозволяють вимірювати концентрацію лише вільних (гідратованих) йонів металу, його гідросокомплексів і, можливо, гідрокарбонатних комплексів. У нашому випадку фільтрати проб води було підкислено на місці їхнього відбору до рН 3,5–4,0, тому зазначеними методами визначався також вміст вільних (гідратованих) йонів і тієї частини металу, яка вивільняється зі складу комплексних сполук при зниженні рН.

Слабке підкислення фільтратів проб води нами проводилось з метою уникнення сорбції металів на стінках посуду та оцінки частки їхніх комплексних сполук, які, зазвичай, можуть розглядатися як слабкостійкі, оскільки здатні до дисоціації навіть за незначного зниження рН води. Часто до слабкостійких відносять комплекси металів з природними органічними лігандами, що здатні дисоціювати в приелектродному шарі при визначенні концентрації металів полярографічними методами [22, 25, 33]. Приймаються до уваги й інші тлумачення слабкої стійкості комплексів, зокрема при використанні йонообмінної смоли Chelex-100 для вилучення лабільної фракції металів з фільтрату природної води [20, 21].

Аналіз результатів проведених досліджень показав, що частка лабільної фракції після підкислення зростала, але для кожного металу це зростання було різним (рис. 1). Наприклад, для Канівського водосховища воно, за усередненими величинами, виявилось таким: Al(III) – 32,2 і 59,3% Al_{розч}, Fe(III) – 23,7 і 31,5% Fe_{розч}, Cu – 9,3 і 61,5% Cu_{розч}, Mn – 18,6 і 55,3% Mn_{розч}. Істотне зростання концентрації Fe_{лаб} було виявлено у воді з Горіхуватського ставка № 5 – з 47,8% за відсутності підкислення до 89,4% Fe_{розч} при рН 3,5–4,0. Дуже складно оцінити, які саме комплекси металів виявились найменш стійкими до зміни рН води, оскільки це можна встановити лише на підставі проведення спеціальних досліджень.

Найімовірніше, це могли бути нейтральні комплексні сполуки металів з вуглеводами, але це лише припущення. Комплекси металів з ГР, як відомо, належать до стійких і дуже часто їхнє руйнування досягається лише за створення жорстких умов, зокрема за дії УФ-опромінювання в сильно кислому середовищі. Тим не менше, результати проведених досліджень свідчать про те, що навіть найменше порушення рівноваги у водній системі може бути причиною зростання як абсолютного, так і відносного вмісту лабільної фракції металів як потенційно біодоступної, а заодно й токсичної для гідробіонтів. Цим не слід нехтувати, особливо

у випадку малих замкнутих водойм, до яких можуть надходити недостатньо очищені стічні води з низькими значеннями рН

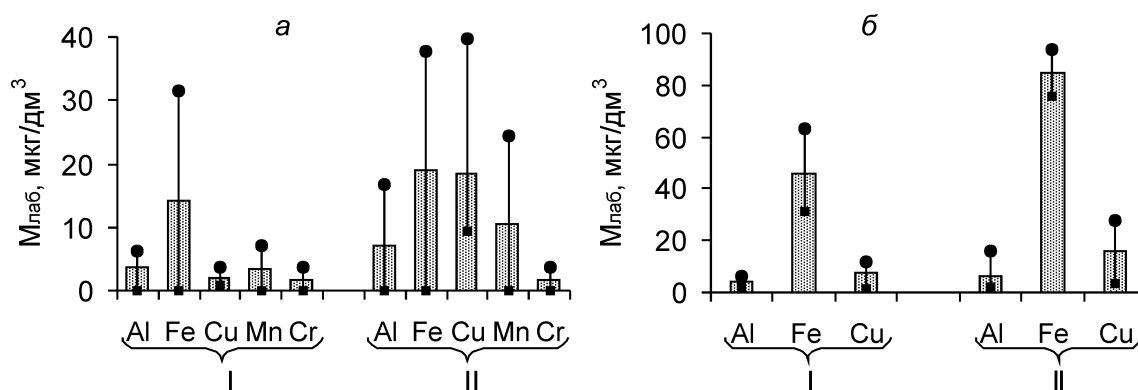


Рис. 1. Граничні й середні величини концентрації лабільної фракції металів у воді Канівського водосховища (а) і Горіхуватського ставка № 5 (б), 2016 р. (I і II – відповідно без підкислення (рН нативної води) та з додаванням H_2SO_4 до фільтратів проб природної води (рН 3,5–4,0) на місці їхнього відбору)

Аналіз результатів сезонних досліджень показав, що у воді Канівського водосховища максимальні концентрації лабільної фракції Fe, Mn і Cr були навесні, тоді як Al і Cu – взимку. Для Горіхуватського ставка № 5 максимальні величини вмісту зазначеної фракції Al, Fe і Cu виявились навесні.

Розподіл розчинних металів між фракціями з різним знаком заряду. У складі РОР досліджуваних водойм, як було зазначено вище, вивчалися ГР, вуглеводи та БПР. Для встановлення ролі цих груп РОР у міграції металів було досліджено вміст та розраховано масову частку кожного з них у їхньому складі. Наведені нижче (рис. 2) результати досліджень свідчать про те, що основну роль у зв'язуванні металів у комплекси відіграють ГР та вуглеводи. При цьому можна констатувати, що з вуглеводами було зв'язано металів навіть трохи більше, ніж з ГР (див. рис. 2, б), незважаючи на ту обставину, що саме ця група РОР найпоширеніша у поверхневих водних об'єктах. Навіть у Канівському водосховищі, де концентрація ГР значно більша, ніж у Горіхуватському ставку № 5, масова частка нейтральних комплексів металів з вуглеводами виявилась дещо вищою, ніж аніонних з ГР, що не зовсім узгоджується з результатами досліджень минулих років [27]. Це можна пояснити змінами в концентрації ГР у воді Оболонської затоки Канівського водосховища, які іноді можуть бути доволі істотними. Наприклад, максимальна кольоровість води як непрямого показника концентрації ГР у згаданій затоці у 2013 р. становила 57,5 °Cr-Co-шкали, тоді як у 2016 р. вона не перевищувала 43,0 °Cr-Co-шкали (рис. 3). За усередненими величинами кольоровість води протягом 2016 р. становила 32,0 °Cr-Co-шкали проти 47,0 °Cr-Co-шкали у 2013 р., тобто відрізнялась майже в 1,5 рази. Це істотним чином позначилось на масовій частці Al(III) і Fe(III) у складі аніонних комплексів з ГР. За максимальних величин кольоровості води у 2013 р. масова частка аніонних комплексів Al(III) і Fe(III) досягала відповідно 82,3 і 85,0% загальної концентрації кожного з металів у розчиненому стані. У 2016 р. аналогічні показники становили 39,9 і 39,5% відповідно $Al_{розч}$ і $Fe_{розч}$, тобто вдвічі були нижчими (див. рис. 3).

Серед досліджуваних металів манган у складі аніонних комплексів був зв'язаний в найменшій мірі, що слід розглядати як характерну рису поведінки цього металу в природному водному середовищі. Він, на відміну від низки інших металів, схильний меншою мірою до комплексоутворення з природними органічними лігандами [7, 27]. Тому часто домінує у складі лабільної фракції.

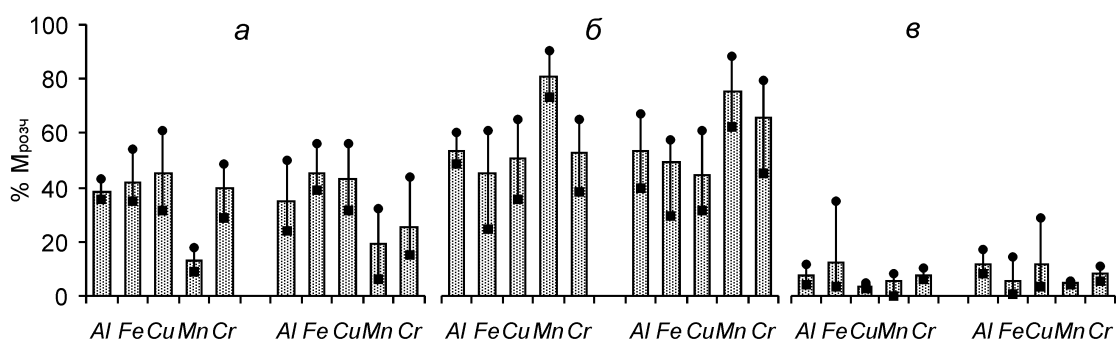


Рис. 2. Граничні та середні величини масової частки розчинених металів у складі аніонної (а), нейтральної (б) і катіонної (в) фракцій у воді Оболонської затоки Канівського водосховища (I) та Горіхуватського ставка № 5 (II), 2016 р.

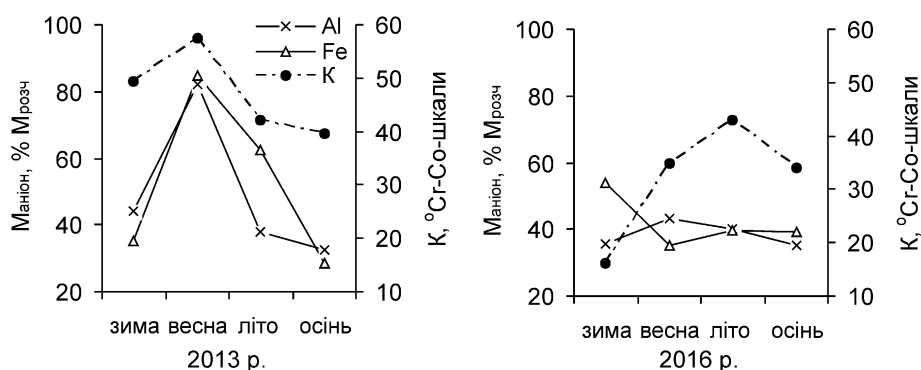


Рис. 3. Залежність масової частки аніонних комплексів Al і Fe ($M_{\text{аніон}}$) від кольоровості води (K) у Оболонській затоці Канівського водосховища у 2013 і 2016 рр.

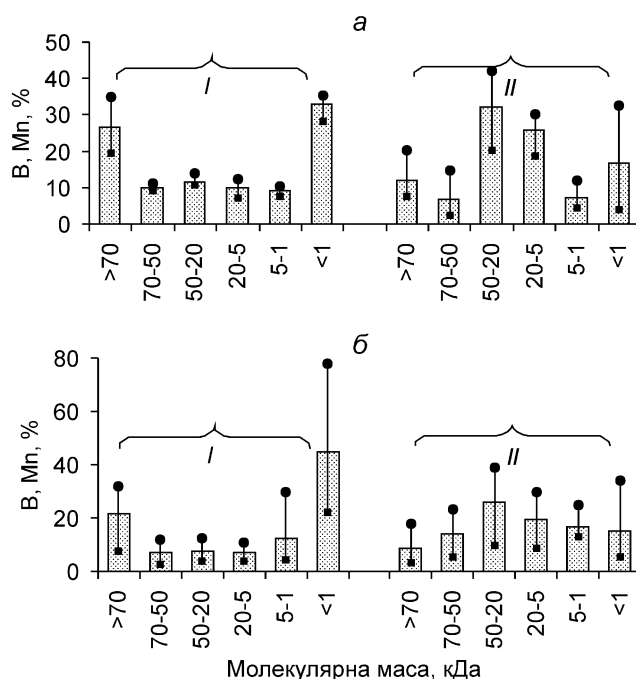


Рис. 4. Граничні й середні величини масової частки різних за молекулярною масою фракцій вуглеводів (I, % $B_{\text{заг}}$) та нейтральних комплексів мангану з вуглеводами (II, % $Mn_{\text{нейтр}}$) у воді Канівського водосховища (а) і Горіхуватського ставка № 5 (б), 2016 р.

Проте дещо неочікуваним виявилось переважне знаходження мангану у воді верхньої ділянки Канівського водосховища і Горіхуватського ставка у складі нейтральних комплексів з вуглеводами (81,7 і 76,0% $Mn_{розч}$ відповідно, див. рис. 2, б), що було підтверджено результатами гель-хроматографічних досліджень нейтральної групи РОР. Спектр величин молекулярної маси вуглеводів та комплексів мангану з ними доволі широкий (рис. 4). У складі нейтральних комплексів мангану в середньому лише 24,0 і 32,0% займають сполуки з молекулярною масою $\leq 5,0$ кДа, а решта – це високомолекулярні сполуки.

Що стосується катіонної фракції розчинених металів, то її масова частка виявилася найменшою. Слід зазначити, що в цій фракції можуть знаходитися вільні (гідратовані) йони металів, їхні позитивно заряджені гідроксокомплекси, можливо й гідрокарбонатні комплекси, а також комплексні сполуки з БПР. Тому у даному випадку не можна однозначно стверджувати, що це позитивно заряджені органічні комплекси металів. Виходячи з отриманих результатів, можна говорити про те, що масова частка саме таких комплексних сполук незначна у загальному балансі розчинених металів. Це зумовлено тим, що і вміст БПР виявився незрівнянно нижчим, ніж інших досліджуваних нами груп РОР. До цього слід додати, що й самі БПР відносяться до нестійких органічних сполук і швидко зазнають деструкції у природному водному середовищі, особливо в літній період, коли підвищується температура води та істотно зростає мікробіологічна активність.

У сезонному аспекті для Al, Fe і Cu було характерним збільшення частки аніонних комплексних сполук з ГР у весняно-літній період, коли саме зростала концентрація ГР. Найбільше значення відносного вмісту Mn у складі аналогічних комплексів спостерігалось восени. У Горіхуватському ставку ситуація була дещо іншою. Восени, під час збільшення вмісту ГР, помітним було зростання частки аніонних комплексних сполук лише для Al, Mn і Cr. В цей же період характерним було збільшення також частки вуглеводів (див. табл. 1), що й зумовило підвищення частки нейтральних комплексних сполук Fe до 57,9%. Зазначені зміни компонентного складу РОР не виявили помітного впливу на відносний вміст комплексних сполук Cu з ГР і вуглеводами. Це, можливо, було пов'язано з тим, що співвідношення ГР з вуглеводами майже не зазнавало часових змін і лише восени дещо збільшувалось, про що зазначалося раніше. Для Канівського водосховища характерним було зростання частки розчинених Al, Fe і Cu у складі нейтральних комплексів восени, тоді як максимальні концентрації самих вуглеводів спостерігалися влітку. В цю пору року відносний вміст зазначених металів у складі нейтральних комплексів становив відповідно 54,3, 25,9 і 36,0%, тоді як восени він зростав до 60,8, 53,4 і 52,3% від загальної концентрації розчиненої форми кожного з металів. Ця особливість може бути з'ясована лише шляхом додаткових експериментальних досліджень, що стосуються кінетики зв'язування металів з вуглеводами у комплексні сполуки.

Зв'язувальна здатність ГР та вуглеводів щодо досліджуваних металів. На нашу думку, коректної оцінки зв'язувальної здатності ГР і вуглеводів стосовно досліджуваних металів в реальних умовах поверхневих вод можна досягнути, визначивши вміст кожного з них в 1 мг як ГР, так і вуглеводів у цілому. Безперечно, потенційна зв'язувальна здатність зазначених груп РОР може бути значно більшою, оскільки в реальних умовах не досягається "насичення" зв'язувальних центрів у макромолекулах речовин йонами металів. Результати розрахунків наведено в табл. 2. Можна пересвідчитись у доволі широких інтервалах зв'язувальної здатності як ГР, так і вуглеводів. Однак видно, що вуглеводи характеризуються більшою зв'язувальною здатністю, ніж ГР. Однак концентрації останніх у поверхневих водних об'єктах, зазвичай, більші і це стало причиною того, що аніонні комплекси металів

домінують. До цього ж слід додати, що згадані комплексні сполуки металів відрізняються більшою стійкістю до впливу різних чинників середовища, тоді як нейтральні комплекси, як було вже зазначено вище, менш стійкі через можливі трансформації самих вуглеводів. Нами не розраховувалась зв'язувальна здатність БПР, оскільки виникають труднощі методичного характеру, передусім, у визначенні точної концентрації тієї частки металів у катіонній фракції, яка безпосередньо зв'язана в комплекси з білковими сполуками. Цьому могли б зарадити результати гель-хроматографічних досліджень БПР, які дають можливість оцінити не лише молекулярну масу речовин в окремих їхніх фракціях, але й наявність у кожній з них металів. Це підтвердило б існування відповідних комплексів металів з БПР. Відповідна інформація щодо молекулярно-масового розподілу БПР у поверхневих водних об'єктах України наявні [26], але не проводилися дослідження, пов'язані з визначенням вмісту металів у різних за молекулярною масою фракціях БПР.

Таблиця 2. Порівняльна оцінка здатності різних груп РОР до зв'язування металів у комплекси у воді досліджуваних водних об'єктів, 2016 р.

Метали	Зв'язувальна здатність щодо металів	
	ГР, мкг/мг	Вуглеводів, мкг/мг
Канівське водосховище (Оболонська затока)		
Al	0,14–0,25	1,43–3,54
Fe	0,33–3,10	4,33–47,1
Cu	0,33–0,73	1,47–11,4
Mn	0,03–0,37	0,72–10,4
Cr	0,03*	1,21*
Горіхуватський став № 5		
Al	0,34–1,24	1,10–5,76
Fe	2,78–8,20	7,1–43,6
Cu	0,22–3,58	0,84–10,4
Mn	0,25–2,72	1,09–16,0
Cr	0,13–0,30	0,66–3,74

Примітка: * –осінній період.

Розрахунки, що стосуються зв'язувальної здатності 1 мг ГР щодо металів, показали, що мінімальні її значення у воді Горіхуватського ставка № 5 припадають на осінь, окрім феруму, тоді як у воді Канівського водосховища не було виявлено чіткої закономірності її сезонних змін (див. табл. 2).

Дослідження ролі різних за молекулярною масою фракцій ГР у міграції та зв'язуванні металів у комплексні сполуки проводились нами раніше. Встановлено, що ГР з молекулярною масою >20 кДа і <1 кДа беруть найбільш активну участь у цьому процесі [6]. Отже, отримані результати спонукали нас провести аналогічні дослідження для встановлення ролі різних за молекулярною масою фракцій вуглеводів у міграції металів. Хоча всі комплексні сполуки металів з вуглеводами можна вважати потенційно біодоступними із-за низької стійкості останніх до деструкції. Однак, комплексні сполук металів з молекулярною масою ≤5 кДа вважаються найбільш біодоступними, оскільки здатні проникати крізь клітинну мембрану.

У воді Канівського водосховища і Горіхуватського ставка № 5 частка вуглеводів з молекулярною масою ≤5 кДа зазнавала сезонних змін і знаходилась в межах відповідно 8,2–37,9 і 22,5–48,4% загального вмісту вуглеводів. Встановлено, що в цих водних об'єктах вміст вуглеводів із зазначеною молекулярною масою досягає мінімальних значень у весняно-літній період. Це пов'язано з тим, що саме в цей час збільшується надходження екзаметаболітів водоростей, які представлені високомолекулярними сполуками [19]. З іншого боку, це може бути зумовлено активною асиміляцією низькомолекулярних вуглеводів біотою, тому домінують високомолекулярні сполуки. Відносний вміст Al, Fe, Cu, Mn і Cr у складі комплексних сполук з вуглеводами з молекулярною масою ≤5 кДа у воді

Канівського водосховища становив відповідно 22,8–64,1, 17,0–52,4, 34,6–70,2 35,7–45,2 і 16,1–29,5% $M_{\text{нейтр}}^1$, тоді як їхня концентрація у складі цієї фракції вуглеводів не перевищувала відповідно 2,4, 33,0, 5,3, 7,0 і 1,0 мкг/дм³. Частка зазначених комплексних сполук металів у воді Горіхуватського ставка № 5 знаходилась також в широких межах – 18,6–53,7, 35,8–55,0, 21,0–43,5, 42,1–82,0 і 32,3% $M_{\text{нейтр}}$. Максимальна ж концентрація Al, Fe, Cu, Mn і Cr у складі комплексних сполук з вуглеводами з молекулярною масою ≤5 кДа становила відповідно 8,6, 57,4, 4,7, 30,9 і 0,5 мкг/дм³.

Аналіз молекулярно-масового розподілу вуглеводів показав, що у їхньому складі у більшості випадків домінували сполуки з молекулярною масою 50–20 і 20–5 кДа, частка яких у досліджуваних водних об'єктах знаходилась в межах відповідно 9,7–42,4% (в середньому 30,0%) і 8,4–30,2% (в середньому 22,1%) від загального вмісту вуглеводів у воді. Передбачалось, що саме ці фракції вуглеводів беруть активну участь у міграції досліджуваних металів в поверхневих водах. Для порівняльної оцінки зв'язувальної здатності різних за молекулярною масою фракцій вуглеводів щодо металів нами було використано такий же принцип розрахунків, як і раніше, тобто встановлювалась зв'язувальна здатність 1 мг вуглеводів кожної фракції. Однак, згідно розрахунків вмісту досліджуваного металу в 1 мг вуглеводів з певною молекулярною масою встановлено, що найбільші її значення були характерні для фракцій вуглеводів з молекулярною масою ≥50 і ≤5 кДа (табл. 3).

Таблиця 3. Зв'язувальна здатність різних за молекулярною масою фракцій вуглеводів щодо металів у досліджуваних водних об'єктах

Метал	Зв'язувальна здатність (мкг/мг) фракцій вуглеводів з молекулярною масою (кДа)					
	>70	70–50	50–20	20–5	5–1	<1
Канівське водосховище (Оболонська затока)						
Al	<u>4,8–17,8</u> 10,6	<u>0,4–12,6</u> 5,1	<u>0,2–3,6</u> 1,1	<u>0,2–3,1</u> 1,4	<u>0,8–10,0</u> 4,7	<u>3,1–24,6</u> 10,0
Fe	<u>7,5–210</u> 83,6	<u>1,6–520</u> 142	<u>0,4–21,0</u> 8,4	<u>0,1–23,9</u> 9,3	<u>2,6–66,8</u> 36,7	<u>8,1–161</u> 60,0
Cu	<u>1,0–19,7</u> 12,3	<u>0,8–45,4</u> 16,1	<u>0,2–4,1</u> 1,9	<u>0,4–22,3</u> 7,8	<u>2,9–21,2</u> 11,3	<u>6,9–33,0</u> 20,7
Mn	<u>3,0–40,0</u> 18,7	<u>0,6–45,5</u> 29,0	<u>0,2–9,3</u> 4,1	<u>0,4–9,0</u> 3,9	<u>2,2–24,6</u> 10,9	<u>8,1–20,5</u> 14,5
Cr	<u>2,6–8,6</u> 5,6	<u>1,4–14,1</u> 7,7	<u>0,4–1,1</u> 0,7	<u>0,3–0,5</u> 0,4	<u>2,0–5,8</u> 3,9	<u>0,7–3,3</u> 2,0
Горіхуватський став № 5						
Al	<u>1,8–48,3</u> 27,8	<u>1,9–5,3</u> 3,0	<u>1,2–5,9</u> 2,5	<u>0,9–4,2</u> 2,2	<u>1,0–4,2</u> 2,5	<u>1,3–42,0</u> 18,1
Fe	<u>42,0–93,9</u> 64,0	<u>4,0–78,6</u> 24,8	<u>3,0–55,9</u> 17,4	<u>6,4–34,2</u> 15,2	<u>7,5–47,7</u> 21,0	<u>34,2–55,6</u> 54,6
Cu	<u>8,1–34,3</u> 20,5	<u>1,1–8,1</u> 4,3	<u>2,4–4,5</u> 3,0	<u>0,9–12,9</u> 5,9	<u>1,7–10,5</u> 4,8	<u>0,7–33,8</u> 12,8
Mn	<u>7,3–61,2</u> 22,4	<u>0,6–8,8</u> 4,0	<u>0,8–6,4</u> 2,4	<u>0,4–5,5</u> 2,8	<u>1,5–4,9</u> 3,4	<u>3,4–38,6</u> 25,0
Cr	1,6*	0,8*	0,7*	0,3*	0,7*	0,3*

Примітка: над рискою і під рискою відповідно – граничні і середні значення; * – осінь 2016.

Для підтвердження отриманих результатів досліджень щодо ролі різних за молекулярною масою фракцій вуглеводів у міграції металів необхідно провести додаткові експериментальні дослідження, які б дали змогу зрозуміти, наскільки різні за молекулярною масою вуглеводи здатні додатково зв'язувати метали у

¹ $M_{\text{нейтр}}$ – загальний вміст кожного з металів у складі нейтральної групи POP.

комплексні сполуки. Це важливо з екологічної точки зору, оскільки за умови переважного зв'язування металів вуглеводами з невисокою молекулярною масою (≤ 5 кДа) будуть утворюватись біодоступні комплексні сполуки. У такому випадку про детоксикацію металів за участі у комплексоутворенні вуглеводів говорити не доводиться. Їхня роль у цьому процесі буде незначною.

Висновки. Для встановлення ролі різних за хімічною природою груп РОР у міграції металів (Al, Fe, Cu, Mn і Cr) проведено дослідження їхнього компонентного складу у воді верхньої ділянки Канівського водосховища та Горіхуватського ставка № 5. Ці водні об'єкти відрізняються як за загальним вмістом РОР, так і за співвідношенням ГР і вуглеводів. У Канівському водосховищі це співвідношення влітку становило 4,75:1, а в інші пори року воно перевищувало 12,1:1. У воді Горіхуватського ставка № 5 зазначене співвідношення змінювалось від 3,0:1 до 4,86:1. У Канівському водосховищі серед РОР домінували ГР, частка яких протягом 2016 р. варіювала в межах 58,6–85,8%. Відносний вміст вуглеводів змінювався від 4,8 до 16,6%, а БПР майже не зазнавав істотних часових змін і становив 0,4–0,7%. Частка РОР іншого походження змінювалась в межах 4,0–36,2%. Максимальні величини концентрації ГР і вуглеводів припадають на літній період. У воді Горіхуватського ставка № 5 відносний вміст ГР і вуглеводів знаходився в межах відповідно 31,5–64,3 і 9,2–13,2%, а БПР не перевищував 2,7%. Для зазначеного ставка зростання концентрації ГР, вуглеводів і навіть БПР було характерним для осіннього періоду. Збільшення вмісту ГР восени, напевно, пов'язане з утворенням автохтонного гумусу у самому водному об'єкті, а вуглеводів і БПР – прижиттєвими та постлетальними виділеннями цих сполук гідробіонтами.

Масова частка лабільної фракції досліджуваних металів як потенційно біодоступної для гідробіонтів в реальних умовах водойм була порівняно невисокою. У воді затоки Оболонь Канівського водосховища вона становила в середньому 32,2% $Al_{розч}$, 23,7% $Fe_{розч}$, 9,3% $Cu_{розч}$, 18,6% $Mn_{розч}$ і 33,3% $Cr_{розч}$. Для Горіхуватського ставка № 5 аналогічні показники були дещо вищими – $Al_{лаб}$ – 25,5% $Al_{розч}$, $Fe_{лаб}$ – 47,8% $Fe_{розч}$, $Cu_{лаб}$ – 23,8% $Cu_{розч}$. Однак при підкисленні природної води до рН 3,5–4,0 масова частка лабільної фракції деяких металів істотно збільшувалась. У воді Канівського водосховища вона досягала 59,3% $Al_{розч}$, 61,5% $Cu_{розч}$, 55,3% $Mn_{розч}$. Підкислення води мало вплинуло на вміст лабільної фракції феруму і хрому, масова частка якої становила 31,5% $Fe_{розч}$, 33,3% $Cr_{розч}$. Підкислення води з Горіхуватського ставка призвело до зростання масової частки лабільної фракції металів у 1,5–2 рази порівняно з її вмістом у нативній воді: $Al_{лаб}$ – 38,0% $Al_{розч}$, $Fe_{лаб}$ – 89,4% $Fe_{розч}$, $Cu_{лаб}$ – 49,5% $Cu_{розч}$. Встановлено, що у воді Канівського водосховища максимальні концентрації лабільної фракції Fe, Mn і Cr спостерігались навесні, тоді як Al і Cu – взимку. Для Горіхуватського ставка № 5 максимальні величини вмісту цієї фракції Al, Fe і Cu встановлено навесні.

У Канівському водосховищі зростання частки Al, Fe і Cu у складі комплексних сполук з ГР відбувалось у весняно-літній період, коли збільшувалась концентрація ГР. Максимальне значення відносного вмісту Mn у складі аналогічних комплексів виявлено восени. Це пов'язано з тим, що манган, порівняно з іншими металами, менше схильний до комплексоутворення. У Канівському водосховищі частка розчинених Al, Fe, Cu і Mn у складі комплексних сполук з ГР знаходилась в межах відповідно 35,4–43,1, 35,1–54,0, 31,8–60,8, 9,1–18,0% розчиненої форми кожного з металів. Незважаючи на домінування ГР у складі РОР, частка нейтральних комплексів металів з вуглеводами неочікувано виявилась дещо вищою і становила відповідно 49,0–60,8% $Al_{розч}$, 25,9–61,5% $Fe_{розч}$, 36,0–65,6% $Cu_{розч}$, 73,9–90,8% $Mn_{розч}$. Найімовірніше, це слід пов'язувати з деяким зниженням концентрації ГР у воді Оболонської затоки у 2016 р. порівняно з минулими роками, зокрема з 2013 р.

В середньому вміст ГР за показниками кольоровості води у 2016 р. знизився майже у 1,5 раза – з 47° у 2013 р. до 32° Cr-Co-шкали у 2016 р.

У Горіхуватському ставку частка розчинених Al, Fe, Cu, Mn і Cr у складі комплексних сполук з ГР становила відповідно 24,1–50,3, 38,9–55,9, 31,3–56,0, 6,5–32,1 14,9–43,9%. Відносний вміст зазначених металів у складі нейтральних комплексних сполук знаходився в межах відповідно 40,3–67,5, 29,6–57,9, 31,7–61,6, 62,7–89,2 і 45,4–79,9% розчиненої форми кожного з металів, тобто також був вищим. Але для ставка, де концентрація ГР у воді значно нижча, ніж у Канівському водосховищі, а вміст вуглеводів був більшим, така ситуація з розподілом металів можлива.

За розрахунками вмісту металів в 1 мг ГР і вуглеводів було встановлено, що останні не поступають у зв'язуванні металів у комплексні сполуки. Водночас переважне знаходження металів у складі аніонних комплексних сполук з ГР зумовлене їхнім домінуванням у складі РОР поверхневих вод.

Встановлено, що у досліджуваних водних об'єктах відносний вміст вуглеводів з молекулярною масою ≤ 5 кДа зазнавав сезонних змін і досягав мінімальних значень у весняно-літній період. Частка цих сполук у воді Канівського водосховища і Горіхуватського ставка № 5 знаходилась в межах відповідно 8,2–37,9 і 22,5–48,4% загального вмісту вуглеводів. Це пов'язано з тим, що саме в цей час збільшується надходження екзаметаболітів водоростей, які представлені високомолекулярними сполуками. Не виключено також, що саме ця фракція вуглеводів активно асимілюється фітопланктоном та вищою водною рослинністю у процесі їхнього розвитку, що створює передумови для домінування високомолекулярних вуглеводів. Комплекси металів з вуглеводами зазначеної вище молекулярної маси слід оцінювати як біодоступні для гідробіонтів. Відносний вміст Al, Fe, Cu, Mn і Cr у складі нейтральних комплексних сполук з молекулярною масою ≤ 5 кДа у воді Канівського водосховища становив відповідно 22,8–64,1, 17,0–52,4, 34,6–70,2 35,7–45,2 і 16,1–29,5%, а у воді Горіхуватського ставка № 5 – в межах 18,6–53,7, 35,8–55,0, 21,0–43,5, 42,1–82,0 і 32,3% загальної концентрації кожного із зазначених металів у нейтральній фракції (групі) РОР.

За розрахунками вмісту досліджуваних металів у 1 мг фракцій вуглеводів певної молекулярної маси було встановлено, що найбільші його значення характерні для фракцій вуглеводів з молекулярною масою ≥ 50 і ≤ 5 кДа. Водночас, фракції вуглеводів з молекулярною масою 50–20 і 20–5 кДа домінували, але поступались за зв'язувальною здатністю щодо металів. Для встановлення потенційної ролі різних за молекулярною масою фракцій вуглеводів у зв'язуванні металів в комплекси необхідні додаткові експериментальні дослідження.

Список літератури

1. Аналітична хімія поверхневих вод / Б.Й. Набиванець та ін. К. : Наукова думка, 2007. 456 с.
2. Дебейко Е.В., Рябов А.К., Набиванець Б.И. Прямое фотометрическое определение растворимых белков в природных водах. Гидробиол. журн., 1973. Т. 9, № 6. С. 109–113.
3. Линник П.Н., Васильчук Т.А., Линник Р.П. Гумусовые вещества природных вод и их значение для водных экосистем (обзор). Гидробиол. журн., 2004. Т. 40, № 1. С. 81–107.
4. Линник П.Н., Жежеря В.А., Иванченко Я.С., Линник Р.П. Гумусовые вещества и их роль в миграции металлов в высокоцветных поверхностных водах (на примере рек бассейна Припяти). Экологическая химия, 2014. Т. 23, №2. С. 74–91.
5. Линник П.Н., Жежеря В.А., Линник Р.П. Влияние компонентного состава органических веществ на соотношение растворенных форм металлов в поверхностных водах. Гидробиол. журн., 2012. Т. 48, № 5. С. 97–114.
6. Линник П.Н., Жежеря В.А., Линник Р.П. Сравнительная оценка связывающей способности различных фракций гумусовых веществ поверхностных вод по отношению к ионам Al(III), Fe(III) и Cu(II). Экологическая химия, 2014. Т. 23, № 4.

С. 223–241. **7. Линник П.Н., Набиванец Б.И.** Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л. : Гидрометеиздат, 1986. 270 с. **8. Линник П.Н., Лещинская А.А., Набиванец Б.И.** О методических особенностях исследования сосуществующих форм хрома в природных водах. Гидробиол. журн., 1989. Т. 25, № 2. С. 88–93. **9. Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А.** Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М. : Наука, 2006. 261 с. **10. Набиванец Б.И., Линник П.Н., Калабина Л.В.** Кинетические методы анализа природных вод. Киев : Наук. думка, 1981. 140 с. **11. Модифікований батометр-склянка: пат. 75995 Україна:** МПК⁵¹ (2012.01) G 01 N 1/00. № и 2012 05246; заяв. 27.04.2012; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24. 4 с. **12. Перминова И.В.** Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот: Автореф. дис. ... д-ра. хим. наук. – М., 2000. 50 с. **13. Попов А.И.** Гуминовые вещества: свойства, строение, образование. СПб.: Изд-во С.-Петербур. у-та, 2004. 248 с. **14. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши /** под ред. А.Д. Семенова. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 542 с. **15. Савранский Л.И., Наджафова О.Ю.** Спектрофотометрическое исследование комплексообразования Cu, Fe и Al с хромазулом S в присутствии смеси катионного и неионогенного ПАВ. Журн. аналит. химии. 1992. Т. 47, № 9. С. 1613–1617. **16. Aquatic ecosystems: interactivity of dissolved organic matter /** ed. by S. E. G. Findlay, R. L. Sinsabaugh. San Diego: Academic Press, 2003. 512 p. **17. Carvalho S.I.M., Otero M., Duarte A.C., Santos E.B.H.** Effects of solar radiation on the fluorescence properties and molecular weight of fulvic acids from pulp mill effluents. Chemosphere. 2008. Vol. 71. P. 1539–1546. **18. Chefetz B., Hatcher P.G., Hadar Y., Chen Y.** Characterization of dissolved organic matter extracted from composted municipal solid waste. Soil Sci. Soc. Am. J. 1998. Vol. 62. P. 326–332. **19. Chróst R.J., Münster U., Rai H., Albrecht D., Witzel P.K., Overbeck J.** Photosynthetic production and exoenzymatic degradation of organic matter in the euphotic zone of a eutrophic lake. J. Plankton Res. 1989. Vol. 11, no. 2. P. 223–242. **20. Faragallah H.M., Abdel-Ghani S.A., Okbah M.A.** Dissolved labile and non-labile trace metal in El-Mex bay water, Alexandria, Egypt. Egypt. J. Exp. Biol. (Zool.). 2010. Vol. 6, N 1. P. 91–98. **21. Förstner U., Wittmann G.T.W.** Metal pollution in the aquatic environment, 2nd edn. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1983. 486 p. **22. Karlik B., Szpakowska B.** Labile organic matter and heavy metals in waters of agricultural landscape. Polish Journal of Environmental Studies. 2001. Vol. 10, N 2. P. 85–88. **23. Kosobucki P., Buszewski B.** Natural organic matter in ecosystems (a review). Nova Biotechnologica et Chimica. 2014. Vol. 13, no. 2. P. 109–129. **24. Kulovaara M., Corin N., Backlund P. and Tervo J.** Impact of UV₂₅₄-radiation on aquatic humic substances. Chemosphere. 1996. Vol. 33, no. 5. P. 783–790. **25. Linnik P.N.** Content of metals labile fraction in surface waters as the main element in assessing their potential toxicity. Hydrobiol. J. 2011. Vol. 47, N 2. P. 86–96. **26. Linnik P.N., Ivanechko Ya.S.** Dissolved protein-like substances in surface water bodies of various types. Hydrobiol. J. 2015. Vol. 51, N 2. P. 85–104. **27. Linnik P.N., Zhezherya V.A., Linnik R.P. et al.** Metals in surface water of Ukraine: The migration forms, features of distribution between the abiotic components of aquatic ecosystems, and potential bioavailability. Russian Journal of General Chemistry. 2015. Vol. 85, N 13. P. 2965–2984. **28. Linnik P.N.** Complexation as the most important factor in the fate and transport of heavy metals in the Dnieper water bodies. Anal. Bioanal. Chem. 2003. Vol. 376. P. 405–412. **29. Linnik P.N., Ivanechko Ya.S., Linnik R.P., Zhezherya V.A.** Systematic features in the study of humic substances in natural surface waters. J. Water Chem. and Technol. 2013. Vol. 35, №6. P. 295–304. **30. McDonald S., Bishop A.G., Prenzler P.D., Robards K.** Analytical chemistry of freshwater humic substances. Analyt. Chim. Acta. 2004. Vol. 527. P. 105–124. **31. Mostofa K.M.G., Wu F., Liu C.Q. et al.** Photochemical, microbial and metal complexation behavior of fluorescent dissolved organic matter in the aquatic environments. Geochem. J. 2011. Vol. 45. P. 235–254. **32. Pflugmacher S., Pietsch C., Rieger W. et al.** Humic substances and their direct effects on the physiology of aquatic plants. *Humic substances: nature's most versatile materials* / Ed. by E. A. Ghabbour, G. Davies. New York: Taylor and Francis, Inc., 2004. P. 209–223. **33. Rozan T.F., Benoit G.** Geochemical factors controlling free Cu ion concentrations in river water. Geochim. Cosmochim. Acta. 1999. Vol. 63, N 19/20. P. 3311–3319. **34. Rubini P., Lakatos A., Champmartin D., Kiss T.** Speciation and structural aspects of interactions of Al(III) with small biomolecules. Coord. Chem. Reviews. 2002. Vol. 228. P. 137–152. **35. Tercero Espinoza L.A., Ter Haseborg E., Weber M., Frimmel F.H.** Investigation of the photocatalytic degradation of

brown water natural organic matter by size exclusion chromatography. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2009. Vol. 87. P. 56–62. **36.** *Tipping E.* Cation binding by humic substances. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 434 p. **37.** *Valencia S., Marín J., Velásquez J., Restrepo G., Frimmel F.H.* Study of pH effects on the evolution of properties of brownwater natural organic matter as revealed by size-exclusion chromatography during photocatalytic degradation. *Water Research*. 2012. Vol. 46, P. 1198–1206. **38.** *Xiao M., Wu F.* A review of environmental characteristics and effects of low-molecular weight organic acids in the surface ecosystem. *J. Environ. Sci.* 2014. Vol. 26. P. 935–954.

Роль различных групп растворенных органических веществ поверхностных вод в миграции металлов

Жежеря В.А., Линник П.Н., Игнатенко И.И.

Рассмотрены результаты исследований влияния компонентного состава растворенных органических веществ поверхностных вод на формы нахождения Al, Fe, Cu, Mn и Cr. Установлено увеличение массовой доли комплексных соединений исследованных металлов с гумусовыми веществами с возрастанием концентрации последних в воде. Повышение содержания углеводов в воде приводит к перераспределению металлов среди комплексных соединений и увеличению относительного содержания нейтральных комплексов. Проведены расчеты связывающей способности различных групп растворенных органических веществ по отношению к исследованным металлам (мкг/мг) и установлено, что углеводы не уступают гумусовым веществам в связывании металлов в комплексы. На основании расчетов связывающей способности различных по молекулярной массе фракций углеводов относительно Al, Fe, Cu, Mn и Cr установлено, что максимальные ее значения характерны для углеводов с молекулярной массой ≥ 50 и ≤ 5 кДа.

Ключевые слова: гумусовые вещества, белковоподобные вещества, углеводы, металлы, формы нахождения, водоемы с замедленным водообменом.

Роль різних груп розчинених органічних речовин поверхневих вод в міграції металів

Жежеря В.А., Линник П.Н., Игнатенко И.И.

Розглянуто результати досліджень впливу компонентного складу розчинених органічних речовин поверхневих вод на форми знаходження Al, Fe, Cu, Mn і Cr. Виявлено збільшення масової частки комплексних сполук досліджуваних металів з гумусовими речовинами зі зростанням концентрації останніх у воді. Підвищення вмісту вуглеводів у воді призводить до перерозподілу металів між комплексними сполуками та збільшення відносного вмісту нейтральних комплексів. Проведено розрахунки зв'язувальної здатності різних груп розчинених органічних речовин щодо досліджуваних металів (мкг/мг) та з'ясовано, що вуглеводи не поступаються гумусовим речовинам у зв'язуванні металів в комплекси. На підставі розрахунків зв'язувальної здатності різних за молекулярною масою фракцій вуглеводів стосовно Al, Fe, Cu, Mn і Cr встановлено, що максимальні її значення характерні для вуглеводів з молекулярною масою ≥ 50 і ≤ 5 кДа.

Ключові слова: гумусові речовини, білковоподібні речовини, вуглеводи, метали, форми знаходження, водойми з уповільненим водообміном.

The role of various groups of dissolved organic substances of surface water bodies in the migration of metals

Zhezherya V.A., Linnik P.N., Ignatenko I.I.

There were considered the results of research influence of changes in the component composition of dissolved organic substances of surface waters on coexisting forms of Al, Fe, Cu, Mn and Cr in the dissolved state. It was established, that the share of complexes of the investigated metals with humic substances increased, when the humic substances concentration increased too. The increase in carbohydrates content leded to redistribution of metals among complexes and increase in the relative content of neutral metal complexes. Calculations of the binding ability of various groups of dissolved organic substances to investigated metals ($\mu\text{g}/\text{mg}$) are carried out. It was established that carbohydrates are not inferior to humic substances in the binding of metals to complexes. Based on the calculation of the binding ability of carbohydrate fractions with different molecular weight to Al, Fe, Cu, Mn and Cr was established that its maximal values were in fractions with molecular weight ≥ 50 and ≤ 5 kDa.

Keywords: humus substances, protein-like substances, carbohydrates, metals, coexisting forms, water bodies with slow water exchange.

Надійшла до редколегії 03.05.2017

УДК 631:551.50+550. 837.3

Балабух В.О., Однолєток Л.П., Кривошеїн О.О.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України

ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ В УКРАЇНІ У ПЕРІОДИ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ЦИКЛУ

Ключові слова: зміна клімату; агрокліматичні умови; озима пшениця; продуктивність температури та опадів; недобір урожаю.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Функціонування галузей землеробства та тваринництва, їх спеціалізація, урожайність сільськогосподарських культур значною мірою залежать від агрокліматичних умов, особливо тепло- і вологозабезпеченості. Для вирощування польових культур агрокліматичні умови в цілому, задовільні на всій території України, проте протягом кожного періоду вегетаційного циклу вони мають різну потребу у теплі та волозі, що зумовлено особливостями їх росту і розвитку [1-3]. Кожна фаза розвитку рослини має власний внесок в урожайність культури, а її тривалість залежить від агрокліматичних умов. Максимальний приріст продукції формується за оптимальних значень агрометеорологічних факторів, які забезпечують біологічний оптимум рослин у кожний період вегетаційного циклу. Агрометеорологічні екстремуми негативно впливають на продуктивність рослин, формуючи мінімальний або нульовий її приріст. Відмінності поточних умов від оптимальних значень агрометеорологічних факторів характеризують ступінь задоволення потреб польової культури, пропорційно якому у кожний міжфазний період формується відповідна частка врожаю, стосовно її кінцевого рівня. Формування найбільшої врожайності сільськогосподарських культур відбувається за повного задоволення потреб рослин, саме за оптимальних значень факторів зовнішнього середовища, значну частку яких складають метеорологічні умови [1]. Проте оптимальні умови створюються рідко. За звичай, на тій чи іншій фазі розвитку рослини потерпають від надлишку або дефіциту вологи і тепла. Знак і величина відхилення значень метеорологічних елементів від біологічних оптимумів характеризує нестачу та надлишок тепла і вологи та пропорційно знижує урожай. Протягом останніх десятиріч зміна температури та опадів зумовлює суттєві зміни агрокліматичних умов розвитку рослини у кожний міжфазний період вегетаційного циклу, внаслідок чого змінюється їхній внесок в урожай польових культур і зрештою й сам урожай. Такі зміни потребують детального вивчення впливу зміни клімату на продуктивність польових культур та розробки заходів для пом'якшення негативних наслідків, зумовлених зміною агрокліматичних умов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема зміни клімату привертає увагу наукового співтовариства до зміни агрокліматичних ресурсів та впливу цих змін на сільськогосподарське виробництво. У дослідженнях Польового А.М., Дмитренка В.П., Адаменко Т.І., Кульбиди М.І., Божко Л.Ю., Дронової О.О. та ін. [3-10] виявлено значні зміни агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур в Україні у другій половині ХХ – на початку ХХІ століття. Авторами встановлено суттєве підвищення температури повітря, збільшення тривалості та теплозабезпеченості вегетативного періоду. Проведено оцінку зміни

агрокліматичних умов росту, розвитку та формування урожайності сільськогосподарських культур, можливих коливань валових зборів їхнього урожаю та їх особливості в ґрунтово-кліматичних зонах України [3-4]. Встановлено можливі зміни агрокліматичних умов вирощування зернових культур для різних кліматичних сценаріїв, що враховують збільшення викидів парникових газів від 30 до 200%, відносно доіндустріального періоду [3, 5-10]. Проте, розробка регіональних планів по адаптації сільськогосподарського виробництва до зміни клімату потребує більш детальної оцінки зміни агрокліматичних умов протягом вегетаційного циклу вирощування сільськогосподарських культур, зокрема коефіцієнтів продуктивності впливу температури повітря і кількості опадів, їхнього впливу на плодотворність клімату та недобір урожаю культур у сучасний кліматичний період, можливі зміни до кінця XXI століття.

Метою роботи є виявлення механізмів впливу зміни клімату на продуктивність озимої пшениці, оцінка зміни температури повітря, кількості опадів та їхнього сумісного впливу на продуктивність озимої пшениці у періоди вегетаційного циклу вирощування культури, зміни плодотворності клімату та недобору урожаю культури у сучасний кліматичний період (1981-2010 рр.) та їхні можливі зміни і частка невизначеності цих змін до середини XXI ст. (2021-2050 рр.) в агрокліматичних зонах України.

Отримані результати сприятимуть оптимізації просторового розміщення посівів озимої пшениці в агрокліматичних зонах України з врахуванням очікуваних змін клімату та несприятливих метеорологічних явищ щодо недобору її врожаю.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження агрокліматичних умов вирощування озимої пшениці та впливу зміни клімату на її продуктивність проводили за щоденними даними спостережень гідрометеорологічної мережі України за температурою повітря і опадами у сучасний кліматичний період (1981-2010 рр.). Для усіх періодів вегетаційного циклу культури обчислювали середні за рік та період (1981-2010 рр.) значення агрокліматичних показників для усіх областей України і агрокліматичних зон.

Оцінку впливу агрометеорологічних умов на формування урожайності озимої пшениці проводили на основі гідрометеорологічного блоку моделі «Погода-урожай» В. П. Дмитренка, зокрема, сумарного коефіцієнту продуктивності $S(T,R)$, який характеризує вплив температури повітря (T) та кількості опадів (R) в основні періоди розвитку польової культури. Сумарний коефіцієнт продуктивності обчислювали за формулою [1, 2]:

$$S(T, R) = \sum_{i=1}^n \eta(T_i) \eta(R_i) \cdot \alpha_i \quad (1)$$

де $\eta(T_i)$, $\eta(R_i)$ – коефіцієнти продуктивності, що описують вплив температури повітря та опадів на урожай в i -тий період вегетаційного циклу; α_i – ваговий множник внеску тривалості кожного i -того періоду вегетаційного циклу в рівень урожайності за оптимальних значень його елементів.

Сумарний коефіцієнт продуктивності є провідним агрометеорологічним чинником формування врожаю і зводиться за багаторічний період до поняття загальної сільськогосподарської плодотворності клімату, під якою мають на увазі можливість атмосфери і підстильної поверхні через кліматичні ресурси забезпечувати певний рівень родючості ґрунту і урожаю сільськогосподарських культур, як за сприятливих умов, так і з врахуванням збиткових явищ, щодо недобору урожаю [2]. Значення сумарного коефіцієнту продуктивності дозволяє оптимізувати просторове розміщення польових культур за ступенем сприятливості клімату, а також оцінити збитковість окремих чинників метеорологічного походження

у вигляді недобору врожаю.

Комплексну оцінку відповідності термічного режиму і кількості опадів потребам польової культури для усіх періодів вегетаційного циклу проводили за сумісним коефіцієнтом продуктивності $\eta(T,R)$ [1, 2]:

$$\eta(T,R) = \eta(T)\eta(R) \quad (2)$$

Згідно значень сумісного коефіцієнту продуктивності оцінювали відповідність режиму тепла і вологи потребам польової культури за шкалою сприятливості [1]: 0,86-1,00 – сприятливі, 0,66-0,85 – задовільні, 0,36-0,65 – незадовільні, 0,16-0,35 – дуже незадовільні, 0,0-0,15 надзвичайні.

Для характеристики умов формування врожайності озимої пшениці в агрокліматичних зонах України необхідно враховувати як кліматичні, так і ґрунтові фактори, які зумовлюють зростання надземної маси рослини та життєдіяльність її кореневої системи. Посіви озимої пшениці у період свого росту і розвитку для нормального протікання біологічних процесів потребують певної кількості корисної вологи яка в різні періоди вегетації залежить від маси рослин і фази розвитку та безперервно змінюється по території. Фізична стиглість ґрунту створюється за оптимального його зволоження і настає за відносної вологості ґрунту 40-70 % та визначається наступним рівнянням:

$$BB = \frac{\Phi B}{(ПВ - ТВ)} \cdot 100, \quad (3)$$

де BB – відносна вологість ґрунту, %; ΦB – фактична вологість ґрунту, мм; $ПВ$ – польова вологоємність ґрунту, мм; $ТВ$ – точка в'янення, мм.

Для агрокліматичних зон України встановлено середні багаторічні значення відносної вологості ґрунту для усіх періодів вегетаційного циклу у сучасний кліматичний період та 2021-2050 рр.

Для кожної фази розвитку озимої пшениці проводили оцінку інтенсивності, значимості та достовірності зміни середніх багаторічних значень агрокліматичних показників протягом сучасного кліматичного періоду. У якості міри інтенсивності зміни використовували коефіцієнт лінійного тренду, який характеризує швидкість та напрям зміни показників. Значимість коефіцієнтів лінійного тренду оцінювали за критерієм Стюдента (t -критерій) і визначали ймовірність (p) зміни даного показника. Якщо ця ймовірність (p) була меншою, ніж заздалегідь прийнятий рівень значущості, нульову гіпотезу відхиляли [11]. За рекомендацією Міжурядової групи експертів зі змін клімату (МГЕЗК) використовували такі критерії значущості [12]:

$p \leq 0,01$, ймовірність 99 – 100%, практично не викликає сумнівів;

$0,01 < p \leq 0,1$, ймовірність 90 – 99%, дуже ймовірно;

$0,1 < p \leq 0,34$, ймовірність 66 – 90%, ймовірно;

$0,34 < p \leq 0,67$, ймовірність 33 – 66%, приблизно так само ймовірно, як і ні;

$0,67 < p \leq 0,90$, ймовірність 10 – 33, мало ймовірно;

$0,90 < p \leq 0,99$, ймовірність 1 – 10 %. дуже мало ймовірно;

$p > 0,99$, ймовірність 0 – 1%, виключно мало ймовірно.

Оцінку можливої зміни агрокліматичних показників до середини ХХІ ст. здійснювали з урахуванням сценаріїв викидів парникових газів та розвитку людства, запропонованих МГЕЗК, зокрема для сценарію А1В [13]. Обчислення проєкцій зміни показників термічного режиму та режиму зволоження проводили за даними регіональної кліматичної моделі REMO, що використовує краєві умови глобальної моделі ECHAM5, з кроком 25*25км. Для кожної фази розвитку озимої пшениці обчислювали середні по області багаторічні значення агрокліматичних показників у

1981-2010 та 2021-2050 рр., визначили їх зміну та її значимість відносно сучасного кліматичного періоду для сценарію А1В. Для прийняття рішення стосовно значимості зміни середніх багаторічних значень використовували ті ж критерії для p , що й для оцінки значимості тренду [12].

Виклад основного матеріалу. Агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці в агрокліматичних зонах України у сучасний кліматичний період (1981-2010 рр.). Середньо багаторічні показники потреб озимої пшениці у термічних умовах, зволоженні у вигляді опадів та відносної ґрунтової вологи надають загальне уявлення щодо їх задоволення у кожний міжфазний період та протягом усього вегетаційного циклу. За аналізом цих даних визначається у якому міжфазному періоді умови вирощування озимої пшениці близькі до оптимальних або несприятливі для формування врожаю. За даними [1, 2] вегетаційний цикл вирощування озимої пшениці має сім фаз, кожна з яких, вносить свою частку (α) в урожайність культури (табл.1).

Таблиця 1. Основні фази розвитку озимої пшениці протягом вегетаційного циклу і внесок їх тривалості в кінцевий урожай [1, 2]

Фази вегетаційного циклу	Календарні місяці тривалості фаз вегетаційного циклу	Ваговий множник потенціалу урожаю α , %	
		за окремий період, α_i	сукупний, $\Sigma\alpha_i$
передпосівна	VII-VIII	7	7
сівба-сходи	IX-X	7	14
кущіння	XI	5	19
припинення вегетації	XII-II	29	48
відновлення вегетації -	III-V	36	84
колосіння-цвітіння	VI	9	93
молочна - воскова стиглість	VII	7	100

Значення *передпосівного періоду (VII-VIII)* у кінцевий урожай за рівнем вагового множника α є незначним (7%). Проте запас ґрунтової вологи, сформований у цей період, суттєво впливає на подальший розвиток рослин (табл. 1). Проведені дослідження показали, що протягом цього періоду температура повітря сприятлива для вирощування озимої пшениці у всіх агрокліматичних зонах України. Винятком є лише південний Степ, де вона вища за оптимальні значення (T_o) на 3,0°C і свідчить про задовільні термічні умови для вирощування культури у сучасний кліматичний період (табл.2). Режим зволоження, сприятливий та задовільний на Поліссі, у центральному і східному Лісостепу та північному Степу. Відхилення від оптимуму (R_o) складає 11-24 мм (табл. 2). У західному Лісостепу кількість опадів за період, порівняно з оптимумом більша на 40 мм і свідчить про перезволоження, а у південному Степу на 28 мм менше оптимуму і вказує на недостатнє зволоження. Відносна вологість ґрунту у передпосівний період змінюється від 123 % на Поліссі до 52 % у південному Степу.

Оцінка комплексного впливу температури повітря і кількості опадів, у вигляді сумісного коефіцієнту продуктивності $\eta(T,R)$, показала (табл.2), що агрометеорологічні умови в Україні у цей період, загалом, сприятливі, а продуктивність озимої пшениці може становити 88-93% від господарського максимуму врожайності (табл. 2). Лише у південному Степу забезпеченість теплом і вологою на задовільному рівні, про що свідчить величина $\eta(T,R)$, і продуктивність пшениці може сягати 81% господарського максимуму врожаю.

Таблиця 2. Агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці в агрокліматичних зонах України

Фази вегетацій- ного циклу	Період 1981-2010 рр.				Швидкість змін 1981-2010			Період 2021-2050 рр.			
	$T, ^\circ C$	$R, мм$	$\eta(T,R)$	$W, \%$	$T, ^\circ C/10p$	$R, \%/10 p$	$\eta(T,R) \%/10 p$	$T, ^\circ C$	$R, мм$	$\eta(T,R)$	$W, \%$
Полісся											
VII-VIII	18,5	154	93	123	0,9	10,5	-0,3	19,5	157	6,6	124
IX-X	10,4	102	86	90	0,1	6	0,1	11,8	109	6,3	78
XI	1,4	44	64	173	1	2,5	0,2	3,1	46	3,5	191
XII-II	-1,9	108	82	210	0,4	4,1	0,7	-1,6	122	25,1	232
III-V	8,1	137	95	203	0,4	10,7	0,3	8,8	141	33,5	243
VI	17,3	82	49	124	0,6	-9,6	0,3	18,3	86	6,6	156
VII	19,2	87	38	123	1,1	4,6	0,1	19,7	104	4,2	132
Лісостеп західний											
VII-VIII	18	170	91	98	0,9	21,3	-0,5	19,2	179	6,6	101
IX-X	10,6	101	87	65	-0,1	17,7	0,3	12,2	111	6,3	58
XI	2	39	62	123	1,2	2,3	0,2	3,4	40	3,2	149
XII-II	-2,6	104	83	147	0,4	4,7	0,4	-1,2	121	25,3	204
III-V	7,8	158	95	153	0,5	11,2	-0,3	8,7	178	33,1	247
VI	16,4	87	41	102	0,7	2,5	-0,1	17,7	105	4,7	111
VII	18,3	95	32	98	1	12,7	-0,1	19,2	110	3,2	99
Лісостеп центральний											
VII-VIII	19,3	151	91	88	1	3,4	-0,5	20,4	142	6,4	98
IX-X	11	95	87	79	0,1	10,9	0,3	12,6	92	6,2	71
XI	1,7	42	62	131	1,3	0,4	0,2	3	39	3,2	141
XII-II	-3	103	83	155	0,4	0,7	0,6	-1,7	114	24,9	178
III-V	8,4	132	95	146	0,5	0,8	-0,1	9,3	132	32,8	160
VI	18	86	41	92	0,6	-9,7	0,2	19	90	6,2	105
VII	19,8	85	32	88	1,1	0,1	0,2	20,6	83	5	96
Лісостеп східний											
VII-VIII	19,9	119	88	67	1	-5,2	-0,6	21	116	5,9	68
IX-X	10,7	98	87	85	0,3	9,7	0,3	12,4	100	6,3	80
XI	0,7	46	60	120	1,4	1,8	0,3	2,4	45	3,4	136
XII-II	-4,2	118	78	139	0,4	-1,2	0,6	-2,6	136	24,6	145
III-V	8,2	127	94	129	0,6	4,4	0,2	9,1	126	33	129
VI	18,6	69	53	69	0,4	-6,3	0	19,7	70	6,4	75
VII	20,6	69	50	66	1,0	2,9	0,1	21,3	70	5,4	68
Степ північний											
VII-VIII	19,9	119	88	67	1,0	-1,5	-0,7	21,6	106	4,9	60
IX-X	10,7	98	87	85	0,4	14,9	0,3	13,2	78	5,6	68
XI	0,7	46	60	120	1,3	2,2	0,2	3,3	48	3,3	124
XII-II	-4,2	118	78	139	0,3	4,4	0,3	-1,6	138	23,8	145
III-V	8,2	127	94	129	0,5	5,9	-0,3	9,4	118	31,5	123
VI	18,6	69	53	69	0,5	-3,3	-0,3	19,9	70	5,8	55
VII	20,6	69	50	66	0,9	0,5	-0,1	21,9	61	5,6	59
Степ південний											
VII-VIII	21	102	81	52	1,0	-2,7	-0,8	23,6	88	3,9	60
IX-X	11,8	84	85	74	0,3	11,4	0,2	15,5	73	5,2	54
XI	1,7	45	63	110	1,3	1,4	0,1	5,6	46	3,1	119
XII-II	-3,4	119	82	128	0,3	5,6	0,1	0,7	124	23,1	148
III-V	8,8	122	93	113	0,6	3	-0,5	10,5	107	28,8	100
VI	19,5	69	52	54	0,6	-1	-0,4	21,2	59	6,3	49
VII	21,6	59	59	52	0,9	-2,7	-0,1	23,6	50	5,7	55

Протягом *сівби-сходів* (IX-X) температурний режим у сучасний кліматичний період задовільний майже в усіх агрокліматичних зонах і перевищує оптимальне значення температури (T_o) на 2,0-2,6°C. У південному Степу ці відхилення майже вдвічі менші – 1,2°C, і свідчить про сприятливий термічний режим для вирощування озимої пшениці. На початку росту і розвитку культури, із зростанням вегетативної маси та розвитком кореневої системи, потреба у вологозапасах зростає. Проте опадів, порівняно із передпосівним періодом, випадає на 68 - 94 мм менше в усіх агрокліматичних зонах, що призводить до нестачі вологи. Відносна вологість ґрунту порівняно із попереднім періодом зменшується на Поліссі, у західному Лісостепу та центральному до 79-90 %. Лише у східному Лісостепу і степовій частині України відносна вологість зростає (74-85 %) за рахунок вологи що накопичилась у передпосівний період та непромивному типу ґрунту (волога не проникає до рівня ґрунтових вод). Сумісний вплив тепла і вологи на формування врожаю озимої пшениці сприятливий і може формувати 85-87 % від господарського максимуму врожайності в усіх агрокліматичних зонах.

У *період куціння* (XI) температура повітря задовільна для вирощування озимої пшениці на всій території України. Проте кількість опадів у сучасний кліматичний період на 74–81 мм менше від оптимальної і свідчить про несприятливі умови зволоження. Сумісний вплив тепла і вологи $\eta(T,R)$ на урожайність культури у цей період різко зменшується до незадовільного рівня (60-64%) (табл.2). До моменту припинення вегетації помітно збільшуються вологозапаси ґрунту. Внаслідок послаблення транспірації у цей період за рахунок зниження температури повітря, зменшуються витрати вологи із ґрунту, що сприяє її поступовому накопиченню. Найбільший ріст відносної вологості ґрунту спостерігається на Поліссі (173 %) та у південному Степу (110 %).

Значення зимового періоду для озимої пшениці досить вагоме у формуванні врожаю. На *період припинення вегетації* (XII-II) припадає 48% сукупного внеску α у потенціал врожаю [2]. Як показали дослідження, термічні умови у сучасний кліматичний період задовільні для вирощування пшениці, а відхилення від оптимальної температури повітря становить 1,4 - 3,7°C. Проте режим атмосферного зволоження свідчить про незадовільні умови зволоження протягом 1981-2010рр, оскільки середня багаторічна кількість опадів у період спокою на 41-58 мм менше оптимальних значень. Охолодження поверхневого шару ґрунту та припинення транспірації сприяє накопиченню відносної вологості ґрунту від 110% у південному Степу до 210% на Поліссі. Сумісний вплив тепла і вологи $\eta(T,R)$ на урожайність озимої пшениці в усіх агрокліматичних зонах задовільний і коливається від 78 до 83% (табл. 2).

Найбільший сукупний внесок у кінцевий урожай озимої пшениці (84%) формується у *період відновлення вегетації* (III-V) (табл. 1). У цей період найбільша інтенсивність усіх фізіологічних процесів і максимальне наростання рослинної маси. Термічний режим сприятливий у цей період в усіх агрокліматичних зонах. Відхилення від оптимуму становить лише 0,2-0,8°C. Проте кількість опадів на 33-48 мм менша від оптимальної і є несприятливою для вирощування озимої пшениці майже на всій території України. Лише у західному Лісостепу, де опадів лише на 12 мм менше від оптимуму умови атмосферного зволоження на задовільному рівні. Разом з тим, поєднання близького до оптимального значення температури повітря у цей період із нестачею вологи створює агрометеорологічні умови, близькі до сприятливих. Сумісний вплив температури повітря і кількості опадів у цей період становить 93-95% від господарського максимуму врожайності. Під час відновлення вегетації збільшується потреба у вологості ґрунту. Посилення транспірації і

енергетичних процесів та недостатня кількість атмосферної вологи у вигляді опадів поступово зменшує відносну вологість ґрунту від 203 % на Поліссі до 113 % у південному Степу.

У періоді формування зерна (*коłosіння-цвітіння* (VI)) та його досягання (*молочна і воскова стиглість* (VII)) в усіх агрокліматичних зонах України інтенсивність фізіологічних процесів озимої пшениці зменшується. Температурний режим сприятливий, близький до оптимуму. Систематичне перевищення зволоження, у вигляді опадів, створює несприятливі умови формування врожаю у цей період (табл. 2). Різко зменшується спільний вплив тепла і вологи на формування урожаю, а сумісний коефіцієнт продуктивності свідчить про несприятливі умови (32-59 %). Незважаючи на перевищення кількості опадів відносна вологість ґрунту до часу настання молочної стиглості та після неї зменшується майже вдвічі від 124 % у Поліссі до 54 % у Степу південному. У цей період, за сприятливого температурного режиму та зменшення фізіологічних процесів, збільшується випаровування з поверхні ґрунту. До настання повної стиглості, коли потреба до вологи найменша [14], відносна вологість ґрунту досягає від 123 % на Поліссі до 52% у південному Степу.

Таким чином, у сучасний кліматичний період сумісний вплив тепла і вологи сприятливий для формування врожаю озимої пшениці протягом осінньої вегетації, зростає і досягає максимуму у період відновлення вегетації і різко зменшується до несприятливих умов у період формування і досягання зерна. Несприятливим сумісний вплив тепла і вологи може бути і в період формування вегетативних органів культури. Такі особливості комплексного впливу агрометеорологічних умов на формування врожаю озимої пшениці характерні для всіх агрокліматичних зон України. Вони обумовлені особливостями сезонного розподілу температури повітря і кількості опадів. Відносна вологість ґрунту в усіх агрокліматичних зонах України достатня для оптимального розвитку озимої пшениці і відповідає оптимальній її вологості в межах 40-60 % повної вологоємності.

Дослідження плодотворності клімату для озимої пшениці за сумарним коефіцієнтом продуктивності $S(T,R)$ показали, що у сучасний кліматичний період в усіх агрокліматичних зонах України спостерігаються сприятливі і задовільні агрокліматичні умови для вирощування озимої пшениці, які забезпечують не менше 80-88 % від господарського максимуму врожаю (рис. 1).

Недобір урожаю (рис. 2) за невідповідності кліматичних умов потребам рослин протягом всього вегетаційного циклу має зональний розподіл. Він становить на Поліссі у середньому по області 12-14%, Лісостепу 12-16% з максимумом у Сумській та Харківській областях та в Степу 15-18 %.

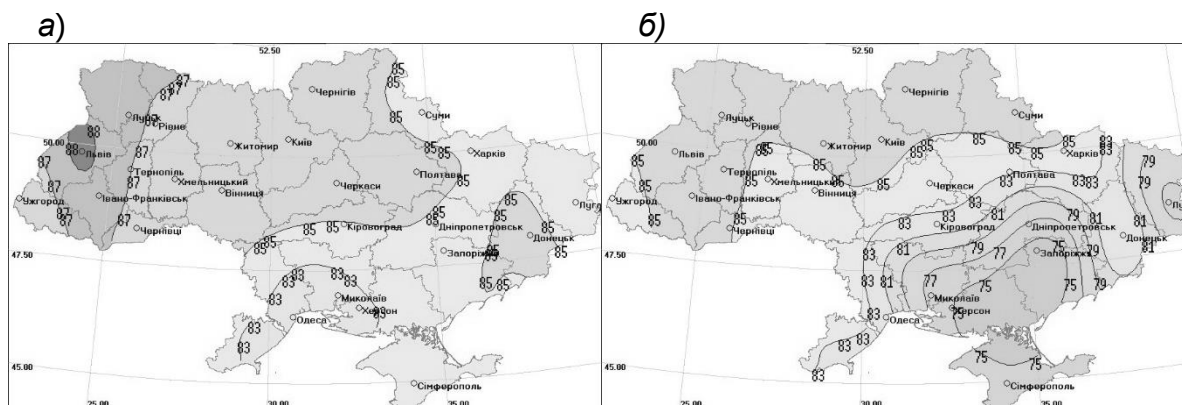


Рис. 1. Плодотворність клімату для вирощування озимої пшениці: а) 1981-2010 рр; б) 2021-2050рр.

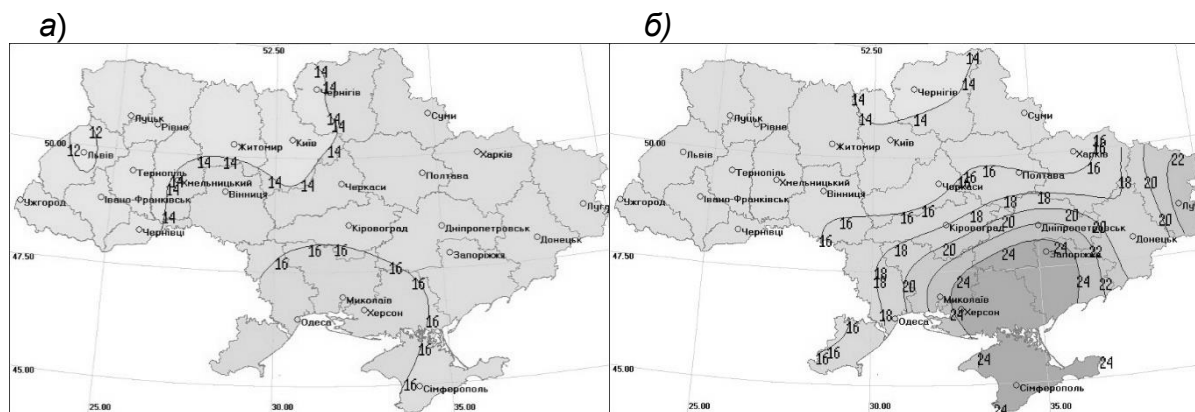


Рис.2. Недобір урожаю (%) озимої пшениці: а) 1981-2010 рр; б) 2021-2050 рр.

В Україні середній по області кліматичний недобір урожаю $\delta y_{кл}$ у сучасний кліматичний період складає 15 % і оцінюється за формулою:

$$\delta y_{кл} = 1 - S(\bar{T}, \bar{R}), \quad (3)$$

де $S(\bar{T}, \bar{R})$ - показник плодотворності клімату за відповідний інтервал.

Зміна середніх багаторічних значень агрокліматичних характеристик та продуктивності озимої пшениці по фазам розвитку на межі XX та XXI сторіччя. Протягом останніх десятирічь відмічаються безпрецедентні темпи підвищення температури повітря на нашій планеті, які характерні і для України і свідчать про суттєву зміну термічного режиму. Такі зміни супроводжуються зміною режиму зволоження, вітру, кількості та інтенсивності небезпечних метеорологічних явищ та екстремальних погодних умов і впливають на швидкість біохімічних процесів, ріст, розвиток та формування продуктивності рослин і, зрештою, на продовольчу безпеку України [4-10, 12-13, 15-18].

Підвищення середньої за рік температури повітря в Україні у сучасний кліматичний період відбувалось значно більшими темпами, ніж зміна приземної глобальної температури (0,6°C/10 років та 0,2 °C/10 років, відповідно) [15]. Дослідження показали, що підвищення температури повітря відмічається протягом усього вегетаційного циклу вирощування озимої пшениці, проте на різних фазах її розвитку ці зміни мають неоднакову величину і значимість і свої особливості в агрокліматичних зонах країни.

На Поліссі найінтенсивніші зміни характерні для фази молочної-воскової стиглості – 1,0-1,1°C/10 років, кущіння – 0,9-1,1°C/10 років, та передпосівного періоду – 0,8-1,0 °C/10 років. Ймовірність цих змін вище 90%, а в липні-серпні може сягати майже 100%. Ймовірно підвищення температури повітря за 10 років на 0,5-0,6°C і під час колосіння-цвітіння та на 0,3-0,5°C при відновленні вегетації. У період припинення вегетації температура повітря підвищувалась на 0,3-0,4°C/10 років, проте ймовірність цих змін становила 40-60%. Під час сівби та сходів озимої пшениці зміна температури дуже мало ймовірна у сучасний кліматичний період на всій території Полісся, за винятком Чернігівського Полісся.

Підвищення температури повітря протягом усього вегетаційного циклу вирощування озимої пшениці відмічається і **в Лісостепу** і посилюється із заходу на схід, досягаючи максимальних значень у східному Лісостепу (табл.2). На відміну від Полісся, у Лісостепу найбільш інтенсивний ріст температури повітря відмічається в період кущіння від 1,1°C/10 років у західному Лісостепу до 1,4°C/10 років у східному.

З ймовірністю 99% можна стверджувати про підвищення температура на 0,9-1,2°C/10 років у період молочної та воскової стиглості (найбільш інтенсивно у центральному Лісостепу) та на 0,8-1,0°C/10 років – у передпосівний період. *Дуже ймовірно та ймовірно* зростає температура повітря на 0,4-0,7°C/10 років у період відновлення вегетації, цвітінні та колосіння. Ріст температури на 0,3-0,4°C/10 років у період припинення вегетації для Лісостепу є несуттєвим (ймовірність менше 60%). Малоймовірними є зміни температури повітря на значній території Лісостепу і під час сівби та сходів озимої пшениці. Винятком є лише східний, Лісостеп де підвищення температури повітря на 0,3-0,4°C/10 років є ймовірною.

У сучасний кліматичний період **у Степу** також відмічається підвищення температури повітря протягом усього вегетаційного циклу озимої пшениці. При цьому зміни у південному Степу були більш інтенсивні, ніж у північному, особливо при відновленні вегетації, колосінні, цвітінні та дозріванні культури. Найбільш інтенсивно підвищувалась температура повітря у період кушіння озимої пшениці – 1,3-1,4 °C/10 років. Цей процес також був дуже інтенсивним у передпосівний період та під час молочної і воскової стиглості: зміна температури становила 0,8-1,1°C/10 років, а її ймовірність була вище 99%. Вдвічі повільніше (0,5-0,6°C/10 років) підвищувалась температура під час відновлення вегетації, колосіння та цвітіння озимої пшениці, хоча ймовірність цих змін була досить високою – більше 80%. Лише в період припинення вегетації ріст температури був найменшим – 0,2-0,4°C/10 і значимість його коливалась в межах 20-60%.

Зміна термічного режиму супроводжувалась зміною режиму зволоження. Кількість опадів, як і температура повітря на Поліссі також збільшувалась майже протягом усього вегетаційного циклу, за винятком періоду цвітіння – колосіння (червень) на всій території та передпосівного періоду і періоду молочної - воскової стиглості на Житомирському та Чернігівському Поліссі, де відмічалось зростання дефіциту опадів за 10 років на 3-8%, а у червні навіть до 15%

Проте у Лісостепу суттєвої зміни кількості опадів протягом майже усього вегетаційного циклу вирощування озимої пшениці не спостерігалось. Винятком є лише період сівба – сходи, протягом якого у західному Лісостепу кількість опадів дуже ймовірно зростала на 15-20%/10 років і на 10-15%/10 років ймовірно збільшувалась на решті території. Дуже ймовірно зростала кількість опадів у західному Лісостепу і в передпосівний період. Ці зміни у середньому по області становили майже 20-30%/10 років. Проте в центральному Лісостепу під час колосіння та цвітіння пшениці кількість опадів ймовірно зменшувалась майже на 10% за 10 років.

Кількість опадів у Степу, як і в Лісостепу, також суттєво не змінювалась у сучасний кліматичний період протягом вегетації озимої пшениці. Лише в період сівба-сходи їх кількість дуже ймовірно зростала на 10-20% за 10 років, що приводило до збільшення коефіцієнту продуктивності опадів на 4-6% за 10 років. Незначне зменшення кількості опадів спостерігалось у передпосівний період та у фазі молочної і воскової стиглості польової культури, проте ці зміни були малоймовірними.

Аналіз міжрічної мінливості сумісного коефіцієнту продуктивності температури та опадів показав, що такі зміни температури та опадів зумовили зміну внеску окремих фаз вегетації озимої пшениці у її кінцевий урожай. На Поліссі *практично не викликає сумнівів* (ймовірність 99%) зменшення коефіцієнту продуктивності в передпосівний період та *ймовірно* його збільшення в періоди сівба – сходи, кушіння, а у Житомирському та Чернігівському Поліссі ще й під час цвітіння, колосіння, молочної і воскової стиглості. В період припинення вегетації (грудень-лютий)

відмічається найбільше підвищення сумісного коефіцієнту продуктивності на Поліссі (0,6-0,8% за 10 років), проте ймовірність цих змін коливається в межах 55-64%.

Загалом зміни термічного режиму і режиму зволоження на Поліссі у сучасний кліматичний період *дуже ймовірно* та *ймовірно* сприяли збільшенню плодотворності клімату для вирощування озимої пшениці на 1,5% за 10 років та, відповідно, зменшенню недобору урожаю в регіоні.

У Лісостепу з ймовірністю 99% можна стверджувати, що зміни температури і опадів в передпосівний період були несприятливими для вирощування озимої пшениці. Ймовірно їхні зміни в періоди сівба, сходів та кушіння приводили до збільшення урожайності пшениці. Сприяли зростанню біопродуктивності пшениці на всій території Лісостепу і зміни температури та опадів у період припинення вегетації. Проте ймовірність цих змін коливалась в межах 30-64%. У період відновлення вегетації, цвітіння, колосіння та дозрівання озимої пшениці зміна сумісного коефіцієнту продуктивності температури та опадів була малоімовірною на значній території Лісостепу.

Такі зміни температури повітря та кількості опадів сприяли збільшенню плодотворності клімату для вирощування озимої пшениці та зменшенню недобору урожаю в Лісостепу, особливо центральному. Проте їх ймовірність становила 30-66%. Винятком є Сумська і Тернопільська області де значимість і швидкість зростання плодотворності клімату були значно більшими, а умови для вирощування озимої пшениці у сучасний кліматичний період значно покращувались.

З ймовірністю 99% можна стверджувати, що зменшення кількості опадів і підвищення температури в передпосівний період, були несприятливими для вирощування озимої пшениці у Степу, як видно з тенденції зміни сумісного коефіцієнту продуктивності температури та опадів. Під час визрівання пшениці, та особливо її колосіння і цвітіння такі зміни теж зменшували урожайність, хоча ймовірність цих змін була значно меншою. Проте несприятливим було й підвищення кількості опадів, що супроводжувалось ростом температури у період відновлення вегетації. Лише під час сівби, сходів, кушіння та припинення вегетації інтенсивне потепління та збільшення кількості опадів сприяли зростанню урожайності озимої пшениці. Такі зміни продуктивності температури і опадів протягом вегетаційного періоду приводили до зменшення плодотворності клімату в Степу, особливо південному і збільшення недобору урожаю озимої пшениці.

Проекція зміни середніх багаторічних значень агрокліматичних характеристик та продуктивності озимої пшениці до середини XXI ст. До середини XXI століття при збалансованому розвитку суспільства (сценарій A1B) в Україні можна очікувати подальшу суттєву зміну термічного режиму та режиму зволоження на всій території країни відносно сучасного кліматичного періоду, що може суттєво вплинути на урожайність польових культур.

На **Поліссі** температура повітря може значно зрости протягом усього вегетаційного циклу вирощування озимої пшениці, порівняно з сучасним кліматичним періодом. На різних фазах розвитку культури ці зміни можуть коливатись від 0,5°C (молочна - воскова стиглість) до 1,5°C під час сівби, сходів та в період припинення вегетації.

Аналіз коефіцієнту продуктивності температури показав, що підвищення температури повітря *дуже ймовірно* та *ймовірно* сприятиме збільшенню урожайності озимої пшениці протягом майже усього вегетаційного циклу, а умови для її вирощування на Поліссі будуть більш сприятливими ($\eta(T) = 90-98\%$), ніж у сучасний кліматичний період ($\eta(T) = 86-96\%$). Винятком є лише період відновлення вегетації, коли продуктивність температури може зменшитись, хоча умови для вирощування пшениці залишаться сприятливими.

Кількість опадів на Поліссі до середини ХХІ ст. може збільшитись протягом усього вегетаційного циклу. Лише в Житомирському та Чернігівському Поліссі у передпосівний період можливе їх зменшення відносно середніх багаторічних значень у 1981-2010 рр. Проте, ці зміни несуттєві, а їхня ймовірність менше 65%. Найбільший ріст кількості опадів очікується у Волинському Поліссі у період молочної та воскової стиглості польової культури і може становити 20-25% і більше. *Дуже ймовірно* збільшення опадів на 10-13% при припиненні вегетації та *ймовірно* – на 7-9% під час цвітіння і колосіння, а на Волині – у період сівби та сходів. Протягом інших фаз вегетації озимої пшениці зміни несуттєві та малоімовірні і можуть становити в середньому по області до 5%.

Збільшення кількості опадів на Поліссі в передпосівний період може дещо зменшити урожайність культури, до середини ХХІ ст., проте умови для її вирощування у цей період залишаться сприятливими: коефіцієнт продуктивності опадів коливатиметься в межах 92-98%. Оптимальна для пшениці кількість опадів випадатиме й під час сівби, сходів, припинення і відновлення вегетації і створить сприятливі умови для її вирощування. Збільшення кількості опадів під час кушіння пшениці сприятиме росту її продуктивності, проте умови для її вирощування будуть задовільними, як і в сучасний кліматичний період. У той же час збільшення опадів під час цвітіння – колосіння буде ймовірно несприятливим, хоча умови для її вирощування також залишаться задовільними. У липні збільшення кількості опадів зумовить зниження її продуктивності до 55-77% і у Волинському Поліссі в середині ХХІ ст. дуже ймовірно виникнуть несприятливі умови для вирощування озимої пшениці за рахунок перезволоження.

В цілому, як видно з величини сумарного коефіцієнту продуктивності $S(T,R)$ за вегетаційний цикл, умови вирощування озимої пшениці на Поліссі у середині ХХІ ст. за сценарію А1В залишаться задовільними, проте у Волинському Поліссі дуже ймовірний недобір зерна 14-15% (табл.2, рис.1, 2).

Лісостеп. *Практично не викликає сумнівів* підвищення температури повітря в Лісостепу до середини ХХІ ст. протягом усього вегетаційного циклу, яке буде посилюватись із заходу на схід. Найбільші зміни очікуються в період осінньої вегетації та взимку, під час її припинення і можуть перевищити 1,5°C. Внаслідок таких змін термічні умови для вирощування пшениці стануть сприятливими протягом усього вегетаційного циклу, у той час, як у сучасний кліматичний період вони були задовільними у східному Лісостепу в період кушіння та припинення вегетації.

На відміну від температури, кількість опадів до середини ХХІ ст. у період осінньої вегетації може зменшитись у Лісостепу, особливо центральному. Проте ці зміни будуть незначними і малоімовірними. Взимку *дуже ймовірно* та *ймовірно* опадів стане більше на 10-15%. Найбільші зміни очікуються у східному Лісостепу. У період відновлення вегетації зміна кількості опадів малоімовірна, а під час цвітіння, колосіння молочної і воскової стиглості їх кількість може *ймовірно* зрости на 5-10% у західному Лісостепу. Така зміна кількості опадів суттєво не вплине на умови вирощування озимої пшениці. Вони залишаться сприятливими в передпосівний період, під час сівби, сходів, припинення і відновлення вегетації. Задовільною для вирощування озимої пшениці майже в усьому Лісостепу буде кількість опадів у період її кушіння, цвітіння, колосіння та стиглості. Винятком є західний Лісостеп, де значна кількість опадів може погіршити умови її вирощування і до середини ХХІ ст. вони *ймовірно* стануть незадовільними за рахунок перезволоження.

Такі зміни термічного режиму і режиму зволоження *ймовірно* та *дуже ймовірно* сприятимуть збільшенню урожайності озимої пшениці в період осінньої вегетації та під час її молочної і воскової стиглості і дещо зменшать її продуктивність взимку та

в період весняної вегетації. Загалом, умови вирощування озимої пшениці у Лісостепу до середини ХХІ ст., хоча й погіршаться на 1-3%, проте ймовірно залишаться задовільними, як і в сучасний кліматичний період. Недобір урожаю може становити 14-16%.

У **Степу** очікуються найбільші зміни термічного режиму за вегетаційний цикл вирощування пшениці. Практично не викликав сумнівів підвищення температури повітря протягом усього періоду від 0,8 до 1,9°C. Найбільші зміни (1,7°C) можливі у період сівба-сходи та у південному Степу в період припинення вегетації (1,9°C). Такий інтенсивний ріст температури приведе до того, що середня температура повітря за період сівба-сходи може перевищити 15°C і перетнути межу кліматичного літа, що потребує коригування та переносу початку сівби польової культури.

До середини ХХІ ст. коефіцієнт продуктивності температури може зменшитись майже протягом усього вегетаційного циклу, особливо у південному Степу (ймовірність більше 99%). Найбільші зміни очікуються в передпосівний період. Наслідком інтенсивного підвищення температури повітря буде зниження урожайності озимої пшениці на 10-13% у південному Степу, що приведе до значного погіршення умов її вирощування із задовільних до незадовільних. Проте, у північному Степу інтенсивний ріст температури під час сівби, сходів та молочної і воскової стиглості сприятиме збільшенню продуктивності та урожайності озимої пшениці.

Зміна кількості опадів у Степу майже протягом усього вегетаційного циклу вирощування озимої пшениці може бути незначною до середини ХХІ ст. і переважно зменшуватись. Винятком є період припинення вегетації, коли *дуже ймовірно* збільшення середньої по області кількості опадів на 12-17%. Зменшення кількості опадів на 4-12% очікується в період сівба-сходи, відновлення вегетації на всій території Степу. Можливе також збільшення як дефіциту опадів, так і їхньої кількості в окремих районах протягом інших фаз розвитку культури, що свідчить про зростання неоднорідності поля опадів.

Така зміна режиму зволоження зумовить зменшення коефіцієнту їхньої продуктивності на значній території у період весняної вегетації та дозрівання культури, під час сівби та сходів, у передпосівний період в південному Степу і припинення вегетації – в північному. Проте, збільшення продуктивності опадів можливе на всій території Степу в період кушіння та у південному Степу взимку, коли вегетація рослини призупиняється. Незважаючи на зміни умови зволоження для вирощування озимої пшениці до середини ХХІ ст. в Степу залишаться сприятливими та задовільними.

Дослідження зміни сумісного коефіцієнту продуктивності температури і опадів показали, що *дуже ймовірно* та ймовірно вони зумовлять зниження продуктивності озимої пшениці в передпосівний період, сівба-сходи, у період припинення і відновлення вегетації та під час її цвітіння і колосіння, особливо в північному Степу. Можливе зниження урожайності польової культури в окремих регіонах і в інші фази. Лише в період кушіння, зміна температури та опадів буде сприятливою для зростання продуктивності озимої пшениці в середині ХХІ століття.

Зміни продуктивності озимої пшениці за температурою повітря і кількістю опадів протягом вегетаційного періоду надалі посилюватимуть зменшення плодотворності клімату в Степу, особливо південному і збільшення недобору урожаю озимої пшениці, який може сягати в середньому по області 25-30% (табл. 2, рис. 2). Незважаючи на такі зміни, умови вирощування культури в середині ХХІ ст. за сценарію А1В можуть залишитись сприятливими та задовільними (рис. 1б).

Висновки. Підвищення температури повітря та зміна режиму зволоження, що відмічаються протягом вегетаційного циклу вирощування озимої пшениці у

сучасний кліматичний період, будуть спостерігатись і до середини ХХІ ст. і можуть негативно вплинути на її урожайність, особливо на півдні країни. Проте за сценарію А1В агрометеорологічні умови вирощування культури залишаться сприятливими та задовільними на всій території країни. Незважаючи на зменшення відносної вологості ґрунту, його фізична стиглість залишиться у межах оптимального зволоження – 40-70 %.

Подальші дослідження потребують оцінки зміни агрокліматичних умов в Україні для інших сценаріїв викидів парникових газів та оцінки ризиків сільськогосподарського виробництва, пов'язаних з умовами погоди та зміною клімату.

Список літератури

1. *Дмитренко В.П.* Оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных зерновых культур. Методическое пособие. Л. : Гидрометеиздат, 1976. 48 с.
2. *Дмитренко В.П.* Погода, клімат і урожай польових культур: [монографія]. К. : Ніка-Центр, 2010. 620 с.
3. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / С. М. Степаненко, А. М. Польовий, Є. П. Школьник [та ін.]. Одеса : Екологія, 2011. 696 с.
4. *Дмитренко В.П., Криворучко И.П., Однолеток Л.П.* Изменения агроклиматических и агрогидрологических ресурсов Украины и способы адаптации к ним земледелия под влиянием климатических изменений в зональном разрезе / В кн. Глобальные и региональные изменения климата / Шестопалов В.М., Логинов В.Ф., Осадчий В.И. К. : Ника-Центр, 2011. 448 с.
5. *Польовий А.М., Л.Ю.Божко, Дронова О.О.* Аналіз тенденції зміни термічних показників агрокліматичних ресурсів в Україні за період до 2030-2040 рр. Укр.гідрометеорол. журнал, 2011. №9. С.90-99.
6. *Польовий А.М., Кульбіда М.І., Трофімова І.Т., Адаменко Т.І.* Вплив зміни клімату на сільське господарство півдня України. Міжвідомчий.наук. зб. України: Метеорологія, кліматологія та гідрологія. К. : КНТ, 2005. Вип. 49. С. 252–260.
7. *Божко Л. Ю.* Антропогенні зміни клімату та їх вплив на вирощування овочевих культур в Україні. Вісник Одеського державного екологічного університету, 2010. Вип.9. С.56-62.
8. *Полевой А.Н., Кульбида Н.И., Трофимова И.В.* Моделирование влияния изменений климата на формирование продуктивности озимой пшеницы в Украине. В сб. : Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб. : Гидрометеиздат, 2005. Том XX. С. 191–218.
9. *Польовий А.М., Кульбіда М. І., Адаменко Т. І., Трофімова І. В.* Моделювання впливу зміни клімату на агрокліматичні умови вирощування та фотосинтетичну продуктивність озимої пшениці. Укр. гідрометеорол. журн., 2007. № 2. С. 76-91.
10. *Підвищення стійкості до зміни клімату сільськогосподарського сектору Півдня України.* Регіональний екологічний центр: Угорщина, 2015. 76 с.
11. Закс Л. Статистическое оценивание. М. : Статистка, 1976. 599 с.
12. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis.* IPCC Working Group I Contribution to AR5: Approved Summary for Policymakers ; P.28. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf.
13. *Изменение климата: Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата: Вклад рабочих групп I, II, III в [под ред. Пачаури, Р.К., Райзингер, А., и др.].– Швейцария. : МГЭИК. 2007. 104 с.*
14. *Иовенко Н. Г. Кекух А. М.* Водно-физические свойства и водный режим почв УССР. Л. : Гидрометиздат, 1960. 328 с.
15. *Балабух В.О., Лавриненко О.М., Малицька Л.В.* Особливості термічного режиму 2013 року в Україні. Український гідрометеорологічний журнал. Одеса : Вид-во ПП «ТЕС», 2014. № 14. с.30-46.
16. *Балабух В.О., Лавриненко О.М., Ягодинець С.М.* [та ін.] Зміна інтенсивності, повторюваності та локалізації небезпечних явищ погоди в Україні та їх регіональні особливості // Збірник наукових праць МГІ НАН України «Системи контролю навколишнього середовища», 2013. Вип.19. с.189-198.
17. *Третье, четвертое и пятое национальные сообщения* Украины по вопросам изменения климата подготовленные на выполнение статей 4 и 12 Рамочной конвенции ООН об изменении климата и статьи 7 Киотского протокола. Киев, 2009. 366 с. URL: http://unfccc.int/resource/docs/natc/ukr_nc5.pdf.
18. *Шестое национальное сообщение* Украины по вопросам изменения климата подготовленное на выполнение статей 4 и 12 Рамочной конвенции ООН об изменении климата и статьи 7 Киотского протокола. Киев, 2012. 342 с. URL: http://unfccc.int/files/national_reports.

Вплив зміни клімату на продуктивність озимої пшениці в Україні у періоди вегетаційного циклу

Балабух В.О., Однолеток Л.П., Кривошеїн О.О.

Розглянуто сучасний стан агрокліматичних умов вирощування озимої пшениці в Україні. Для кожної фази розвитку польової культури проаналізовано зміну температури повітря, кількості опадів та їхнього сумісного впливу на її продуктивність, а також зміну плодотворності клімату та недобору урожаю культури у сучасний кліматичний період (1981-2010 рр.) та їхні ймовірні зміни до середини XXI ст. (2021-2050) за сценарію SRES A1B. Виявлено їхні особливості в агрокліматичних зонах України. Встановлено, що до середини XXI століття агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці в Україні можуть суттєво погіршитись, проте залишаться сприятливими та задовільними на всій території країни

Ключові слова: зміна клімату; агрокліматичні умови; озима пшениця; продуктивність температури та опадів; недобір урожаю.

Влияние изменения климата на продуктивность озимой пшеницы в Украине в периоды вегетационного цикла

Балабух В.А., Однолеток Л.П., Кривошеин А.А.

Рассмотрено современное состояние агроклиматических условий выращивания озимой пшеницы в Украине. Для каждой фазы развития полевой культуры проанализировано изменение температуры воздуха, количества осадков и их совместного влияния на ее продуктивность, а также, изменение плодотворности климата и недобора урожая культуры в современный климатический период (1981-2010 гг.) и вероятные изменения агрометеорологических условий до середины XXI века (2021-2050) для сценария SRES A1B. Выведено их особенности в агроклиматических зонах Украины. Установлено, что к середине XXI века агрометеорологические условия выращивания озимой пшеницы в Украине могут существенно ухудшиться, однако останутся благоприятными и удовлетворительными на всей территории страны.

Ключевые слова: изменение климата; агроклиматические условия; озимая пшеница; производительность температуры и осадков; недобор урожая.

Climate change impacts on the winter wheat productivity in Ukraine during vegetation cycle

Balabuh V.O., Odnoletok L.P., Kryvoshein O.O.

*The study of variability and climate change, their impact on agricultural production is one of the main purposes of food security and sustainable development of society. The aim of the work is to identify the mechanisms of the climate change impact on the winter wheat productivity in the agro-climatic zones of Ukraine. The research was conducted on the daily data of observations from the hydrometeorological network of Ukraine (187 stations) on air temperature and precipitation in the current climatic period (1981-2010) and daily data of the regional climatic model REMO ESNAM5 (25*25km) for the 1981-2050 period (scenario SRES A1B).*

The current state of the agro-climatic conditions of winter wheat growing in Ukraine is considered. Changes in air temperature, rainfall and their combined effect on winter wheat productivity were analyzed for each crop development stage as well as changes in the climate productivity and the lack of crop yields in the modern climatic period (1981-2010) and their likely changes to the middle of the XXI century (2021-2050) by the SRES A1B scenario. The estimation of the agrometeorological conditions influence on the winter wheat yield formation was carried out on the basis of the hydrometeorological block of the Weather-Harvest model, developed by V.P.Dmitrenko.

It has been established that the intensive growth of air temperature, which is observed in the modern climatic period and is accompanied by a change in humidity of the territory, causes decrease in the climate productivity and increase in the deficit of winter wheat yield in Ukraine. During vegetation period, the change in air temperature and rainfall are different depend on agro-climatic zones of the country and causes a change in the contribution of separate development stage of winter wheat vegetation in its final crop yield.

It was established that by the middle of the XXI century, under the SRES A1B scenario, agro-climatic conditions for growing winter wheat in Ukraine could be significantly deteriorated, but remain favorable and satisfactory throughout the country. The largest changes are expected in the Steppe, especially in the southern Steppe, where the lack of harvest of winter wheat can reach an average of 25-30%.

Keywords: climate change; agro-climatic conditions; winter wheat; productivity of temperature and precipitation; lack of harvest.

Надійшла до редколегії 30.03.2017

Швень Н.І., Митник Т.Г., Гальперіна Т.О.

Український гідрометеорологічний інститут, м. Київ

АНАЛІЗ БАГАТОРІЧНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ДИНАМІКИ ТЕМПЕРАТУРИ ҐРУНТУ НА ГЛИБИНАХ ПІД ПРИРОДНИМ ПОКРИВОМ

Ключові слова: температура ґрунту на глибинах під природним покривом, багаторічні зміни температури, профіль температури.

Вступ. Інформація про температуру ґрунту на глибинах під природним покривом використовується в багатьох галузях економіки (сільське господарство, транспорт, комунальні підприємства з тепло- та водозабезпечення тощо). Перевірка якості та забезпечення достовірності цих даних є достатньо складним завданням. Поле температури ґрунту на глибинах під природним покривом внаслідок розрідженості мережі станцій, які провадять такі спостереження, та відмінності у типах ґрунтів на різних станціях є досить неоднорідним.

Як свідчить досвід аналізування щомісячних даних температури ґрунту на глибинах під природним покривом відповідно до [3, 5, 7] у головному методичному центрі з метеорології (Центральній геофізичній обсерваторії ім. Б. Срезневського, м. Київ), на сьогодні під час контролю достовірності даних неможливо врахувати всі фактори, які можуть впливати на розподіл температури ґрунту на глибинах. Тому, як правило, результати аналізу якості узагальнених даних спостережень за температурою ґрунту на глибинах містять значну кількість зауважень, які під час додаткового ретельного перевіряння не підтверджуються. Часто результати контролю є неоднозначними, що також ускладнює роботу метеорологів.

Метою роботи є аналіз багаторічних змін температури ґрунту під природним покривом на різних глибинах щодо виявлення тенденцій у їх багаторічному ході для вдосконалення методики просторово-часового контролю, що може суттєво допомогти у контролі достовірності цих даних.

Вихідні матеріали. В роботі були використані дані спостережень за температурою ґрунту на глибинах під природним покривом за 1996–2015 рр. (за окремі місяці та за рік) по 14 станціях, розташованих у різних фізико-географічних районах України, які мали безперервний ряд спостережень на глибинах 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,4; 3,2 м, та на окремих станціях, що провадять спостереження за температурою ґрунту лише на глибинах 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2 м. Крім того, були використані дані температури поверхні ґрунту на окремих станціях за цей же період.

Виклад основного матеріалу дослідження. Особливості розподілу температури ґрунту на глибинах під природним покривом.

Під час аналізу даних спостережень за температурою ґрунту на глибинах під природним покривом необхідно у першу чергу враховувати особливості розподілу температури ґрунту на різних глибинах у залежності від пори року, фізико-географічних особливостей місця розташування станції, типів ґрунтів та інших чинників [5, 8].

Завдяки молекулярній теплопровідності, радіаційному і конвективному теплообміну коливання температури поверхні ґрунту передаються від більш нагрітих до менш нагрітих горизонтів [2].

Температура ґрунту в даній точці може змінюватися під дією таких факторів:

- теплообмін з повітрям (поєднання теплопровідності та конвекції);
- теплообмін із зовнішнім середовищем;
- тепловий потік у ґрунті (теплопровідність);
- хімічні та фізичні процеси (теплота вивільнюється чи витрачається в таких процесах як випаровування, зволоження та конденсація).

Кількість тепла Q_q , необхідного для змінення температури даного об'єму ґрунту V від початкового стану T_1 до кінцевого T_2 дорівнює [6]:

$$Q_q = C_v V (T_2 - T_1) = C_v V \Delta T, \quad (1)$$

де C_v – теплоємність на одиницю об'єму ґрунту; V – об'єм ґрунту; ΔT – різниця температур.

Для сталого теплового потоку:

$$Q_q = -K_q A t (\Delta T / \Delta z), \quad (2)$$

де K_q – теплопровідність ґрунту; $\Delta T / \Delta z$ – вертикальний градієнт температури; A – площа; t – час.

Враховуючи рівняння (2), щільність теплового потоку, яка залежить в першу чергу від градієнта температури, можна описати рівнянням:

$$J_q = Q_q / A t = -K_q (\Delta T / \Delta z). \quad (3)$$

Як відомо, у літні місяці спостерігається інсоляційний тип розподілу температури, при якому температура ґрунту з глибиною зменшується, для зимових місяців характерний тип випромінювання, при якому потік тепла направлений з глибинних шарів до поверхні, і тому спостерігається збільшення температури ґрунту з глибиною (рис. 1).

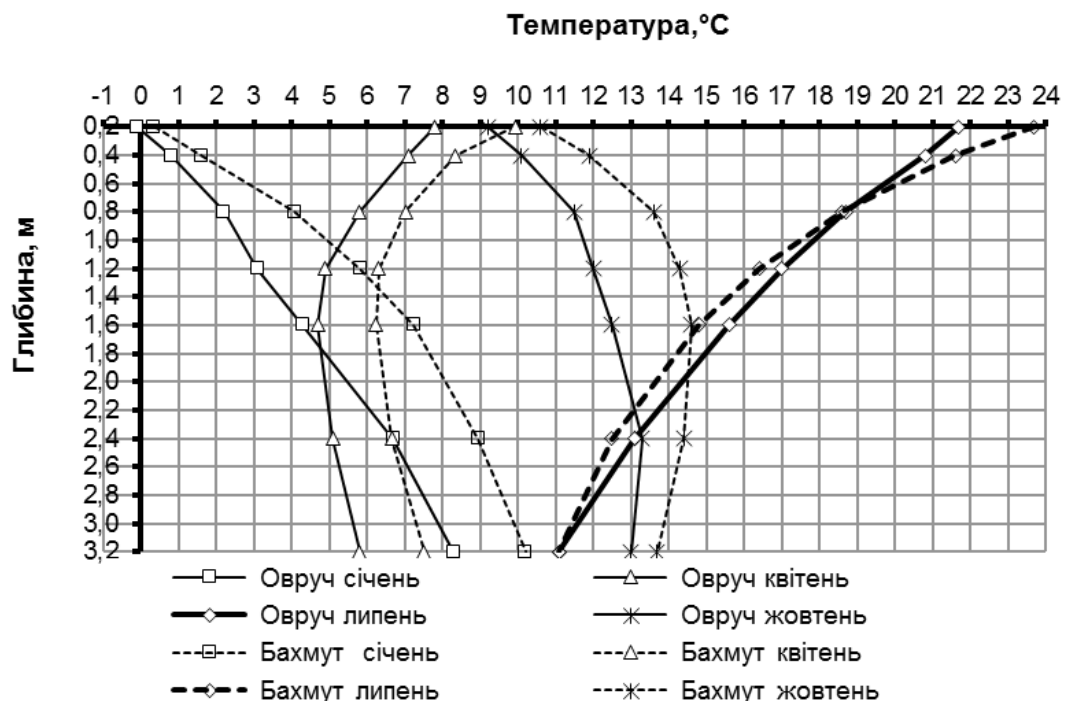


Рис. 1. Багаторічний профіль середньої місячної температури ґрунту на глибинах на метеостанціях Овруч (суцільна лінія) та Бахмут (пунктирна лінія) за період 1996 – 2015 рр.

Восени і весною, в перехідні місяці від холодного періоду до теплого і навпаки, має місце поєднання цих основних двох типів розподілу температури ґрунту з глибиною [5]. При цьому весною у верхньому шарі, приблизно до глибин 0,4 – 0,8 м, середня місячна температура ґрунту з глибиною знижується (тип інсоляції), а в нижче розташованому шарі росте (тип випромінювання).

В осінні місяці у верхньому шарі ґрунту прослідковуються зростання температури з глибиною, а в нижньому шарі – зменшення. Початок перехідних періодів і їхня тривалість залежать, в основному, від широти і висоти місцевості над рівнем моря, а також від погодних умов конкретного сезону.

Глибина, на якій відбувається змінення типу розподілу температури ґрунту, в один і той же місяць на різних станціях може бути різною в залежності від широти місцевості.

У перехідні місяці (березень-квітень та вересень-жовтень) значення температури на всіх глибинах мало відрізняються між собою і градієнти близькі до нуля. Найбільші градієнти температури спостерігаються в літній період.

Як видно з рис. 1, у квітні змінення типу розподілу температури ґрунту з глибиною в Овручі і Бахмуті відбувається на глибині 1,6 м, а в жовтні – на глибині 2,4 м в Овручі і на глибині 1,6 м у Бахмуті.

Враховуючи, що термічний режим ґрунту визначається температурними умовами повітря і, насамперед, надходженням сонячної радіації [2], залежність температури повітря від широти спричинює і широтний розподіл температури ґрунту. Тому для вивчення багаторічних змін річного ходу температури ґрунту на глибинах під природним покривом були вибрані метеостанції Овруч (північний регіон), та Асканія Нова, розташована в південному регіоні (рис. 2).

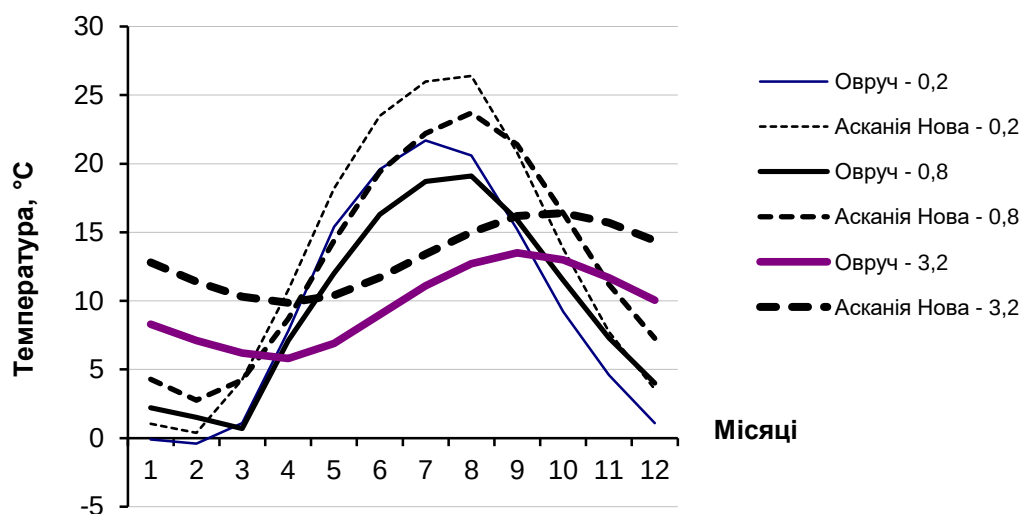


Рис. 2. Річний хід температури ґрунту на глибинах 0,2 м, 0,8 м і 3,2 м за період 1996-2015рр

Як видно з рис. 2, річний хід температури ґрунту за період 1996 – 2015 рр. на метеостанції Асканія Нова подібний до ходу температури на метеостанції Овруч. Зокрема, річна амплітуда температури зменшується з глибиною, із збільшенням глибини має місце запізнення з прогріванням ґрунту (на глибині 0,2 м на метеостанції Овруч максимум спостерігається в липні, а на метеостанції Асканія Нова – в серпні, на глибині 0,8 м на обох станціях температура досягає максимальних значень у серпні, а на глибині 3,2 м має місце запізнення з прогріванням ґрунту на два місяці на метеостанції Овруч і на три місяці – на

метеостанції Асканія Нова, – максимум температури досягається у вересні і жовтні відповідно).

Мінімальне значення температури на глибині 0,2 м спостерігається в лютому на обох станціях, а на глибині 0,8 м мінімум досягається в лютому (Асканія Нова) і березні (Овруч). На глибині 3,2 м помітне суттєве запізнення з вихолодженням ґрунту (мінімальне значення відмічено в квітні на обох станціях).

Запізнення у часі формування екстремальних значень температури обумовлено тим, що градієнт температури формується раніше, ніж встановлюється тепловий потік до глибин з меншою температурою, під час поширення тепла у глибині ґрунту спостерігається інерція в часі [6].

Таким чином, можна зазначити, що максимумами середньої місячної температури на глибинах 0,2 м і 3,2 м на метеостанції Асканія Нова зміщені відносно значень максимальної температури метеостанції Овруч на місяць.

Для того, щоб проаналізувати багаторічну динаміку температури ґрунту на глибинах за 20-річний період, порівняли температурні показники за два десятиріччя – 1996–2005 рр. та 2006–2015 рр. по метеостанції Асканія Нова (рис. 3).

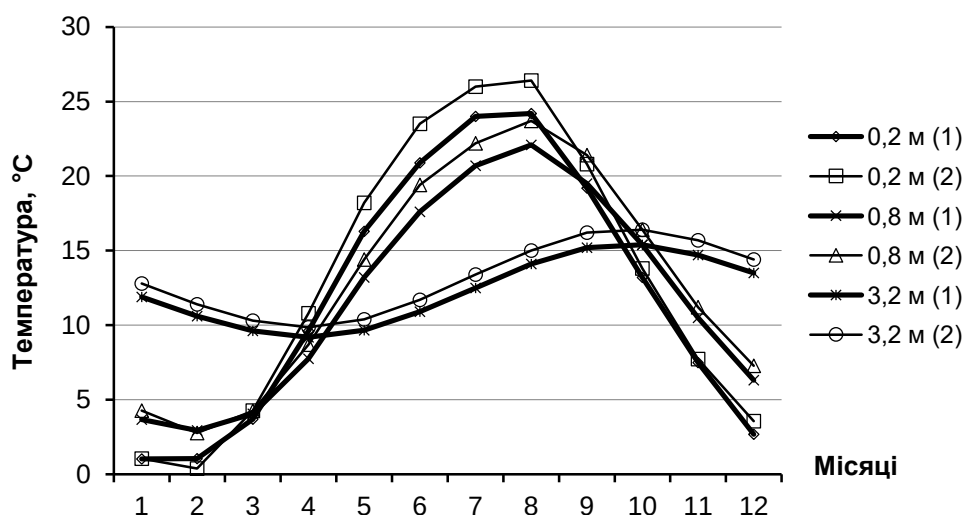


Рис. 3. Річний хід середньої місячної температури ґрунту на глибинах на метеостанції Асканія Нова за період 1996-2005 рр. (1) та 2006-2015 рр. (2)

Порівнюючи хід температури ґрунту на глибинах на метеостанції Асканія Нова за період 1996–2005 рр. та 2006–2015 рр., можна зазначити, що на глибині 3,2 м зростання температури ґрунту відбулося майже рівномірно протягом року, а на глибинах 0,2 м і 0,8 м найбільше підвищення температури ґрунту в другому періоді відносно першого відбулося у літні місяці, у зимові місяці температура за друге десятиріччя зросла незначно. В лютому другого періоду на глибині 0,2 м відмічається навіть зниження температури.

Такий хід температури ґрунту на метеостанції Асканія Нова збігається з ходом температури поверхні ґрунту (табл. 1), де у лютому другого періоду (2006–2015 рр.) відмічено зниження температури поверхні ґрунту на 0,4 °C. Найбільше підвищення температури поверхні ґрунту відмічено в серпні, внаслідок чого на глибині 0,2 м в серпні температура також зросла найбільше (оскільки в літній період поширення тепла в ґрунті відбувається за типом інсоляції).

Таблиця 1. Змінення температури поверхні ґрунту на метеостанції Асканія Нова

Місяць	Температура поверхні ґрунту на М Асканія Нова, °С		
	Періоди		Різниця
	1996–2005	2006–2015	
1	-1,6	-1,7	-0,1
2	-0,6	-1	-0,4
3	4,3	5,4	1,1
4	12,6	13,3	0,7
5	20,9	22,1	0,2
6	25,5	27,3	1,8
7	29,2	29,9	0,7
8	26,9	28,9	2
9	19,2	20,5	1,3
10	11,1	11,8	0,7
11	5,1	5,5	0,4
12	-0,2	1,2	1,4
Середнє значення за рік	12,7	13,6	0,8

У табл. 2 наведено середні значення температури ґрунту на крайніх глибинах (0,2 м і 3,2 м) за два періоди, – з 1996 по 2005 рр. та з 2006 по 2015 рр. для січня та липня за даними 15 метеостанцій.

Порівняння середньої температури ґрунту в січні та липні за останні два десятиліття на різних глибинах (табл. 2) свідчить про позитивний тренд як в літній, так і в зимовий період.

Як видно з таблиці 2, в липні в середньому динаміка зростання температури ґрунту на обох глибинах, як правило, більша, ніж у січні, причому, якщо на глибині 0,2 м у липні температура зростає дещо більше, ніж на глибині 3,2 м, то в січні, навпаки, на глибині 3,2 м зростання більше, ніж на глибині 0,2 м, причому зростання температури ґрунту у другому періоді відносно першого періоду відмічено на обох глибинах на всіх станціях. Виняток складають метеостанції Асканія Нова та Затишшя, де в січні на глибині 0,2 м температура не змінилась.

Мінімальне зростання температури ґрунту на глибині 0,2 м у липні зафіксоване на метеостанції Бахмут. Більш детальний аналіз даних показав, що на метеостанції Бахмут для температури поверхні ґрунту за цей період спостерігається від'ємний тренд.

На всіх станціях на обох глибинах у липні темп зростання температури однаковий або більший, ніж у січні. Винятком є станція Кам'янка Бузька на глибині 0,2 м і станції західних областей України на глибині 3,2 м, де прослідковується дещо більше зростання температури у січні порівняно з липнем.

Профілі середньої температури ґрунту на глибинах на метеостанціях Овруч та Асканія Нова за два десятирічних періоди (з 1996 по 2005 рр. та з 2006 по 2015 рр.), представлені на рис. 4, свідчить про те, що в січні температура ґрунту на великих глибинах на метеостанції Асканія Нова зростала більш швидкими темпами, ніж температура ґрунту на малих глибинах.

В липні такої закономірності не виявлено.

Таблиця 2. Динаміка зростання температури ґрунту (в °С) під природним покривом на крайніх глибинах (0,2 м та 3,2 м) за 1996 – 2015 рр.

Станція	Глибина 0,2 м						Глибина 3,2 м					
	Січень			Липень			Січень			Липень		
	1996-2005	2006-2015	Δ	1996-2005	2006-2015	Δ	1996-2005	2006-2015	Δ	1996-2005	2006-2015	Δ
Кам'янка-Бузька	1,3	2,2	0,9	19,2	19,9	0,7	7,8	8,6	0,8	11,3	11,8	0,5
Бережани	0,2	0,6	0,4	20,3	21,0	0,7	9,0	9,9	0,9	9,9	10,6	0,7
Ямпіль	-0,1	0,6	0,7	20,6	21,3	0,7	9,0	9,6	0,6	10,4	10,8	0,4
Чернівці	0,2	0,4	0,2	20,3	21,1	0,8	9,1	9,8	0,7	10,7	11,2	0,5
Овруч	-0,4	0,2	0,6	21,2	22,2	1,0	8,0	8,6	0,6	10,7	11,4	0,7
Шепетівка	-0,5	0,7	1,2	20,5	21,7	1,2	8,4	9,2	0,8	10,0	11,0	1,0
Покошичі	0,8	0,9	0,1	19,5	21,0	1,5	7,5	8,2	0,7	9,7	10,7	1,0
Глухів	-0,4	0,3	0,7	20,7	21,7	1	7,1	7,9	0,8	10,0	11,0	1,0
Ромни	-0,2	0,4	0,6	20,9	22,1	1,2	8,2	9,0	0,8	10,1	10,9	0,8
Бахмут	0,2	0,5	0,3	23,6	23,9	0,3	9,8	10,6	0,8	10,0	11,6	1,6
Баштанка	0,2	1,0	0,8	23,6	24,8	1,2	10,8	11,2	0,4	11,2	11,7	0,5
Затишшя	1,0	1,0	0,0	21,6	23,4	1,8	10,9	11,7	0,8	11,0	11,8	0,8
Асканія Нова	1,0	1,0	0,0	24,0	26,0	2,0	11,9	12,8	0,9	12,5	13,4	0,9
Нікітський Сад	5,3	5,7	0,4	25,8	26,4	0,6	13,2	14,0	0,8	14,7	15,6	0,9
Середнє значення	0,6	1,1	0,5	21,6	22,6	1,0	9,3	10,1	0,7	10,9	11,7	0,8

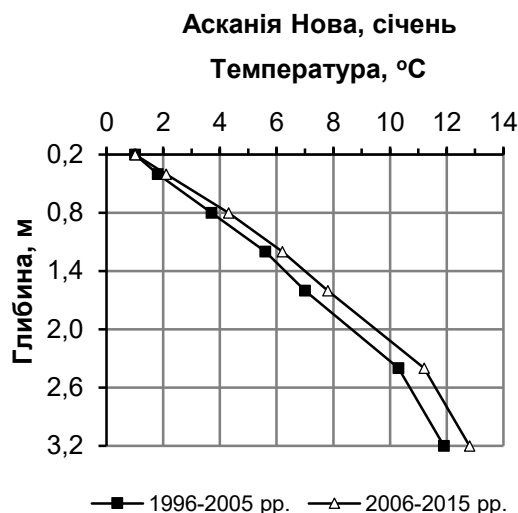
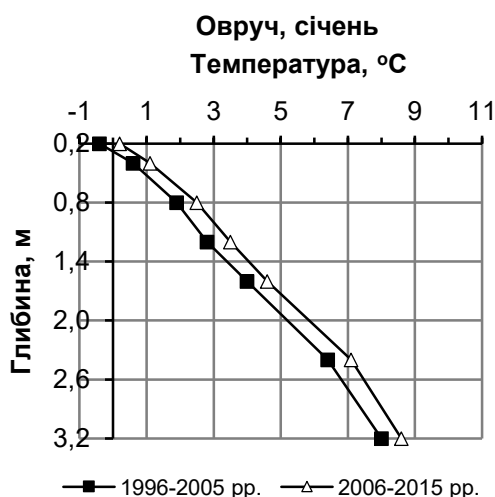


Рис. 4. Профілі температури ґрунту в січні на метеостанціях Овруч та Асканія Нова

На рис. 5 наведено графіки ходу середньої річної температури ґрунту на крайніх глибинах 0,2 м та 3,2 м на метеостанції Покошичі за 1996 – 2015 рр. Як видно з рис. 5, лінійний тренд середньої річної температури на обох глибинах практично однаковий.

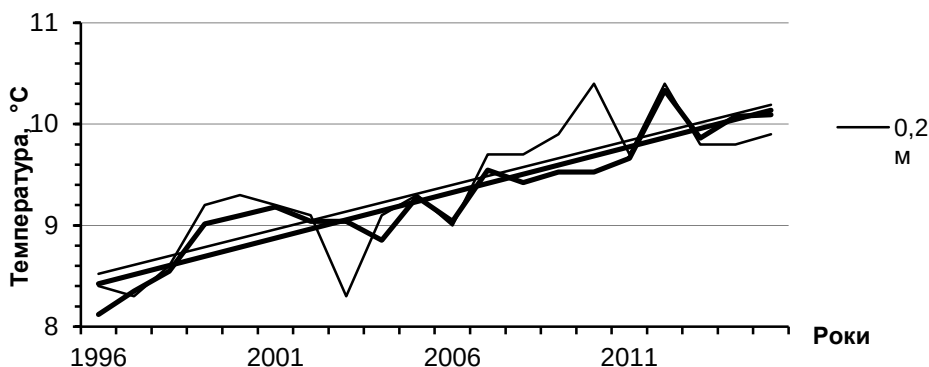


Рис. 5. Тренд середньої річної температури ґрунту на глибинах 0,2 м і 3,2 м (Покошичі)

На рис. 6 представлено лінійні тренди температури ґрунту на стандартних глибинах за 20 років (з 1996 по 2015 рр.) для січня і липня по метеостанції Баштанка.

Як видно з рис. 6, найбільші міжрічні флуктуації температури ґрунту в січні та липні спостерігаються на менших глибинах, а зі збільшенням глибини хід температури більш згладжений.

Аналогічний багаторічний хід температури ґрунту на глибинах за січень та липень відмічений на більшості інших станцій, розміщених в різних регіонах України (Овруч, Баштанка, Бережани, Чортків, Асканія Нова, Затишся, Глухів, Ромни, Нікітський Сад).

Збільшення температури ґрунту на глибинах виявлено також за межами України, зокрема, у Москві та на прилеглих територіях [4] за останні шість десятиліть, що свідчить про поширеність цього процесу.

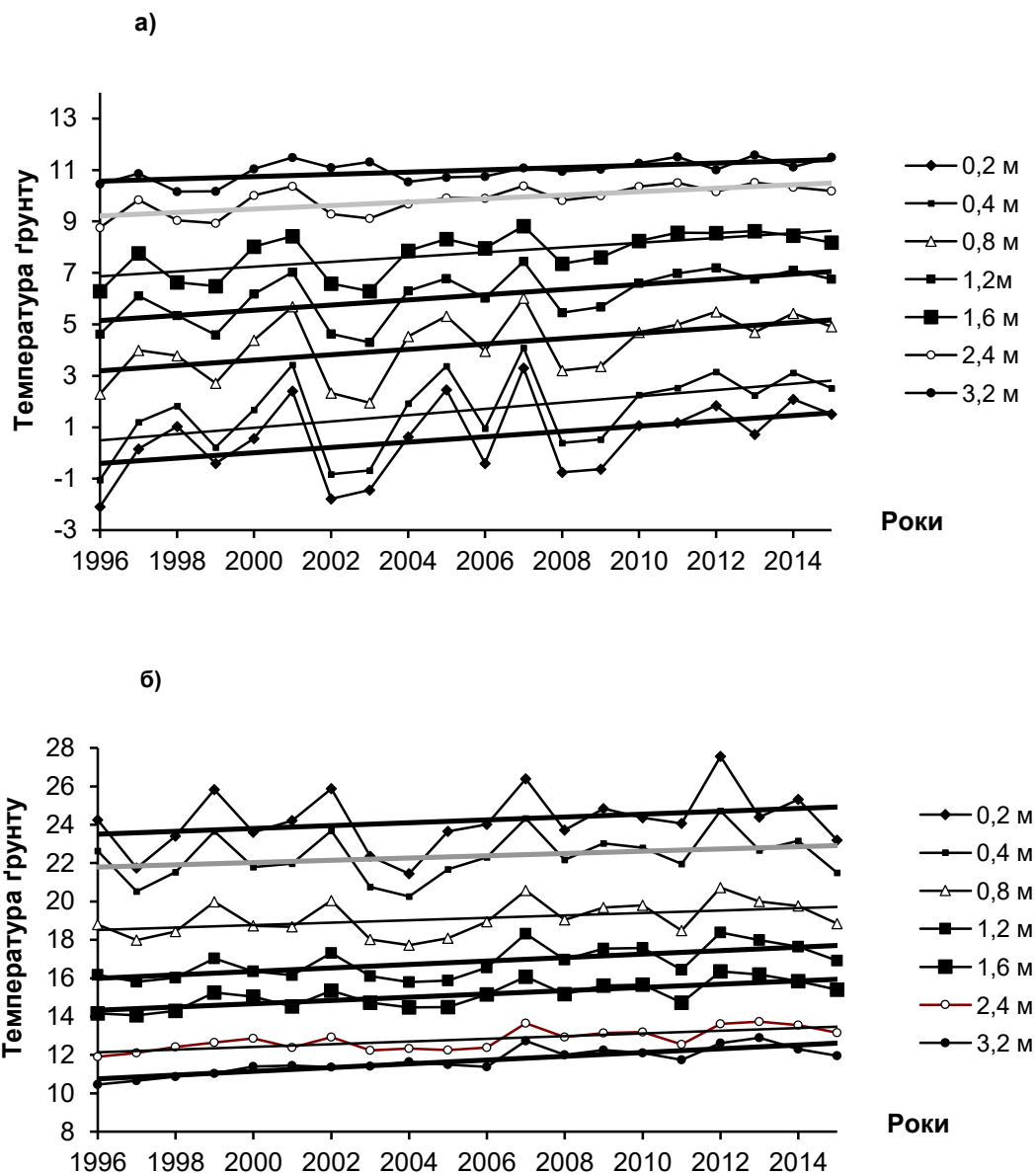


Рис. 6. Багаторічний тренд температури ґрунту під природним покривом на глибинах на метеостанції Баштанка за січень (а) та липень (б)

Оскільки для багатьох користувачів метеорологічних даних важливою є інформація про такі характеристики термічного режиму ґрунту як глибина промерзання та проникнення нульової ізотерми, були побудовані ізоплети температури ґрунту на глибинах під природним покривом (рис. 7).

Глибина промерзання зазвичай менша, ніж глибина проникнення нульової ізотерми [1], оскільки замерзання ґрунту залежить від вмісту у ньому води, розчинів солей та інших домішок. За даними [1], максимальна глибина з температурою 0 °C у Києві спостерігається наприкінці лютого – на початку березня. Це вірно і для метеостанції Овруч (рис. 7).

Як видно з рис. 7, за період 2006–2015 рр. глибина проникнення нульової ізотерми помітно зменшилась, в той час як у літні місяці суттєво збільшилась глибина проникнення в ґрунт ізотерм 20 °C і 15 °C, а досягнення максимальних значень настає приблизно на місяць пізніше, ніж за період 1996–2005 рр.

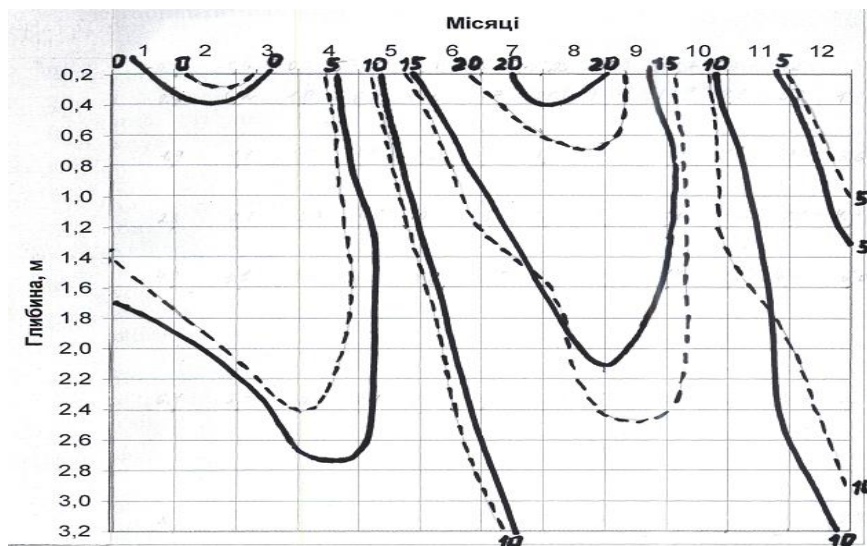


Рис. 7. Ізоплети температури ґрунту на глибинах за даними метеостанції Овруч за період 1996–2005 рр. (суцільні лінії) та 2006–2015 рр. (пунктирні лінії)

Висновки. Відповідно до одержаних під час досліджень результатів, на території України спостерігається протягом останніх двох десятиліть (1996–2015 рр.) підвищення температури ґрунту на глибинах під природним покривом, як в зимовий, так і в літній період, проте в літній період цей процес відбувається інтенсивніше. Зростання температури характерне для всіх глибин, на яких проводяться спостереження за температурою ґрунту під природним покривом на території України.

Встановлено зменшення проникнення нульової ізотерми в глибину ґрунту за період 1996–2015 рр.

У південних районах у літній період спостерігається більша інерція теплових потоків.

Отримані результати будуть використані для вдосконалення програми просторово-часового контролю температури ґрунту на глибинах під природним покривом.

Список літератури.

1. *Клімат Києва* / за ред. В.І. Осадчого, О.О. Косовця, В.М. Бабіченко. К. : Ніка-Центр, 2010. С. 109–110.
2. *Клімат України* / за ред. В.М. Ліпінського. К. : Видавництво Раєвського, 2003. С. 153–157.
3. Грибова Т.П., Грошева Л.А. Об опыте применения программы пространственного контроля режимной метеорологической информации. Тр. ГГО, 1987. Вып. 512. С. 20–29.
4. Корнева И.А., Локощенко М. А. Температура почвы и грунта в Москве и ее современные изменения. Метеорология и гидрология. 2015. № 1. С. 38–50.
5. Рекомендации по анализу результатов пространственного контроля режимной метеорологической информации. СПб. : Гидрометеиздат, 1993. 175 с.
6. Р. Дж. Хэнкс, Дж. Л. Ашкрофт Прикладная физика почв. Температура и влажность почвы. Л. : Гидрометеиздат, 1985. С. 126–145.
7. РД 52.04.614–2000. Наставление метеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. II. Л.: Гидрометеиздат. С. 43–48.
8. Cyril Nwankwo, Difference Ogagarue Investigation of Temperature Variation at Soil Depths in Parts of Southern Nigeria. American Journal of Environmental Engineering, 2012 №2 (5). p. 142–147.

Аналіз багаторічних тенденцій динаміки температури ґрунту на глибинах під природним покривом

Швень Н.І., Митник Т.Г., Гальперіна Т.О.

Зроблено аналіз багаторічних даних температури ґрунту на глибинах під природним покривом, в результаті якого виявлено збільшення температури ґрунту на всіх глибинах, на яких провадяться регулярні вимірювання, за період 1996 – 2015 рр. Виявлена неоднакова динаміка

ISSN:2306-5680 *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia*. 2017. № 3 (46)

зростання температури ґрунту в січні і липні та зменшення проникнення в глибину ґрунту нульової ізотерми.

Ключові слова: температура ґрунту на глибинах під природним покривом, багаторічні зміни температури, профіль температури.

Анализ многолетних тенденций динамики температуры почвы на глубинах под естественным покровом

Швень Н.И., Мытник Т.Г., Гальперина Т.А.

Проведено анализ многолетних данных температуры почвы на глубинах под естественным покровом, в результате которого выявлено увеличение температуры почвы на всех глубинах, на которых проводятся регулярные наблюдения, за период 1996 – 2015 гг. Обнаружена неоднаковая динамика увеличения температуры почвы в январе и июле, а также выявлено уменьшение проникновения в глубину почвы нулевой изотермы.

Ключевые слова: температура почвы на глубинах под естественным покровом, многолетние изменения температуры, профиль температуры.

An analysis of long-term tendencies of dynamics of temperature of soil on depths under natural surface

Shven N., Mytnyk T., Galperina T.

The analysis of long-term soil temperature data at depths under the natural surface has been made. Data of observations of 14 meteorological stations at which observations were made at all 7 depths were used for the analysis. Data of 15 stations were used for the analysis of the temperature on the extreme depths of 0,2 m and 3,2 m. As a result of the data analysis, an increase of soil temperature at all depths at which regular measurements are made has been identified for the period 1996-2015.

The influence of change of the soil surface temperature for the long-term change of soil temperature at depths under the natural surface has been analysed. A comparison of the average soil temperature in January and in July during the last two decades at various depths indicates a positive trend both in the summer and in the winter. In the summer, the temperature increases more at a depth of 0,2 m, and in the winter – at a depth of 3,2 m.

In the southern regions, in summer, there is a greater inertia of heat fluxes in soil. The decrease of the penetration of the zero isotherm in the depth of the soil for the period 1996–2015 has been established.

Keywords: soil temperature at depths under natural cover, long-term temperature changes, temperature profile.

Надійшла до редколегії 20.04.2017

УДК 551.577.42

Пясецька С.І., Щеглов О.А.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України

ТЕНДЕНЦІЇ У ЗМІНАХ КІЛЬКОСТІ ВИПАДКІВ ВІДКЛАДЕНЬ ОЖЕЛЕДІ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ПРОТЯГОМ ОЖЕЛЕДНОГО ПЕРІОДУ 2001-2015 рр. ВІДНОСНО СТАНДАРТНОЇ КЛІМАТОЛОГІЧНОЇ НОРМИ 1961-1990 рр.

Ключові слова: випадки відкладення ожеледі; стандартний ожеледний станок; ожеледний період; додатні та від'ємні відхилення середньої кількості випадків відкладення ожеледі

Вступ. На території України відкладення ожеледі спостерігаються у холодний період кожного року. Проте спостерігається досить значна мінливість таких відкладень від місяця до місяця та з року в рік. Тому для отримання більш повної інформації стосовно характеру розповсюдження випадків таких відкладень, їх просторової диференціації та в решті решт встановлення територій, які найбільш від них потерпають, доцільно узагальнити інформацію про них разом за сукупність місяців, коли вони спостерігаються. Таким чином можна отримати узагальнену характеристику поля відкладень ожеледі за ожеледний період і встановити території, які знаходяться під їх найбільшим впливом. Для визначення тенденцій у

просторовому розподілі відкладень ожеледі важливим є порівняння середньої кількості випадків із відкладеннями ожеледі за окремий (досліджуваний) період із даними за базовий період (відносно стандартної кліматологічної норми). Таким чином встановлюють величину та знак відхилень. На наступному етапі дослідження отримують осередки та центри додатних та від'ємних відхилень середньої кількості відкладень ожеледі. Актуальність дослідження обумовлена тим, що оскільки кліматичні зміни не є синхронними як за часом так і у просторі, тому здається за доцільне та потрібне проводити регіональні дослідження, які в решті решт стають окремими фрагментами для усвідомлення сучасних змін у кліматичній системі та побудови її загального стану у цілому.

Мета, об'єкт та предмет дослідження. Метою проведеного дослідження було встановити тенденції у розподілі середньої кількості випадків відкладень ожеледі протягом ожеледного періоду на території України протягом останніх 15 років (2001-2015), які відображають його сучасний стан відносно стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. *Об'єктом* дослідження стали відкладення ожеледі, які утворюються на дратах стандартного ожеледного станка. *Предметом дослідження* було встановити тенденції у просторовому розподілі відкладень ожеледі на території України протягом ожеледного періоду в умовах сучасного клімату.

Огляд стану проблеми. Дослідження фізико-географічних особливостей просторового розподілу ожеледо-паморозевих відкладень на території України започатковано у роботах А.М. Раєвського, М.М. Прохоренко [18-24] та М.М. Волевахи [3]. Із врахуванням відносної висоти місцевості, ступеня захищеності по відношенню до переважаючих при відкладенні ожеледі вітрам, експозиції самого макросхилу на якому знаходиться пункт спостереження встановлено 7 основних типів рельєфу. Визначено, що V-VII типи рельєфу є найбільш ожеледонебезпечні, проте у Карпатах та Криму (переважно VI, VII типи рельєфу) чіткий зв'язок між абсолютними висотами та частотою і розмірами ожеледо-паморозевих відкладень [22], виявлено для пунктів які знаходяться на одному схилі та в однакових умовах.

У подальшому узагальнення інформації про стан поля відкладень та особливості розповсюдження ожеледо-паморозевих утворень, зокрема ожеледі на території України протягом від кінця 30-х – 60-х до початку 70-х років XX століття представлено у роботах А.М. Кошенка та у монографіях про стан клімату в Україні, які було в УкрГМІ (колишній УкрНДГМІ) [6, 9-11, 14, 15, 17]. Було встановлено, що найбільшої повторюваності це явище набуває протягом грудня – лютого. Територіально ці явища максимального свого прояву досягають в районі Донецького кряжу, Приазовської височини, Кримських горах (захід), Волино-Подільській та Придніпровській височинах, Карпатах (північно-східні схили та високогір'я). Найчастіше небезпечні відкладення ожеледі мали місце в районі Донецького кряжу, Приазовської височини та Криму. Наступний етап дослідження цього питання охоплює період з 60-х років до кінця XX століття. [7, 26]. На основі накопиченого матеріалу спостережень було встановлено частота появи відкладень ожеледі стихійного характеру, як найбільш небезпечна. Так за вірогідністю прояву відкладень ожеледі стихійного характеру на Україні було виділено 4 райони. З них найбільш небезпечним виявився район, куди увійшли: Донецька, Луганська, Вінницька, Кіровоградська, Одеська, Миколаївська області (1 раз за 2-3 роки). Останньою фундаментальною роботою з дослідження стихійних метеорологічних явищ на Україні у тому числі і сильної ожеледі є монографія [27], в якій досліджено стан інтенсивності та розповсюдження стихійних явищ протягом 1985-2005 рр.

Дослідженнями останніх років доведено, що спостерігається зв'язок між змінами клімату і зростанням кількості небезпечних та стихійних явищ, при цьому

це стосується фактично усіх їх видів [1]. Оцінки цього зв'язку та передбачення майбутніх змін клімату у XXI ст. у регіональному аспекті опубліковано у дослідженнях Г.В. Грузи та Е.Я. Ранькової (2008), вчених Росгідромета [4, 12], по території України В.Ф.Мартазиною [13], а також у глобальному масштабі у матеріалах ВМО - IPCC, 2007: Climate Change 2007 та IPCC 2012: Climate Change 2012 [28, 29]. У зв'язку з цим постає питання визначення вразливості окремих ланок господарського комплексу від небезпечних та стихійних погодних явищ, а також територій, які знаходяться під їх найбільшим впливом, наприклад сільське господарство, промислові галузі, інфраструктура, тощо. Рішення цього питання полягає у розробці адапційних заходів запобігання збиткам та забезпечення сталого розвитку економіки. Цей напрямок досліджень останнім часом активно розвивається у світовій спільноті про що свідчать матеріали ВМО з питань змін клімату [5]. На пострадянському просторі дослідження з питань вразливості різних сфер діяльності людини від соціальної до технічної, визначення ризиків у відповідності до їх реципієнтів проводяться у ГГО (Російська Федерація, Санкт-Петербург, Кобишева М.П. та інш.) [8], в Інституті географії РАН та Росгідрометом [12]. В Україні погляд на це питання узагальнено у монографіях присвячених вразливості та адаптації екологічних та економічних систем до зміни клімату [2, 25]. Крім того на поточний час виконується науково-дослідна тема «Розроблення комплексного методу виявлення кліматовразливих районів на території України в умовах глобальної зміни клімату» (№ держреєстрації - 0115U002775).

Характеристика висхідного матеріалу. У дослідженні було використано матеріали спостережень за відкладеннями ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка, які розміщено у відповідній таблиці Метеорологічних щомісячників Вип.10, Ч. 2 (Україна) протягом 2001-2015 рр. за усіма 187 станціям у ожеледний період. Для останніх років спостережень починаючи з 2014 р. по теперішній час частково відсутня (або повністю відсутня) метеорологічна інформація зі станцій АР Крим (відсутня повністю після січня 2015 р.) та з метеорологічних станцій, які знаходяться на непідконтрольній Україні території зони АТО у Луганській та Донецькій областях (відсутня з другої половини 2014 р.). Усього таких станцій 23 на території АР Крим та ще 5 на території сходу України: 2 на території Луганської області (Луганськ, Дар'ївка) та 3 на території Донецької області (Донецьк, Дебальцеве, Амвросіївка). На теперішній час гідрометеорологічна мережа України налічує 159 метеорологічних станцій, які виконують повний обсяг спостережень відповідно до плану робіт та вимог «Настанов гідрометеорологічним станціям та постам», Частина II. Матеріали спостережень за відкладеннями ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка по окремих місяцях було узагальнено до стану ожеледного періоду (сукупність місяців, коли такі випадки відкладень спостерігались).

Методика дослідження. Дослідження проводилось у двох напрямках. *По-перше*, було розраховано відхилення середньої кількості випадків із відкладенням ожеледі на кожній із метеорологічних станцій за ожеледний період 2001-2015 рр. від стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. та встановлено загальну картину розподілу відхилень різного знаку на станціях по окремих областях. *По-друге*, було встановлено розповсюдження по території країни осередків від'ємних та додатних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі. Також було з'ясовано у яких з них спостерігаються найбільші значення таких відхилень.

Виклад основних результатів. Для з'ясування сучасних тенденцій у характері розповсюдження відкладень ожеледі на території України відносно стандартної кліматологічної норми (1961-1990 рр.) було обрано ожеледний період 2001-2015 рр. Для кожної окремої станції країни (187) було розраховано відхилення

середньої кількості випадків відкладень ожеледі. Було виявлено станції із від'ємними, додатними та «0» відхиленнями. Результати дослідження подано у таблиці 1. Дослідженням встановлено, що по окремих областях України протягом ожеледного періоду 2001-2015 рр. переважають станції із від'ємними відхиленнями середньої кількості випадків із відкладеннями ожеледі, при чому у більшості областях. Проте виявлено області, де або переважають додатні відхилення, або за кількістю додатних та від'ємних відхилень було порівну. Такими областями виявились Рівненська область на станціях якої було встановлено тільки додатні відхилення середньої кількості випадків відкладень ожеледі та Чернівецька де вони також переважали. Крім того було встановлено, що у ряді областей: Тернопільській, Сумській та Луганській станцій із додатними та від'ємними відхиленнями середньої кількості випадків відкладень ожеледі було порівну. Також було встановлено, що у ряді південних областей (Миколаївська, Херсонська області та АР Крим) були станції, де відхилення середньої кількості випадків із відкладеннями ожеледі дорівнювало «0». Тобто змін у кількості випадків із відкладеннями ожеледі на цих станціях не відбулось (табл.1).

При визначенні величини та знаку відхилень середньої кількості випадків із відкладеннями було встановлено їх розподіл по території. У цілому значення відхилень як від'ємних так і додатних змінювались у досить широкому діапазоні. Встановлено, що досить часто від'ємні та додатні відхилення становили відповідно -0,1...-0,9 (+0,1...+0,9). Найбільш помітні з від'ємних відхилень середньої кількості випадків із відкладеннями ожеледі становили від -1,1 до -3,0, а у окремих випадках і більше: від -3,2 до -4,2 та навіть -4,5...-7,4. Найбільші з додатних становили здебільшого від +1,0 до +2,0, іноді 2,5 ...+3,6, а у окремих випадках +4,2...+4,9. Результати дослідження з визначення тенденцій у просторовому розповсюдженні відкладень ожеледі на території України на сучасному етапі зміни клімату відносно стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. наведено на рисунку 1.

Встановлено, що у ожеледному періоді 2001-2015 рр. відносно 1961-1990 рр. від'ємні відхилення зустрічаються значно частіше ніж додатні. Саме тому у тій, чи іншій мірі від'ємні відхилення присутні в усіх областях за винятком Рівненської області, де спостерігались виключно додатні відхилення, найбільші з них становили +1,3 (Сарни) та +1,6 (Дубно) відповідно, а також у Чернівецькій області в районі Новодністровська (+2,8) та Чернівців (+1,5).

У цілому у західних областях здебільшого переважали від'ємні відхилення, при чому найбільші з них становили від -2,3...-3,1 (-3,6), які спостерігались у Стрию, Новій Ушиці, Долині та навіть -4,0 у Дрогобичі та -4,6 у Івано-Франківську. У цих же областях додатні відхилення спостерігались поодинокі, тим більше помітні (+1,3...+1,9). Так, останні спостерігались у областях: Волинській у Любешеві (+1,7), Львівській у Турці (+1,5), Тернопільській у Чорткові (+1,9), Івано-Франківській у Пожежевській (+1,3). Найбільше з додатних відхилень становить +3,2 та спостерігалось на МС Плай. На Житомирщині також переважали від'ємні відхилення. Найнижчі з них спостерігались в районі Коростеня (-4,3) та Новограда – Волинського (-2,1). Істотні додатні відхилення спостерігались у західній частині Овручсько-Словечанського кряжу в районі Олевська (+2,9).

У північних областях (Київська, Чернігівська, Сумська області) як і на заході переважають від'ємні відхилення. Найнижчі значення від'ємних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі (-2,7...-3,2) відмічаються на півночі (Чорнобиль) та особливо на півдні Київської області в районі Фастова, Білої Церкви та Яготина, півночі Чернігівської області в районі Остра, центру та півдня Сумської області (Суми (-3,7) та Лебедин (-4,7)). Найбільші з додатних відхилень у цьому регіоні становили здебільшого +0,3...+0,6 і спостерігались лише на поодиноких

Таблиця 1. Кількість станцій із додатними та від'ємними відхиленнями середньої кількості випадків відкладень ожеледі по областях України протягом ожеледного періоду 2001-2015 рр. відносно стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр.

№ п/з	Область	Знак відхилення	Кількість станцій
1	Чернігівська	+	1
		-	6
		0	-
2	Сумська	+	3
		-	3
		0	-
3	Волинська	+	1
		-	5
		0	-
4	Рівненська	+	3
		-	-
		0	-
5	Житомирська	+	1
		-	4
		0	-
6	Київська	+	-
		-	-
		0	-
7	Львівська	+	2
		-	8
		0	-
8	Хмельницька	+	1
		-	4
		0	-
9	Полтавська	+	2
		-	3
		0	-

№ п/з	Область	Знак відхилення	Кількість станцій
10	Харківська	+	3
		-	7
		0	-
11	Тернопільська	+	2
		-	2
		0	-
12	Черкаська	+	1
		-	7
		0	-
13	Луганська	+	3
		-	3
		0	-
14	Вінницька	+	1
		-	5
		0	-
15	Івано-Франківська	+	-
		-	5
		0	-
16	Кіровоградська	+	2
		-	6
		0	-
17	Дніпропетровська	+	2
		-	7
		0	-
18	Донецька	+	1
		-	6
		0	-

№ п/з	Область	Знак відхилення	Кількість станцій
19	Закарпатська	+	1
		-	8
		0	-
20	Чернівецька	+	2
		-	1
		0	-
21	Одеська	+	1
		-	10
		0	-
22	Запорізька	+	2
		-	5
		0	-
23	Миколаївська	+	-
		-	4
		0	1
24	Херсонська	+	1
		-	7
		0	1
25	АР Крим	+	5
		-	15
		0	3
Усього			
		+	42
		-	140
		0	5
Разом			
			187

станціях: Вишгород, Семенівка, Ромни. На північному сході (Харківська область) найбільші з від'ємних відхилень (-3,4...-3,9) спостерігались в районі Золочева, Коломака, Лозової. Більш-менш істотні додатні відхилення спостерігались в районі Куп'янська (+1,1) та Ізюму (+2,0).

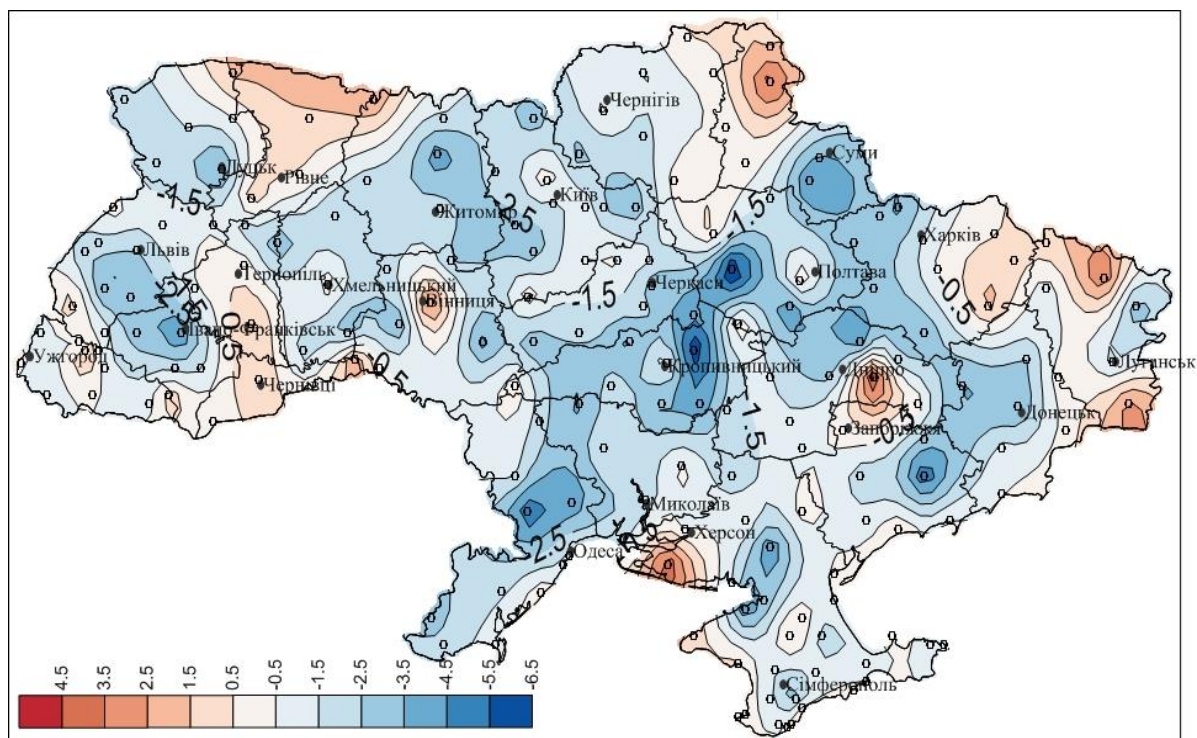


Рис.1. Відхилення середньої кількості випадків із відкладеннями ожеледі на території України у ожеледному періоді 2001-2015 рр. відносно стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр.

На сході країни у Луганській та Донецькій областях найнижчі з від'ємних відхилень (-1,2...-1,9 та -2,5...-3,7) спостерігаються на північному сході Луганській області від Сватового до Луганська, а також у Донецькій області від Артемівська до Донецька та Волновахи. Додатні відхилення спостерігаються у Дебальцевому (+0,3) та особливо у Дар'івці (+3,0).

У областях центрального регіону (Вінницька, Черкаська, Кіровоградська, Полтавська, Дніпропетровська області) найнижчі з від'ємних відхилень становили від -1,4 до -2,2 та -3,0...-4,9, а у окремих випадках до -5,7...-7,4. У Вінницькій та Черкаській областях у цілому осередки з найнижчими від'ємними відхиленнями охоплювали район від Білопілля, Хмільника, Жмеринки, Гайсина до Умані, Звенигородки, Чигирини, Черкас. У Кіровоградській області такий осередок спостерігався на її півночі, поєднуючись із осередком подібних відхилень у Черкаській області, а також на її півдні в районі Помічної, Бобринця, Долинської поєднуючись із осередком значних від'ємних відхилень на півночі Одеської області. У Полтавській області найнижчі значні від'ємні відхилення в районі Полтави, та Кобеляків. На Дніпропетровщині потужний осередок значних від'ємних відхилень знаходиться на півночі області в районі Губініхи, Павлограда, Дніпра, Комісарівки поєднуючись з аналогічним осередком на півдні Харківської області. Також існує і інший осередок подібних відхилень в районі Кривого Рогу, Лошкарівки, Нікополя. Станцій з додатними відхиленнями у центральному регіоні було небагато і здебільшого вони були незначні від +0,2 до +0,8 (Гайворон, Світловодськ, Лубни, Полтава). Найбільші з них становили +3,6...+4,9 і спостерігались у Вінниці та Синельниковому.

У південному регіоні (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька області та АР Крим) осередки з від'ємними відхиленнями спостерігались у кожній із областей регіону. Найнижчі з від'ємних відхилень ($-2,0 \dots -3,3$ у окремих випадках $-3,7 \dots -5,5$) спостерігались в Одеській області у напрямку із півночі на південь від Любашівки ($-2,1$) на Сербку ($-4,3$) та Роздільну ($-5,5$), а також на південному заході в районі Болграда та Ізмаїла. У Миколаївській області найнижчі з від'ємних відхилень спостерігались на півночі області в районі Первомайська ($-3,8$). Значно більший осередок значних від'ємних відхилень знаходиться на півдні області в районі Миколаїв – Очаків. У Херсонській області осередків значних від'ємних відкладень декілька: на півночі області в районі Великої Олександрівки, а також в районі Асканії Нової (південний схід). На Запоріжжі осередок з найнижчими відхиленнями середньої кількості випадків відкладень ожеледі ($-2,2 \dots -5,7$) знаходиться у центрі області в районі Гуляй-Поля, Пришибу та Кирилівки ($-5,7$), з центром у останній. На території АР Крим виявлено декілька осередків досить інтенсивних від'ємних відхилень ($-1,0 \dots -1,7$ ($-2,0$) та $-3,3 \dots -4,4$). Найбільш інтенсивний осередок знаходиться на півночі півострова в районі Ішуні ($-3,3$) та Роздольного ($-4,4$). Інші осередки знаходяться в районі північних передгір'їв та Зовнішнього пасма (Нижнегірський, Білогірськ, Владиславівка, Сімферополь, Поштове), в районі Ангарського перевалу та Ай-Петрі. Відносно додатних відхилень середньої кількості випадків із відкладенням ожеледі можна сказати, що вони спостерігались лише на окремих станціях і поодинокі. На території Одеської області виявлено один незначний осередок додатних відхилень на крайньому південному заході в районі Білгород Дністровського. У Миколаївській області таких відхилень не було виявлено взагалі. Станцію з істотними додатними відхиленнями було виявлено на території Херсонської області в районі Бехтер ($+4,6$). На Запоріжжі виявлено декілька осередків додатних відхилень незначної інтенсивності в районі Запоріжжя та більш-менш помітний у Ботієвому. У АР Крим було встановлено декілька малопотужних осередків додатних відхилень – в районі Джанкоя, Євпаторії та Севастополя. Найбільш значні додатні відхилення середньої кількості випадків відкладень ожеледі встановлено у степовій частині на її північному заході в районі Чорноморського ($+1,0$) та на півночі в районі Клепіненого ($+1,1$).

Висновки.

1. У ожеледний період протягом 2001-2015 рр. відносно стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. на території України переважають від'ємні відхилення середньої кількості випадків відкладень ожеледі. Додатні відхилення спостерігаються значно рідше. Вони переважають лише на станціях Рівненської області, де від'ємних відхилень не встановлено, а також у Чернівецькій області де вони переважали. У Тернопільській, Сумській та Луганській областях станцій із від'ємними та додатними відхиленнями було порівну. Станцій із нульовими відхиленнями було мало. Вони спостерігались лише у трьох областях - Миколаївській, Херсонській областях та АР Крим.

2. Найбільш значні за охопленням території виявилися від'ємні відхилення. Найбільші з них спостерігались у західному регіоні на півдні Львівської області (за виключенням Турки), на більшій частині Хмельницької, Тернопільської та Івано-Франківської, Закарпатської областей за виключенням окремих станцій, де спостерігались достатньо помітні додатні відхилення. Також досить широко від'ємні відхилення середньої кількості випадків відкладень ожеледі представлені на станціях північного заходу у Житомирській області. На півночі країни помітне розповсюдження від'ємних відхилень спостерігалось на більшій частині Київської, Чернігівської та окремої частини Сумської області. На північному сході найбільший осередок від'ємних відкладень спостерігається на півночі Харківської області. На

сході осередки від'ємних відхилень знаходяться на північному сході Луганської області та в районі Красноармійськ – Донецьк –Волноваха (Донецька область). У центральних областях помітний осередок від'ємних відхилень знаходиться у межах більшої частини Черкаської області, північно-західної та частково східної частини Вінницької області, більшої частини Кіровоградської області. На сході центрального регіону встановлений осередок від'ємних відхилень у Дніпропетровській області, переважно на її півночі. а також в Районі Кривого Рогу та Лошкарівки. На півдні найбільші осередки від'ємних відхилень спостерігались на більшій частині Одеської, Херсонської області, частково на території Херсонської області. Також осередок від'ємних відхилень знаходиться у центрі Запорізької області. У АР Крим основні осередки від'ємних відхилень знаходяться у степовій та передгірській зонах, а локально у горах в районі Ангарського перевалу та Ай-Петрі.

3. Додатні відхилення та їх осередки були менш представлені. Найбільші з них спостерігаються на північному заході та заході країни - півночі Волинської та у Рівненській областях. Окремими ізольованими ареалами вони представлені на півдні Львівської, півдні Тернопільської, південному заході Івано-Франківській, півночі Чернівецької, північному сході Закарпатської областей та на північному заході Житомирської області. На півночі країни помітний осередок додатних відхилень спостерігається на півночі та північному сході Чернігівської та Сумської областей. На північному сході у Харківській області додатні відхилення спостерігаються на північному сході та сході. На сході додатні відхилення спостерігались на півночі та сході Луганської області. У центральному регіоні додатні відхилення представлені переважно окремими невеликими ареалами у Вінницькій, північному заході та сході Кіровоградської, на заході та у центрі Полтавської, півдні та південному сході Дніпропетровської областей. На півдні окремі осередки додатних відхилень спостерігаються на південному заході Одеської, півдні Херсонської, півдні Запорізької областей та у окремих місцях північної частини Криму.

Список літератури

1. Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Таубекова З.А. Тенденции изменения режимных характеристик осадков в климатических зонах юга России. Метеорология и гидрология, 2017. № 3. С. 18-28. 2. *Україна та глобальний парниковий ефект*. Ч. 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату. Монографія./ І.Ф. Букша, П.Ф. Гожик, Ж.Л. Ємельянова, І.В. Трофимова, А.І. Шерешевський / За редакцією В.В. Васильченка, М.В. Рапцуна, І.В. Трофимової. 1998. К. 210 с. 3. *Волеваха Н.М.* О влиянии орографии на гололедные отложения. Труды УкрНИГМИ, 1958. Вып. 13. С. 82-86. 4. *Груза Г.В., Ранькова Э.Я.* Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность. Метеорология и гидрология, 2004. № 4. С. 50-66. 5. *Изменение климата*, 2014 г. : Воздействия, адаптация и уязвимость. Резюме для политиков. Вклад Рабочей группы II в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. ВМО. Женева. 2014. 34 с. 6. *Климат України* / Под ред. Г.Ф. Прихотько, А.В. Ткаченко, В.Н. Бабиченко. Л. : Гидрометеиздат, 1967. 413 с. 7. *Клімат України* / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К. : Вид-во. Раєвського, 2003. 343 с. 8. *Кобышева М.П., Васильев М.П.* Уязвимость социальной сферы регионов России к опасным гидрометеорологическим явлениям. Труды ГГО, 2015. Вып. 578. С. 59-74. 9. *Кошенко А.М.* Особо опасные гололеды на Украине. Труды УкрНИГМИ, 1976. Вып. 134. С. 79-91. 10. *Кошенко А.М.* Особо опасные отложения гололеда в Горном Крыму. Труды УкрНИГМИ, 1977. Вып. 160. С. 3-12. 11. *Кошенко А.М.* Рекомендации к прогнозу особо опасных отложений гололеда внутримассового происхождения на Украине. Труды УкрНИГМИ, 1977. Вып. 160. С. 13-20. 12. *Материалы* к стратегическому прогнозу изменения климата Российской Федерации на период 2010-2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России. 2005. М. : Росгидромет. 88 с. 13. *Мартазинова В.Ф., Иванова*

Е.К., Чайка Д.Ю. Изменения крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха на протяжении XX века и ее влияние на погодные условия и региональную циркуляцию воздуха в Украине. Геофизический журнал, 2006. Т. 28, № 1. С. 51-60. **14.** Опасные явления погоды на Украине / Под ред. К.Т. Логвинова. Труды УкрНИГМИ, 1972. Вып. 110. 235 с. **15.** Природа Украинской ССР. Климат / Под ред. К.Т. Логвинова, М.И. Щербаня. К.: Наукова думка, 1984. 231 с. **16.** Прохоренко М.М., Раевский А.Н. Особенности распределения гололедно-изморозевых отложений на территории Украины в аномальные зимы. Метеорология, климатология и гидрология, 1975. Вып. 11. С. 33-37. **17.** Прохоренко М.М., Раевский А.Н. Распределение и условия возникновения особо опасных отложений атмосферного льда на территории Украины. Труды УкрНИГМИ, 1973. Вып. 124. С. 84-90. **18.** Раевский А.Н. К вопросу о повторяемости гололеда. Метеорология и гидрология, 1953. № 1. С. 28-31. **19.** Раевский А.Н. Влияние рельефа на распределение гололедно-изморозевых отложений. Труды ОГМИ, 1961. Вып. XXIII. С. 3-10. **20.** Раевский А.Н. О распределении гололеда на территории Украины. Труды УкрНИГМИ, 1961. Вып. 29. С. 50-62. **21.** Раевский А.Н. Влияние особенностей рельефа на распределение гололедных отложений. Труды ГГО, 1961. Вып. 122. С. 75-80. **22.** Раевский А.Н. К вопросу о влиянии рельефа на распределение отложений гололеда в Украинских Карпатах. Метеорология, климатология и гидрология, 1968. Вып. 3. С. 80-84. **23.** Раевский А.Н., Вязовченко Е.А. Синоптические условия образования значительного гололеда в Украинских Карпатах. Метеорология, климатология и гидрология, 1969. Вып. 5. С. 64-70. **24.** Раевский А.Н. К вопросу о влиянии характера рельефа и лесистости на распределение гололедно-изморозевых отложений. Труды УкрНИГМИ, 1967. Вып. 65. С. 113-117. **25.** Розвиток заради порятунку. Монографія / В.Я. Шевчук, В.К. Черняк, Т.Т. Ковальчук, М.П. Педан, О.І. Панков, І.В. Трофимова та ін. / За ред. В.Я. Шевчука. 2016 К. : Вид-во Геопринт. 227 с. **26.** Стихийные метеорологические явления на Украине и Молдавии / Под ред. В.Н. Бабиченко. Л. : Гидрометеиздат, 1991. 223 с. **27.** Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) / За ред. В.М. Ліпінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабиченко. К. : Вид-во Ніка-Центр, 2006. 311 с. **28.** IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. / S. Solomon, D. Qin, M. Manning et al. (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2007. **29.** IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY USA, 2012. 582 pp.

Тенденції у змінах кількості випадків відкладень ожеледі на території України протягом ожеледного періоду 2001-2015 рр. відносно стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр.

Пясецька С.І., Щеглов О.А.

У статті викладено результати порівняння середньої кількості випадків відкладень ожеледі протягом ожеледного сезону на сучасному етапі зміни клімату 2001-2015 рр. відносно аналогічного періоду стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. Проаналізовано особливості та характер розподілу відкладень ожеледі по території України на сучасному етапі. За допомогою розрахованих відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі встановлено сучасні тенденції у їх розповсюдженні. З'ясовано, що відносно стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. на станціях України переважають від'ємні відхилення середньої кількості випадків відкладень ожеледі. Кількість станцій, на яких вони були встановлені становила 140 станцій. Додатні відхилення спостерігались поодинокі і не в усіх областях. Загальна кількість станцій із ними становила 42, ще на 5 станціях спостерігались нульові відхилення. Додатні відхилення переважали лише у Рівненській та Чернівецькій областях.

Ключові слова: випадки відкладення ожеледі, стандартний ожеледний станок, ожеледний період, додатні та від'ємні відхилення середньої кількості випадків відкладення ожеледі.

Тенденции в изменениях количества случаев отложений гололеда на территории Украины на протяжении гололедного периода 2001-2015 гг. относительно стандартной климатологической нормы 1961-1990 гг.

Пясецкая С.И., Щеглов А.А.

В статье изложены результаты сравнения среднего количества случаев отложений гололеда на протяжении гололедного периода на современном этапе изменения климата 2001-

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2017. № 3 (46)

2015 гг. относительно аналогичного периода стандартной климатологической нормы 1961-1990 гг. Проанализированы особенности и характер распределения отложений гололеда по территории Украины на современном этапе. С помощью рассчитанных отклонений среднего количества отложений гололеда установлены современные тенденции в их распространении. Выяснено, что относительно стандартной климатологической нормы 1961-1990 гг. на станциях Украины преобладают отрицательные отклонения среднего количества отложений гололеда. Количество станций, на которых они были установлены составило 140 станций. Положительные отклонения наблюдались эпизодически и не во всех областях. Общее количество станций с ними составила 42, еще на 5 станциях наблюдались нулевые отклонения. Положительные отклонения преобладали только в Ровенской и Черновицкой областях.

Ключевые слова: случаи отложения гололеда, стандартный гололедный станок, гололедный период, положительные и отрицательные отклонения среднего количества случаев отложения гололеда.

Trends in changes in the of ice deposits in Ukraine for the period 2001-2015 relative standard climatic norm 1961-1990.

Pyasetska S.I., Shcheglov A.A.

The article presents results comparing the average number of cases for ice deposits at this stage of the season Climate Change 2001-2015 biennium. Relative to the same period of standard climatological norm 1961-1990. The features and distribution of ice deposits on the territory of Ukraine today observed. With deviation calculated the average number of cases of ice deposits found current trends in distribution. It has been found that relatively standard climatological norm 1961-1990 biennium. Ukraine at the stations predominate negative deviation of the average number of cases of ice deposits. Number of stations on which they were installed was 140 stations. Positive deviations observed singly and not in all areas. The total number of stations with them was 42, another 5 stations observed zero deviation. Positive deviations prevailed only in Rivne and Chernivtsi regions.

In general, the study received major conclusions:

- In some regions the most common and significant for the area were negative deviation. The largest of them were observed in the western region in the south of Lviv region (excluding Turks), most of the Khmelnytsky, Ternopil and Ivano-Frankivsk, Zakarpattia. Common negative deviation of the average number of cases are ice deposits on the northwest stations in Zhytomyr region. In the north, marked proliferation of negative deviations observed in most of Kyiv, Chernihiv and Sumy separate part of the region. In the northeast the biggest negative cell deposits observed in the north of the Kharkiv region. To the east are pockets of negative deviations in the northeast and the Luhansk region in the area Krasnoarmiisk - Donetsk - Volnovakha (Donetsk region). In the central areas of focus of significant negative deviations are within most of the Cherkassy region, north-western and eastern part of Vinnitsa region, most of the Kirovograd region. In the east central region of the country established cell negative deviation to the north of Dnipropetrovsk region, and in the south in the District of Krivoy Rog and Loshkarivky. In the southern region of the largest centers of negative deviations were observed in most of Odessa, Kherson region, partly in Kherson region.

A significant focus of negative deviations in the center of Zaporozhye region. In Crimea basic cell negative deviations are mainly in the plains and foothills of the peninsula. In the Crimean mountains are located in the vicinity of Angarsk pass and Ah-Petri.

- Positive deviations and their branches were less represented. The biggest of them are observed in the northwest and west - north of Volyn and Rivne regions. Certain isolated ranges are represented in the south of Lviv, Ternopil south, southwest of Ivano-Frankivsk, Chernivtsi north, northeast and Transcarpathian regions in northwestern Zhytomyr region. In the north, a strong positive cell abnormalities observed in the north and north-east, Chernihiv and Sumy regions. In the north-east (Kharkiv region) positive deviations observed in the north and east. Positive deviations observed in northern and eastern Luhansk region. In the central region are mostly positive deviation ranges of some insignificant in Vinnytsia region, north-west and east of Kirovograd, in the west and in the center of Poltava, south and southeast regions of Dnipropetrovsk. In the southern region of individual cells positive deviations observed in the southwest of Odessa, southern Kherson, Zaporizhzhya southern regions and in some areas of the northern part of the Crimean peninsula.

Keywords: ice deposition cases, standard ice machine, ice deposit period, positive and negative deviation of the average number of cases of ice deposits.

Надійшла до редколегії 15.02.2017

Гуда К. В., Остроградська О. С.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ГРОЗ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА ЇХ ПРОГНОЗУВАННЯ: СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Ключові слова: гроза; атмосферний фронт; прогнозування гроз.

Актуальність проблеми. Грози – одне із найскладніших атмосферних явищ, характерною рисою яких є тісний зв'язок і взаємообумовленість метеорологічних та електричних процесів. Формування великих об'ємних зарядів і, відповідно, сильних електричних полів супроводжується інтенсивними грозовими розрядами між хмарами та хмарою і земною поверхнею [11]. Гроза приваблювала дослідницьку увагу ще із глибокої давнини. Припускається, що до XVIII століття люди, з метою своєї безпеки, спостерігали за грозовими явищами, не маючи чіткого наукового методу для їхнього вивчення. Одним із перших думку про природу грози висловив ще Анаксимен, який розглядав грозу як результат згущення повітря у хмарах. Лукрецій вбачав причину генерації гроз у виникненні вітру, який видавлює з "хмар вогняні тільки у вигляді блискавки" [28].

Після створення Всесвітньої метеорологічної організації із 1856 р. почав здійснюватися систематичний моніторинг повторюваності гроз над різними регіонами світу [21].

За офіційною статистикою грози займають друге місце серед природних факторів, які загрожують життю людини, а їхня активність завдає значних збитків різним галузям економіки та впливає на динаміку екосистем. Тому проблеми дослідження та, зокрема, прогнозування гроз є актуальними та досить складними завданнями не лише метеорології, але і суміжних до неї наук.

Метою роботи було ознайомитися із сучасним станом дослідження гроз та окреслити перспективи подальшого проведення досліджень у даному напрямку.

Синоптичні та кліматичні дослідження гроз. Одночасно на Землі діє близько півтори тисячі гроз, середня інтенсивність розрядів оцінюється як 46 блискавок на секунду. По поверхні планети грози розподіляються нерівномірно. Над океаном гроз спостерігається приблизно в десять разів менше, ніж над континентами [27].

У помірних широтах грозова діяльність в основному спостерігається у теплий період року і виникає у купчасто-дощових хмарах завдяки розвитку атмосферної конвекції. Зимові грози (їх повторюваність становить соті частки відсотків) також пов'язані із зонами "затопленої" конвекції на загальному фоні шаруватоподібних хмар [12].

Грози пов'язані із розвитком потужних купчасто-дощових хмар [11]. У вологому, нестійко стратифікованому повітрі при інтенсивному прогріванні земної поверхні або при зміні повітряних мас розвиваються купчасто-дощові хмари, вертикальна потужність яких коливається від 4 до 8 км і навіть більше. Нижня межа таких хмар знаходиться у середньому на висоті 0,5 – 1,5 км. Їх вершина лежить на рівні 8 – 10 км, іноді досягаючи тропопаузи (11 – 13 км). Купчасто-дощові хмари складаються із крупних крапель, а їх вершини, які мають вигляд ковадл, майже повністю складаються із кристалів льоду, так як вони знаходяться у зоні від'ємних температур (зазвичай нижче -15° , -20°). Іноді перед такими хмарами, за 1 – 2 км до зливи, мчить вихор із горизонтальною віссю. Гроза супроводжується сильними шквалистими

вітрами і зливовими опадами, нерідко градом.

Зважаючи на значну кількість небезпечних явищ (надзвичайно сильні зливи, грози, шквали) на території України, можна вважати, що повторюваність купчасто-дощових хмар продовжує зростати. У роботі [9] було визначено, які умови спричиняють розвиток Сб та пов'язаних із ними небезпечних явищ. Зокрема, виявлено, що головною причиною утворення тривалих сильних опадів та гроз на території України в різні сезони 2012 р. була інтенсифікація фронтальної діяльності внаслідок блокування руху циклонів антициклональним полем.

Розрізняють внутрішньомасові грози, які зумовлені конвекцією і виникають як у теплих масах повітря внаслідок нагрівання підстильної поверхні переважно у малоградієнтному полі підвищеного або зниженого тиску, так і в холодних, які перемішуються на теплу поверхню і грози, які виникають у зонах атмосферних фронтів [12]. Близько 70 % гроз мають фронтальне походження, більша частина таких гроз пов'язана з холодним фронтом. У [17] було запропоновано параметр, який характеризує запаси мезомасштабної складової доступної потенційної енергії фронтальної зони. Співставляючи оцінки діагностичної якості запропонованого параметру з деякими іншими параметрами, які можуть використовуватися для діагнозу та прогнозу активності конвекції на фронті, авторами було отримано статистичне підтвердження зв'язку запасу енергії фронту з грозовою активністю. Вплив циклонів і фронтів, що виходять на територію України з північною складовою, на повторюваність небезпечних і стихійних конвективних явищ погоди в регіонах країни описано у [1]. Виявлено, що наприкінці ХХ століття, у теплий період року, кількість циклонів, що виходять на територію України і проходять по ній своїм центром, зменшилась, а кількість фронтів зросла. Циклони і фронти, що виходять в Україну з північною складовою в теплий період року, стали більш інтенсивні і небезпечні. У центральних, східних і південних регіонах України спостерігається зростання інтенсивності циклонів і фронтів, що виходять в Україну з північною складовою у теплий період.

Дослідження останніх десятиліть показали, що грозова активність чутливо реагує на зміни температури, вологості, радіаційного режиму та складу атмосфери [15]. Це також підтверджується у [5], де за допомогою компонентного аналізу було проведено параметризацію поля повторюваності гроз, аналіз результатів якого свідчить про те, що існує велика кількість факторів, від яких залежить повторюваність грозової активності в Україні, зокрема, зміна процесів різних масштабів, притік південного теплого та вологого повітря.

Просторовий розподіл числа днів із грозою за рік зумовлюється характером загальної циркуляції атмосфери та рельєфом місцевості.

Сучасні просторово-часові зміни кількості днів із грозою і тривалості гроз на території України було розглянуто у [8]. Ці характеристики було визначено для сорокарічного періоду (1961–2000 рр.) за спостереженнями на 37 станціях України, які досить рівномірно розміщені на території. Було встановлено, що середня кількість днів із грозою за теплий період 1961-2000 рр. порівняно з 1936-1965 рр. зменшилась на 1 день (4%), а тривалість на 6 годин (10%). Значущими є збільшення тривалості гроз у квітні (на 0,5–1,0 год) і зменшення в серпні (на 2,5 год). Рівень значущості – 0,01. Тенденція змін середніх за теплий період значень тривалості гроз у 1961-2000 рр. свідчить як про їх збільшення, так і про зменшення в окремих регіонах України, що, вірогідно, зумовлено змінами повторюваності циклонів різного напрямку руху через поширення Азорського антициклону на схід. Збільшення грозової активності у [21] пояснюється сучасним потеплінням клімату, а також зміною циклонічної активності над територією України, яка обумовлена змінами стану Північноатлантичного коливання.

В основному грози спостерігаються з травня до вересня. Згідно із [21], за період із 1973 по 2008 р. на більшій частині території України грозова активність збільшилася. У травні кількість грозових днів найбільше зросла над Київською та Львівською областями. У червні спостерігається тенденція до збільшення грозової активності на сході України, у той же час як у липні (найбільша кількість над Хмельницькою областю) спостерігається тенденція до зниження на тій же території. За той же період у серпні найбільше число гроз відмічалось над південно-східним узбережжям Криму.

Важливою характеристикою грозової діяльності є тривалість гроз. Грози тривають від декількох хвилин до 10 год і більше. Переважають грози тривалістю менше двох годин [11, 12].

Найбільша тривалість гроз відмічається у Селятині (160 год), що зумовлено своєрідністю розташування (високогірна станція). Результати дослідження синоптичних і термодинамічних умов формування тривалих та інтенсивних гроз на території Карпат представлені у [7]. Автори з'ясували, що такі грози утворюються як у центральній частині циклону, так і на холодному фронті з хвилями, що розміщуються зазвичай уздовж фронтальної зони в напрямку з південного заходу на північний схід. У тому випадку, коли улоговина над Карпатами виявляється «затиснутою» з двох сторін антициклонами, грозова діяльність уздовж фронту може тривати кілька днів. У разі формування та проходження глибокої баричної улоговини, з якою пов'язаний холодний фронт, в Українських Карпатах спостерігаються сильні зливи та грози.

Найактивнішою грозова діяльність є після полудня та ввечері. Проте нічні грози маловивчені в Україні. Радіолокаційні характеристики нічних гроз у Причорномор'ї, які були виявлені та локалізовані за допомогою розробленого критерію було досліджено у [6]. Згідно із [6], нічні грози у Причорномор'ї є достатньо частим явищем і їх можна поділити на три групи: грози, які виникають безпосередньо у нічний час – 33% від усіх нічних гроз; денні грозоградові процеси, які зберігають активність і у нічні години – 58%, і потужні, які спостерігаються протягом тривалого часу (добу, іноді дві, три доби) – 9%.

Прогнозування та моделювання гроз. Існує декілька методик прогнозу гроз. Для внутрішньомасових гроз суть всіх їх зводиться до врахування стану повітря біля земної поверхні та на всіх доступних інструментальним вимірюванням висотах у ранні ранкові години і визначення зміни цього стану в денний час при максимальному нагріванні земної поверхні сонячними променями. Для цього потрібні дані про температуру, вологість повітря, атмосферний тиск та вітер біля поверхні землі і на висотах, тобто матеріали приземних і аерологічних спостережень (радіотемпературного і радіовітрового зондування атмосфери), а також карти погоди – приземні та висотні.

На спеціальному бланку аерологічної діаграми синоптики зазвичай за даними нічного радіозондування будують дві криві – фактичного і очікуваного вдень стану атмосфери (крива стратифікації і крива стану). Зіставивши положення цих двох кривих і оцінивши розміри площі між ними на діаграмі, синоптик може кількісно оцінити ступінь нестійкості повітря і очікуваний вдень рівень прояву цієї нестійкості [29].

Дані спостережень наземної мережі метеостанцій та метеорологічних радіолокаторів є важливим джерелом інформації про погодні умови над певною територією і разом із приземними метеорологічними спостереженнями та аерологічним зондуванням використовуються для валідації супутникової інформації щодо вогнестійкості хмар, кількості та інтенсивності опадів і метеорологічних явищ. Оскільки середній розмір окремого грозового осередку, як правило, суттєво менший

за середню відстань між метеостанціями (на рівнинній місцевості ~50-60 км), є підстави припускати, що частина грозових осередків не реєструється мережею метеостанцій. У зв'язку з цим проведено ряд досліджень [23, 24, 26] та виконано оцінку ефективності мережі спостережень за геометричними параметрами грозових осередків. Ця оцінка дозволяє визначити відсоток грозових осередків, що були виявлені ДМРЛ та при цьому пройшли над (принаймні) однією із станцій мережі, розташованих у 150-кілометровій зоні навколо ДМРЛ протягом строку. За розглянутий період наземна мережа реєструвала лише кожне третє явище. Отриманий результат є попереднім, але в цілому характеризує можливості існуючої мережі метеостанцій. Значення ефективності мережі, ймовірно, можуть змінюватися в залежності від просторово-часових характеристик гроз.

У світі створено безліч різноманітних фізико-статистичних параметрів (індексів, предикторів) нестійкості, у яких конвективні процеси описуються не на пряму, а опосередковано. Це означає, що на основі даних про швидкість і напрямок вітру, вологості й температури повітря на певних висотах або ізобаричних поверхнях розраховуються характеристики, за якими визначається ймовірність виникнення того чи іншого конвективного явища. Більшість індексів розроблено для прогнозу наявності чи відсутності грози як комплексу метеорологічних явищ, пов'язаних із розвитком купчасто-дощових хмар (наприклад, індекс Вайтинга) [3]. Виділяють [3] індекси, які засновані на методі частки (LI, CAPE, CIN), параметрах вітру на різних висотах чи ізобаричних поверхнях (LLS, DLS, SRH), температурно-вологісних характеристиках атмосфери (K Index, EPI), комплексі трьох перших підходів (DCI, Thompson Index, SCP, MCS, SWEAT, VIMFC). Найчастіше формули для їхнього розрахунку включають у себе індекси із перших трьох груп. У [4] розглянуті базові принципи розробки розрахункових методів, прогностичних параметрів та індексів, які використовуються у схемі класифікації, із урахуванням їх лімітних значень, які визначають діагностування інтенсивності конвективних процесів у атмосфері. Кількісна оцінка прогностичних методів, які використовуються в оперативному прогнозуванні гроз, дозволила визначити доцільність використання сучасних і надійних параметрів таких як, параметр Вайтинга (K), енергія нестійкості (CAPE), індекс нестійкості (LI).

Складання прогнозу грози вимагає, крім володіння методами, ще й досвід, хорошого знання місцевих умов і всіх особливостей грозової діяльності в кожному сезоні та у кожній типовій ситуації.

Для великої території грози можуть бути передбачені досить надійно за добу, що дозволяють зробити карти погоди. А для населеного пункту ж прогноз гроз за добу не може вважатися надійним. У цьому випадку потрібні уточнення і деталізація добового прогнозу гроз на основі аналізу аерологічної діаграми, тобто даних радіозондування за нічний або ранній ранковий термін спостережень. Тому завчасність складання надійного прогнозу скорочується до 9-6 год [29].

Уточнити прогноз можна і за даними метеорологічних радіолокаторів і грозопеленгаторів. Ці прилади фіксують грозові осередки, які вже виникли, допомагають визначити їхнє переміщення, а отже, і дати попередження про наближення грози за кілька годин до її приходу до населеного пункту, який нас цікавить. У 2016 році співробітниками УкрГМІ був створений Український сегмент мережі грозопеленгації компанії EarthNetworks (США), який є першою системою встановленою на території України, яка дозволяє у реальному режимі часу відслідковувати грозову активність. Відповідні датчики були встановлені на 12 метеорологічних станціях по території України. Ці датчики дозволяють із високою точністю фіксувати як міжхмарні, так і розряди земля-хмара, що підтверджено порівнянням із даними метеостанцій. Система грозопеленгації надає не лише

інформацію про поточні грози та блискавки, але і можливість попередити надходження грозового фронту [14]. Як приклад, на рис. 1 зображена карта грозових осередків, яка отримана за допомогою даної системи.

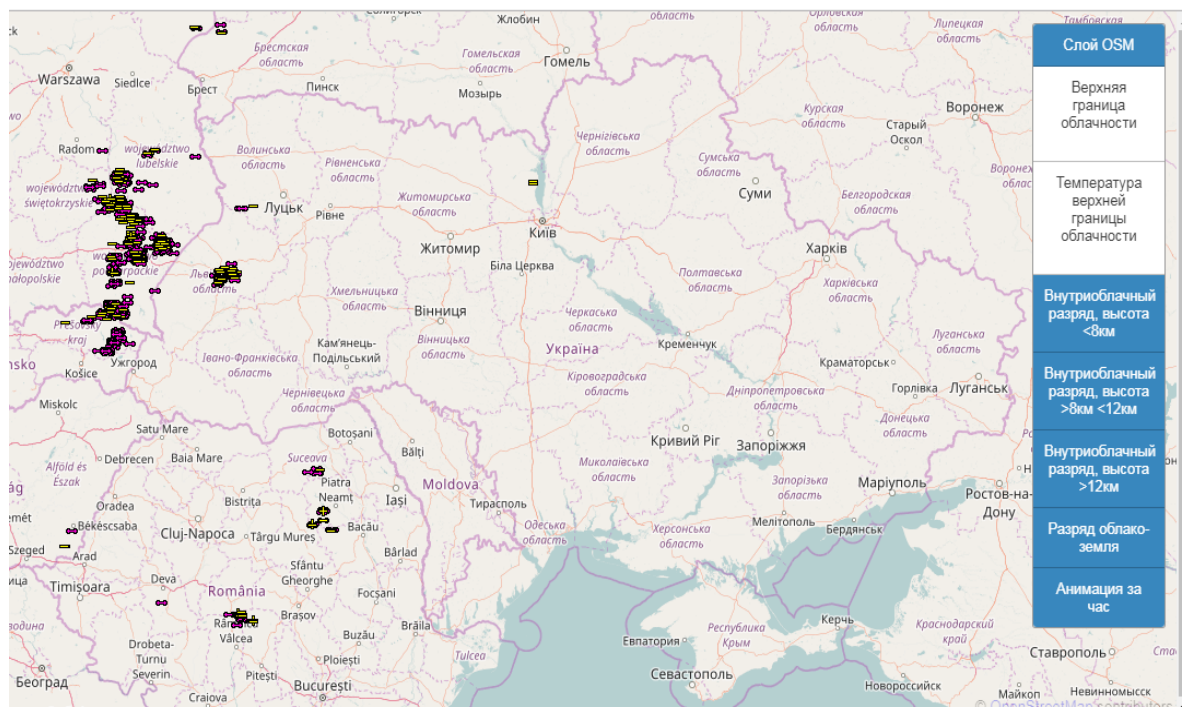


Рис. 1. Карта грозових осередків за 21 липня 2017 р. (17 год за київським часом), отримана за допомогою системи грозопеленгації [30]

Ефективним інструментом дослідження є чисельні моделі. На сьогодні вже накопичений значний досвід створення чисельних моделей різного рівня складності. Сформульовані системи одно-, дво-, і трьохвимірних моделей окремої конвективної хмари, використовуються також макромасштабні та мезомасштабні моделі полів хмар [31]. Протягом останніх десятиліть моделі чисельного прогнозування погоди (NWP) зарекомендували себе як надзвичайно ефективний інструмент у щоденній практиці операційних центрів прогнозування по всьому світу. Точність таких моделей, як правило, вище, ніж точність синоптичних прогнозів, особливо коли мова йде про їх просторову та часову дискретизацію. У [26] представлені результати чисельних експериментів, які дозволяють покращити розуміння можливостей прогнозу грози за допомогою моделей NWP та розкрити деякі аспекти його оцінки, а також показані особливості приземних та радарних спостережень гроз. Було визначено, що приземна мережа реєструє ~ 30% гроз.

Перевірку адекватності моделювання стану атмосфери за допомогою моделі WRF, яка використовується Українським гідрометеорологічним інститутом ДСНС України та НАН України в оперативному режимі, виконано у [10]. До загальних недоліків моделювання вибраних ситуацій автори відносять наявність постійних відхилень моделі, які виражені в заниженості тиску у циклонах та переоцінці кількості опадів порівняно із фактичною.

Для вивчення термодинамічних умов еволюції купчастих хмар у [18] використовувалась тривимірна прогностична модель. Завдяки цій моделі було встановлено, що розвиток купчастої хмарності супроводжується збільшенням значень вертикальних рухів і те, що на висоті це відбувається більш інтенсивно, ніж поблизу земної поверхні. При порівнянні просторового розподілу псевдопотенційної температури з просторовим розподілом висхідних рухів було отримано, що майже

завжди інтенсивні вертикальні рухи приурочені до зон значних вертикальних градієнтів псевдопотенційної температури.

На сьогодні у багатьох країнах світу особливого значення набуває розвиток систем прогнозування погоди на близькі строки у зв'язку зі зростанням попиту на такого роду прогностичну продукцію. Прогнозування із завчасністю від 0 до 2 годин називається «*nowcasting*» або поточне прогнозування (прогноз погоди). *Nowcasting* базується на даних спостережень, тому ця технологія добре розвинута у країнах із щільною мережею радарних спостережень. Країни, що розвиваються, будують систему *nowcasting* перш за все на даних супутникового аналізу та чисельних моделей прогнозу погоди.

На підтримку *nowcasting* та надкороткострокового прогнозування (НКП) у грудні 1996 р. був створений сервіс NWC SAF. Продукти даного сервісу базуються на даних європейських супутників MSG (геостаціонарні) та PPS (полярно-орбітальні). Один із таких продуктів – Швидкий Розвиток Гроз (Rapid Development Thunderstorm), запропонований у Meteo-France у рамках програми EUROMETSAT SAF. Він використовується з метою ідентифікації, моніторингу та відстеження траєкторій інтенсивних конвективних хмарних систем, а також виявлення конвективних осередків, що швидко розвиваються. Даний продукт створений для прогностиків, але може бути використаний також у дослідницьких цілях [16].

Висновки. Таким чином, особливості розподілу гроз та їхнє прогнозування вивчалися не одним поколінням дослідників. Для цього вони використовували найрізноманітніші методи. Можна виділити такі напрями досліджень: синоптичний, кліматичний та чисельне моделювання. Проте інтерес до цієї проблеми не вщухає, адже на фоні глобального потепління відмічається зростання випадків небезпечних природних явищ, зокрема, і грозової активності. Синоптичні дослідження відходять на другий план, при цьому збільшується число експериментів, проведених за допомогою чисельних моделей, які є ефективним інструментом не лише для моделювання гроз, але і для їхнього прогнозування. Але ще при введенні вхідних даних можуть виникати деякі труднощі: первинна інформація, яка надходить із метеорологічних станцій неповною мірою відображає дійсну кількість гроз, оскільки через велику відстань між станціями зафіксувати всі їх випадки грози на території України нереально. Тому задля найціліснішої картини потрібно використовувати ще дані радіолокаторів, грозопеленгаторів та супутників, завдяки яким можна уточнювати прогноз.

Грози нерозривно пов'язані із купчасто-дощовими хмарами, через що дуже важливим є вивчення властивостей цих хмар. Виходячи з цього, перспективним напрямком є вдосконалення моделей конвективних хмар, насамперед для дослідження електричних процесів всередині хмар та вплив цих процесів на фазові переходи вологи та коагуляцію хмарних елементів.

Список літератури

1. Балабух В.О. Регіональні особливості розподілу небезпечних і стихійних конвективних явищ погоди при переміщенні на Україну циклонів і фронтів з північною складовою наприкінці ХХ ст. Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища, 2002: / Матеріали міжнародної наукової конференції. Одеса: ОДЕКУ. С.31-36. 2. Балабух В.О., Лавриненко О.М. Особливості мезомасштабної циркуляції, що обумовлює небезпечні і стихійні конвективні явища погоди та її зміна наприкінці ХХ ст. Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища. 2002: / Тези доповідей міжнародної наукової конференції. Одеса: ОДЕКУ. С.77-78. 3. Быков А.В., Ветров А.Л., Калинин Н.А. Прогноз опасных конвективных явлений в Пермском крае с использованием глобальных прогностических моделей. Труды Гидрометцентра России, 2017. Вып. 363. С. 101-119. 4. Гусейнов Н. Ш., Шпиг В. М., Меликов Б. М. Диагностические параметры условий формирования гроз.

Фізична географія та геоморфологія, 2013. Вип. 4(72). С. 117–126. **5.** Данова Т.Е., Мацук Ю.М. Динаміка повторюваності гроз на території України по результатам компонентного аналізу. Наук. праці УкрНДГМІ, 2013. Вип. 264. С. 18–23. **6.** Данова Т.Е. Радиолокаційні характеристики нічних гроз в Причорномор'є. Вісник Одеського державного екологічного університету, 2008. Вип. 12. С. 137–141. **7.** Данова Т.Е., Мацук Ю.М. Тривалі та інтенсивні грози над Карпатами. Фізична і конструктивна географія, 2013. Вип.16 (265). С. 55–61. **8.** Заболоцька Т. М., Підгурська В. М., Шпиталь Т. М. Грозова діяльність на території України. Наук. праці УкрНДГМІ, 2007. Вип. 256. С. 92–98. **9.** Заболоцька Т. М., Шпиталь Т. М. Характеристика умов розвитку тривалих злив та гроз у різні сезони 2012 року. Наук. праці УкрНДГМІ, 2012. Вип. 263. С.44–65. **10.** Івус Г.П., Пишняк Д.В., Шпиг В.М. Оценка восстановления состояния атмосферы при прохождении холодных фронтов в модели WRF ARW. Вісник Одеського державного екологічного університету, 2010. Вип. 9. С. 92–102. **11.** Клімат Києва: [монографія]. / ред. Л. И. Сакали. Л. : Гидрометеиздат, 1980. 288 с. **12.** Клімат України / ред. Г. Ф. Прихотько, А. В. Ткаченко, В. Н. Бабіченко. Л. : Гидрометеиздат, 1967. 413 с. **13.** Клімат України / ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. К. : Вид-во Раєвського, 2003. 345 с. **14.** Кривобок О.А., Кривошеин А.О. Новые технические и технологические возможности мониторинга за особо опасными явлениями погоды. Тези доповідей Першого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду. Одеса: ТЕС, 2017. С. 258–259. **15.** Мацук Ю.М. Зміни грозової активності на території України в ХХ та на початку ХХІ сторіччя. Вісник Харківського національного університету. Серія «геологія – географія – екологія», 2013. Вип. 39 (1084). С. 147–151. **16.** Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни “Мезометеорологія та наукастінг” / укладач Семенова І.Г. Одеса: ОДЕКУ, 2012. 40 с. **17.** Пишняк Д.В., Шпиг В.М., Івус Г.П. Мезомасштабная доступная потенциальная энергия фронтального раздела как характеристика его конвективной и грозовой активности. Вісник Одеського державного екологічного університету, 2014. Вип. 17. С. 67–77. **18.** Лесков Б. Н., Пірнач Г. М., Сирота М. В., Шпиг В. М. Смерчі у Криму 22 липня 2002 року. Наук. праці УкрНДГМІ. 2007. Вип. 256. С. 75–91. **19.** Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.). / За редакцією В.М. Ліпінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. К.: Ніка-Центр, 2006. 312 с. **20.** Супутникова метеорологія: Конспект лекцій. Одеса: Екологія, 2008. 77 с. **21.** Холопцев А.В., Мацук Ю.М. Анализ современных тенденций пространственно-временной изменчивости повторяемости грозовых дней в Украине. Людина та довкілля. Проблеми неоекології, 2012. № 1–2. С. 14–19. **22.** Холопцев А.В., Нікіфорова М.П. Особенности статистической связи межгодовых изменений среднемесячных значений общего содержания озона и индексов грозовой активности над Украиной. Вісник Одеського державного екологічного університету, 2011. Вип. 12. С. 131–138. **23.** Шпиг В.М., Будак І.В. Сравнительная оценка радиолокационных и наземных данных наблюдений грозы. Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата: материалы Международной научн. конф., 2015. Минск, 2015. **24.** Шпиг В.М., Будак І.В. Перехресна перевірка радіолокаційних даних та наземних спостережень щодо грози та граду. / Тези доповідей Першого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду / Одеськ.держ.екол.-ний ун-т. Одеса : ТЕС, 2017. С. 295–296. **25.** Shpyg V., Pishniak D. Application Semi-Lagrangian Advection for Estimation Energy Transition in the Atmosphere. 12th EMS Annual Meeting and 9th European Conference on Applied Climatology (ECAC). 2012.. Lodz, Poland. **26.** Shpyg V., Budak I. WRF Reflectivity Simulation and Verification of Thunderstorm Forecast by Radar and Surface Observation. 16th International Radar Symposium (IRS). 24–26 June 2015. Dresden, Germany. **27.** <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B0>. **28.** http://e-lib.gasu.ru/eposobia/shitov1/R_1_1.html. **29.** <http://pogoda.by/glossary/?id=40>. **30.** <http://entln.uhmi.org.ua/>. **31.** <https://www.kommersant.ru/doc/2735512>.

Просторово-часові особливості розподілу гроз на території України та їх прогнозування: сучасний стан питання та перспективи розвитку

Гуда К. В., Остроградська О. С.

Дається огляд сучасного стану досліджень та способів прогнозування розподілу гроз як у просторі, так і в часі на території України та вивчаються аспекти перспективи подальшого

розвитку даної тематики.

Ключові слова: гроза; атмосферний фронт; прогнозування гроз.

Пространственно-временные особенности распределения гроз на территории Украины и их прогнозирование: современное состояние вопроса и перспективы развития

Гуда Е. В., Остроградская О. С.

Дается обзор современного состояния исследований и способов прогнозирования распределения гроз как в пространстве, так и во времени на территории Украины и изучаются аспекты перспективы дальнейшего развития данной тематики.

Ключевые слова: гроза; атмосферный фронт; прогнозирование гроз.

Spatial and temporal distribution features of thunderstorms on the territory of Ukraine and their forecasting: the current state of the issue and development prospects

Huda K. V., Ostrogradska O. S.

Thunderstorms are one of the most complex atmospheric phenomena, the characteristic feature of which is the close connection and interdependence of meteorological and electrical processes. The formation of large volumetric charges and, correspondingly, strong electric fields is accompanied by intense lightning discharges between clouds and the cloud and the surface. According to official statistics, thunderstorms occupy the second place among the natural factors that threaten human life, and their activity causes significant losses to various sectors of the economy and influences to the dynamics of ecosystems. Therefore, the problems of research and, in particular, the forecasting of thunderstorms are relevant and rather complicated tasks not only of meteorology, but also related sciences.

Features of the distribution of thunderstorms and their prediction were studied by not one generation of researchers. To do this, they used a variety of methods, including synoptic, climatic and numerical simulations. However, the interest in this problem does not disappear, because in the background of global warming there is an increase in cases of dangerous natural phenomena, including thunderstorm activity. Synoptic studies go to the background, with more experiments, using numerical models, which are an effective tool for modeling thunderstorms, but also for their prediction. But even during entering of input data, some difficulties may arise: primary information coming from meteorological stations is not complete, because of a great distance between stations it is impossible to record all thunderstorms on the territory of Ukraine. Therefore, for the sake of the most comprehensive picture, it is necessary to use the data of radars, lightning direction finders and satellites, which can be used to refine the forecast.

Thunderstorms are inextricably linked with cumulonimbus clouds, which makes it very important to study the properties of these clouds. Proceeding from this, the perspective direction is to improve the models of convective clouds, primarily for the study of electrical processes inside the clouds and the effect of these processes on the phase transitions of moisture and coagulation of cloudy elements.

Keywords: thunderstorm; atmospheric front; thunderstorms forecasting.

Надійшла до редколегії 23.05.2017

УДК 556.551.3/.4; +556.561.3/.4; 628.1.03

Осипов В.В.

Український гідрометеорологічний інститут, м. Київ

ОБҐРУНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД УКРАЇНИ БІОГЕННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Ключові слова: евтрофікація, нітроген, фосфор, моделювання, SWAT

Вступ. Активне використання водних ресурсів у процесі функціонування людського суспільства призводить до ряду негативних екологічних наслідків, серед яких важливу роль відіграє порушення балансу організмів водної екосистеми за рахунок масового розвитку водоростей і вищих водяних рослин, добре відоме під терміном евтрофікація. Це явище призводить до погіршення фізичних, фізико-хімічних і органолептичних властивостей води і обмежує її подальше використання. Відомо, що перехід водних об'єктів до евтрофного стану може бути викликаний як

природними, так і техногенними процесами, серед яких за швидкістю, інтенсивністю та просторовим охопленням, безумовно, домінуюча роль належить антропогенному чиннику.

На початковому етапі боротьбу з підвищеною продуктивністю водних об'єктів в основному було направлено на подолання наслідків. Біомасу водоростей фізично збирали і вилучали з водного об'єкта, або обробляли плями «цвітіння» хімічними реагентами (мідним купоросом, окремими видами пестицидів, коагулянтами) з метою загальмувати подальше зростання біопродуктивності. Практична реалізація зазначених заходів показала їхню недостатню ефективність і згодом основні зусилля щодо боротьби з евтрофікацією зосередились на попередженні її виникнення. Головним завданням було запобігти збільшенню або знизити надходження до водних об'єктів елементів, які є пусковим механізмом масового розвитку водоростей, а саме, сполук нітрогену та фосфору. В англійській літературі ці елементи відносяться до групи *nutrients*, тобто поживних елементів, що прямо відображає їхню роль у водних екосистемах.

До основних факторів, що обумовлюють надходження зазначених біогенних елементів, відносяться скидання стічних вод комунальних, промислових і сільськогосподарських підприємств; неконтрольоване використання добрив з подальшим змивом дощовими і талими водами, а також зарегулювання річкового стоку.

Розробка методів кількісної оцінки поточного стану та прогнозування стоку сполук нітрогену та фосфору, а також визначення домінуючих джерел їхнього надходження є важливим завданням регулювання забруднення поверхневих вод біогенними елементами, а також управління евтрофікацією водних об'єктів.

Актуальність цього завдання для України у багато разів підвищилася фактом підписання угоди про асоціацію з ЄС і взятими нашою країною зобов'язаннями щодо впровадження основних законодавчих актів ЄС у галузі водної політики (Водної рамкової директиви, директиви про стічні води міст, директиви з нітратів та ін.).

Стан питання. До теперішнього часу винесення елементів з водозбірної площі в Україні переважно оцінювалось розрахунковим шляхом. Не заглиблюючись в усі сильні і слабкі сторони вказаного підходу, відзначимо, що його застосування дає можливість отримання оцінок лише *a posteriori*. Згідно з чинним регламентом гідрохімічних спостережень, отримані дані генеруються в межах кварталу або року у цілому і дають можливість лише відобразити картину забруднення, що вже склалася. У той час, як для розробки заходів попередження евтрофікації і прийняття управлінських рішень на перший план виходить необхідність прогнозування.

Серед існуючих підходів вирішення цього завдання відзначимо статистичний, балансовий методи або використання фізико-математичних моделей, які адекватно описують процес надходження у водний об'єкт сполук нітрогену і фосфору.

Вибір методології прогнозування залежить від необхідної точності, завчасності, домінуючих шляхів і характеру надходження досліджуваних речовин.

На останньому зупинимося більш детально. За характером надходження сполук нітрогену та фосфору виділяють точкові і дифузні (розподілені) джерела [13, 14]. До перших відносяться місця організованого скидання урбанізованих, промислових або сільськогосподарських вод. Кількість забруднювальних речовин від таких джерел має відносно стабільні показники, рівномірно розподілені у часі і законодавчо контролюється через державну статистичну звітність ЗТП-Водгосп. Основним заходом впливу на такі джерела є підвищення рівня очищення стічних вод і лімітування обсягів їх скидання.

Дифузні джерела, навпаки, дуже динамічні, зміни їхніх характеристик нестационарні, спостерігаються через довільні інтервали, що перемежуються.

Величина навантаження від такого джерела тісно пов'язана з гідрометеорологічними умовами, в першу чергу, атмосферними опадами.

З посиленням природоохоронного законодавства і вдосконаленням технологій виробництва та очищення стічних вод у багатьох розвинених країнах світу забруднення від точкових джерел стало відходити на другий план у порівнянні з часткою дифузних джерел. Так, дослідження, проведені у басейні р. Дунай, показали, що 46% загального винесення нітрогену і 28% фосфору змиваються саме з поверхні водозбору [8].

Забруднення водних об'єктів від дифузних джерел багато в чому визначається функціонуванням водозборів як гідрологічних систем, що забезпечують основні шляхи транспортування речовин [4, 6]. Для аналізу і прогнозування поведінки таких систем, провідні позиції завоювало математичне моделювання, що дозволяє вирішувати діагностичні, прогнозні завдання, проводити оцінки можливих змін під впливом кліматичних змін і діяльності людини.

Мета роботи – на підставі огляду наявних на сьогоднішній день моделей надходження і транспорту біогенних елементів (сполук нітрогену та фосфору), а також оцінки досвіду їх застосування у різних країнах **запропонувати найбільш оптимальну модель** для економічних, фізико-географічних умов України, а також її інформаційних можливостей, і провести апробацію запропонованої моделі на окремому водозборі.

Сучасні технології прогнозування винесення елементів з водозбірної території. На сьогоднішній день існує безліч моделей для контролю якості водних ресурсів. За даними авторів [5, 19] вже в 2005 р. кількість моделей, які знайшли своє застосування на різних континентах, перевищило 7 десятків.

За типом опису процесу наявні моделі розділяються на концептуальні (статистичні, емпіричні), які описують тільки найбільш значущі взаємозв'язки [17], і фізичні, що ґрунтуються на фізичних, хімічних і біологічних уявленнях перебігу процесів [10]. Спочатку практика моделювання ґрунтувалася на моделях із зосередженими параметрами (0 мірних) з подальшим розвитком перейшли до одновимірних (1D), двовимірних (2D), тривимірних (3D) моделей [22].

За типом об'єкта, що моделюється, розрізняють моделі, які описують гідрологічні процеси на поверхні водозбору (watershed), або моделі, сфокусовані головним чином на процеси, що протікають у русловій мережі (receiving water models) [19].

Серед інших характеристик важливо відзначити часове розділення (від року до хвилин), площу охоплення (від поля до системи водозборів), перелік елементів, надходження яких моделюється, тощо [19].

Існують також комплексні моделі, що представляють пов'язану систему з кількох окремих моделей. Наприклад, BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources) – розробка агентства по захисту навколишнього середовища США, включає 7 моделей: HSPF, AQUATOX, Pollutant Loading Estimator, SWAT, SWMM, WASP, GWLF [2].

Як правило, чим складніше модель, яка має детальнішу фізичну основу з великою кількістю описуваних процесів та значним числом просторових вимірів, тим більший обсяг вихідних даних і ресурсів (часових, фінансових, професійних) буде потрібно для її роботи. Відповідно, вибір найскладнішої і комплексної програми не завжди виявляється ефективним для розв'язання проблеми у конкретних умовах.

Для вирішення поставленого завдання необхідно визначити перелік параметрів, які необхідно отримати на виході, проаналізувати характеристики об'єкта дослідження, доступні вихідні дані, оцінити ресурси і на основі цього сформулювати критеріальну базу відбору моделі.

Обґрунтування вибору моделі. В якості основного об'єкта апробації моделі обрано водозбір р. Головесня, правої притоки р. Десна, що представляє собою неурбанізовану територію площею 30,4 км². На території басейну розташовані пости спостереження Придеснянської водно-балансової станції (ВБС), в результаті чого було накопичено багаторічний архів щоденних спостережень за опадами, температурою повітря та ґрунту, вологістю, швидкістю вітру, хмарністю, а також щоквартальними величинами сонячної радіації, відомостями щодо використання земель.

Критеріальною базою для вибору оптимального алгоритму оцінки змиву нітрогену і фосфору були:

- просторове охоплення – водозбір;
- часовий інтервал – як мінімум 1 день;
- опис гідрологічних процесів – моделювання поверхневого, латерального і ґрунтового стоку;
- опис процесів перерозподілу сполук нітрогену та фосфору у системі «тверда фаза – вода». У цьому випадку для вибору моделі відігравали роль наступні параметри: транспорт біогенних елементів, оцінка щоденного сумарного навантаження за нітрогеном і фосфором і їхньої загальної концентрації у воді, концентрація нітратних, амонійних, фосфатних іонів;
- можливість варіювати показниками землекористування і сільськогосподарською практикою (застосування добрив, полив, терміни посіву, збирання тощо).

Зазначеним вимогам задовольняли наступні програми [9,18–20]: індивідуальні – AnnAGNPS, HSPF, INCA, SHETRAN, SWAT, WAM (раніше WAMView) і системні – BASINS (включає SWAT), MIKE SHE, TOOLBOX (включає WAM), WMS.

Для оцінки необхідних професійних, трудових і фінансових ресурсів з імплементації зазначених моделей було проведено порівняння за такими параметрами: наявність досвіду роботи, витрати часу на апробацію, обсяг вихідних даних, можливість технічної підтримки, вартість [1, 18, 19] (табл. 1).

З огляду на відсутність апробації даних моделей на території пострадянських країн, тобто низький професійний потенціал, відсутність в Україні достатніх фінансових ресурсів і середній набір вихідних даних (відсутні або недостатні дані про фізичні та хімічні параметри води, які вимірюються безпосередньо на території водозбору), для подальшого аналізу було обрано моделі AnnAGNPS, INCA, SWAT.

Модель AnnAGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution Model) не описує ґрунтовий стік [9], що є істотним недоліком, оскільки для річок України ґрунтова складова досить істотна.

Модель INCA (Integrated Catchment Model) серед форм нітрогену описує лише найбільш важливі, N-NH₄⁺ і N-NO₃⁻ [14], а її просторова роздільна здатність у 1 піксель = 1 км² недостатня для малих водозборів [21].

Виходячи з наведених аргументів, вибір був зупинений на моделі SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

Зазначена модель розроблена під керівництвом Д. Арнольда для Служби сільськогосподарських досліджень (ARS) міністерства сільського господарства США (USDA), активно підтримується на федеральному рівні і постійно розвивається. SWAT має фізичну основу та комплексно описує процеси, які відбуваються на водозборі та у водоприймачі (річка, озеро), хоча процеси гідродинаміки у ній істотно спрощені. SWAT, у першу чергу, орієнтована на аграрні регіони, а процеси на урбанізованій території представлені поверхово. Незаперечною перевагою моделі є наявність широко спектру можливостей підбору різних видів сільськогосподарських культур і рослинного покриву, практик

землеробства (застосування органічних і неорганічних добрив, полив, оранка тощо) [12].

Таблиця 1 Порівняльна характеристика відібраних моделей

Назва моделі	Досвід	Витрати часу на апробацію	Обсяг вихідних даних	Можливість технічної підтримки	Вартість
AnnAGNPS	○	●	●	●	●
BASINS	○	○	○	●	●
HSPF	-	-	○	●	●
INCA	○	●	●	●	○
MIKE SHE	-	-	○	●	- (>3000\$)
SHETRAN	-	-	○	●	○
SWAT	○	●	●	○	●
TOOLBOX	○	○	○	●	●
WAM	○	-	○	○	○
WMS	-	○	○	○	- (5600\$)

Примітка.

Досвід:

- значний обсяг навчання або досвід у моделюванні (як правило, є потреба у професійному досвід зі складними водозбірними або/і гідродинамічними моделями)
- посередній обсяг навчання (передбачається деякий досвід з базовими моделями якості води)

Витрати часу на освоєння:

- дуже високі
- високі
- середні

Обсяг вихідних даних:

- високий
- середній

Можливість технічної підтримки:

- середня
- висока

Вартість:

- значна
- безкоштовна з обмеженим доступом (за запитом, реєстрація тощо)
- безкоштовна у публічному доступі

Додатковими перевагами моделі SWAT у порівнянні з іншими моделями є:

- детальна і якісна документація (теоретична частина та вихідні дані);
- відсутність обмежень за величиною водозбору – підходить як для малих (<1 км²), так і дуже великих басейнів;
- сумісність з сучасними ГІС пакетами (ArcGIS і безкоштовний MapWindow GIS);
- наявність зовнішньої програми автокалібрування SWAT-CUP, яка також знаходиться у публічному доступі;
- входить до складу системної моделі BASINS, що дозволяє використовувати SWAT у комплексі з іншими програмами для вирішення більш широкого кола завдань.

Завдяки всім вищевказаним характеристикам, а також балансу між вхідною інформацією і одержуваним результатом, SWAT міцно утримує перше у світі місце за частотою використання. Як показав аналіз публікацій за період 1992–2010 рр., модель SWAT застосовувалась у 46% випадків, INCA – 12%, AnnAGNPS – 9%, HSPF – 8%, решта (37 моделей) – 25% [21].

Обговорення результатів. Для просторової реалізації моделі підготовлено наступні матеріали: цифрова модель рельєфу басейну р. Головесня, отримана за даними SRTM [7]; цифрова карта типів ґрунтів [3], векторна полігональна карта землекористування за даними знімків Google Earth, дані про фізичні характеристики ґрунтів.

Як відомо, масоперенос речовин у межах водозбору залежить від

характеристик основного носія – водного стоку. У зв'язку з цим першочерговим завданням з налаштування моделі SWAT було отримання гідрографа стоку. Калібрування моделі було виконано на прикладі водозбору р. Головесня за даними щоденних спостережень ВБС. В якості тестового був обраний 2010 рік. Отриманий гідрограф стоку представлено на рис. 1.

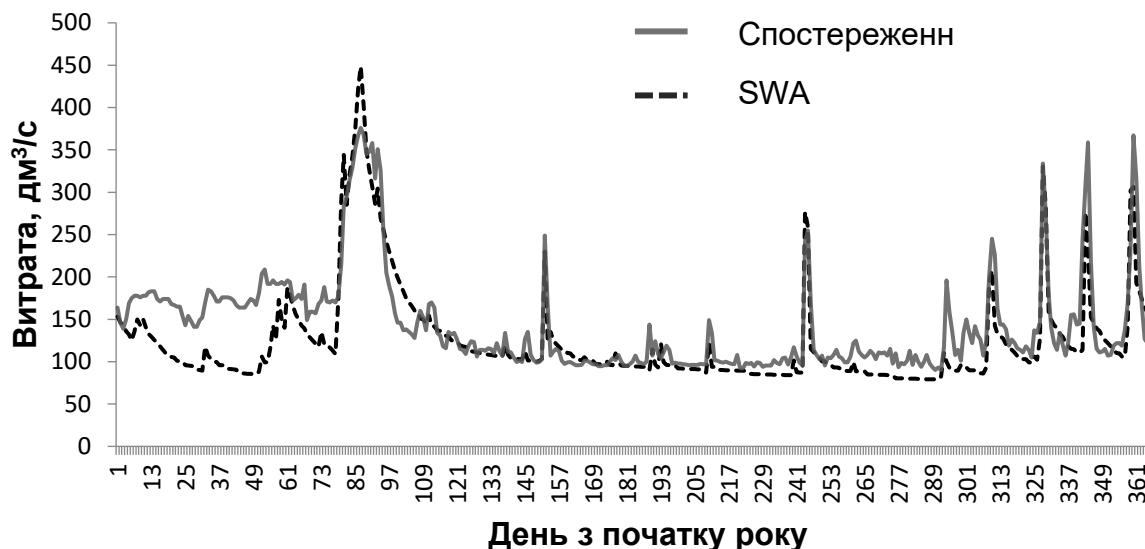


Рис. 1. Хронологічний хід водного стоку р. Головесня за даними натурних спостережень та моделювання засобами SWAT (2010 р.)

Ефективність моделювання гідрографа стоку оцінювали на підставі критерію Неша-Саткліфа. Його величина для розрахункового року склала 0,6, що перевищує межу задовільної відповідності (0,5), але було трохи нижче межі доброї відповідності (0,65) [11]. Значення коефіцієнта парної кореляції склало 0,85, що свідчить про істотний зв'язок між реальними і змодельованими значеннями витрат води. Середнє відхилення склало 11,9%, що, в цілому, дещо перевищило допустимий показник варіабельності, який становить 10%. Основною причиною недостатньої точності є зимовий період, що обумовлено більшою кількістю чинників, які впливають на гідрологічний режим у період водопілля (танення снігу, рівномірність і ступінь промерзання ґрунту, мокрий сніг тощо).

Алгоритм моделювання загального стоку SWAT включає три складових, які залежать від умов стікання води: поверхневий стік, латеральний і підземний. Також враховуються процеси, пов'язані з евапотранспірацією.

Величина поверхневого стоку визначається за кривими емпіричної залежності між стоком і опадами, отриманими на експериментальних водозборах США:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)} \quad (1)$$

де Q_{surf} – поверхневий стік (мм); R_{day} – опади за день (мм); S – параметр утримання (мм H_2O), який розраховується за формулою:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2)$$

де CN – номер залежності (curve number) «опадів – поверхневий стік» у даний день. Параметр утримування є непостійним через зміну вмісту води у ґрунті, а також варіює при зміні типу ґрунту, характеру землекористування, нахилу.

Моделювання латерального стоку у SWAT засновано на кінематичній моделі нерозривності потоку [16]. Моделювання стоку реалізується у двох напрямках: у поперечному перерізі вниз по схилу і у горизонтальному до найближчого водоносного горизонту, який дронується річкою. Витрата латерального стоку, Q_{lat} (мм/день), розраховується за формулою:

$$Q_{lat} = 0,024 \cdot \left(\frac{2 \cdot SW_{ly,excess} \cdot K_{sat} \cdot slp}{\phi_d \cdot L_{hill}} \right), \quad (3)$$

де $SW_{ly,excess}$ – надлишок води у шарі ґрунту у стані повного насичення, K_{sat} – коефіцієнт фільтрації у момент насичення (мм/година), slp – зростання висоти від сегмента до сегмента, ϕ_d – пористість ґрунтового шару, який дронується, L_{hill} – довжина схилу (м).

Для опису процесу поповнення ґрунтових вод використовується функція експоненціального затухання [15]:

$$w_{rchrg,i} = (1 - \exp[-1/\delta_{gw}]) \cdot w_{perc} + \exp[-1/\delta_{gw}] \cdot w_{rchrg,i-1}, \quad (4)$$

де $w_{rchrg,i}$ – кількість води, яка надійшла у водоносний шар за день i (мм), δ_{gw} – час затримки або час дронування верхніх геологічних порід (доба), w_{perc} – кількість води, що просочилася з нижнього шару ґрунтового профілю за день i (мм), $w_{rchrg,i-1}$ – кількість води, що надійшла у водоносний шар за день $i-1$ (мм).

Також оцінюється кількість води, яка надійшла в глибші горизонти, які не беруть участі у живленні річки.

Для імітації процесу сніготанення у SWAT варіювали такими параметри як температура випадіння опадів у вигляді снігу, температура початку танення снігу, швидкість танення, фактор запізнювання танення снігового покриву. У результаті ручного калібрування за вищевказаними параметрами було проведено порівняльний аналіз змодельованих запасів води у снігу та даних натурних спостережень. Встановлено, що модель достовірно описує кількість запасів води у снігу, а критерій Неша-Саткліфа при цьому складає 0,96 (рис. 2).

Очевидно, для підвищення точності моделювання процесу формування стоку, у т.ч. і у період сніготанення, у першу чергу необхідна автокалібрація фільтраційних параметрів моделі (CN , коефіцієнт фільтрації ґрунту, діапазон активної вологи ґрунтів, δ_{gw} і ін.).

Висновки. Для оцінки надходжень біогенних елементів за рахунок розподілених джерел у світі отримали практичне підтвердження наступні програмні комплекси: AnnAGNPS, HSPF, INCA, SHETRAN, SWAT, WAM (раніше WAMView), BASINS, MIKE SHE, TOOLBOX, WMS та інші.

На підставі аналізу чутливості вказаних моделей до вхідних даних, вимог до професійних навичок користувачів, фінансових і часових характеристик оптимальною для України є ґрунтово-гідрологічна модель SWAT (Soil and Water Assessment Tool), яка має перше у світі місце за частотою використання.

Адаптацію програми SWAT для території України було проведено на прикладі малого водозбору р. Головесня ($S = 30,4$ км²), правої притоки р. Десни. Вихідною інформацією для ручного калібрування моделі слугували матеріали спостережень Придеснянської воднобалансової станції за 2010 р.

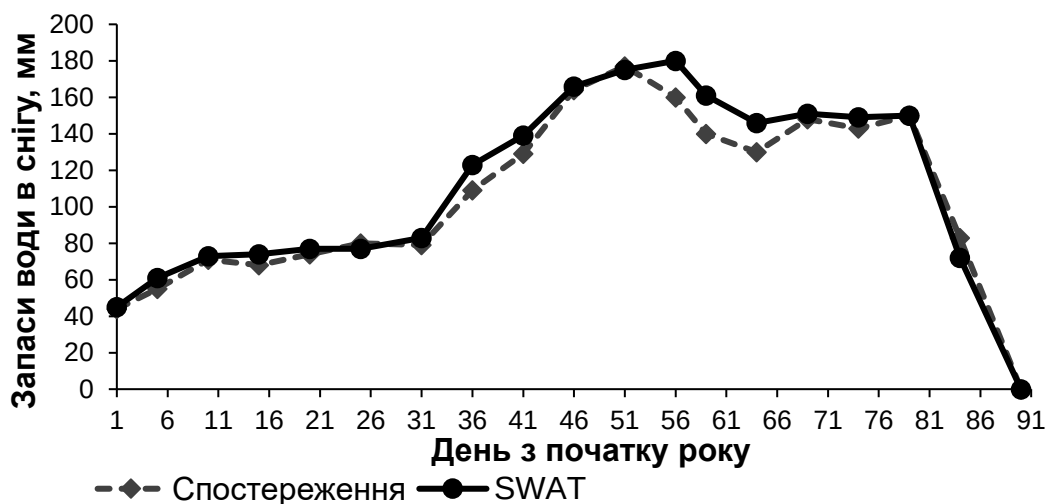


Рис. 2. Хронологічний графік запасів воду у снігу за даними моделювання та натурних спостережень

На першому етапі роботи у результаті ручного калібрування моделі отримано гідрограф стоку р. Головесня. Значення коефіцієнта парної кореляції між реальними і змодельованими значеннями витрат води складало 0,85, що свідчить про істотний зв'язку між зазначеними параметрами. У той же час ефективність виконаного розрахунку, оцінена за критерієм Неша-Саткліфа, становила 0,6. Це перевищує межу задовільної відповідності (0,5), але не досягає значення категорії доброї відповідності. Найбільше відхилення розрахункових значень від реальних даних спостерігалось у період зимової межені, коли значення витрат, розрахованих моделлю, були занижені у середньому на 30%.

Перші отримані результати свідчать про прийнятність моделі SWAT для території України. Для поліпшення ефективності моделювання гідрографа стоку необхідно додатково задіяти зовнішній інструмент автокалібрування SWAT-CUP.

Список літератури

1. Офіційний сайт INCA. URL: <http://www.reading.ac.uk/geographyandenvironmentalscience/Research/INCA/ges-INCA.aspx>.
2. Офіційний сайт Агентства по захисту навколишнього середовища США (EPA). URL: <http://water.epa.gov/scitech/datait/models/basins/framework.cfm>.
3. Публічна кадастрова карта / Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. 2016. URL: <http://map.land.gov.ua/kadastrova-karta>.
4. Ханкс Р. Дж. Моделирование баланса почвенных вод. Гидрогеологическое прогнозирование / Под ред. М.Г. Андерсона и Т.П. Берта. М.: Мир, 1988. С. 27-53.
5. Arheimer B. Olsson J. Integration and Coupling of Hydrological Models with Water Quality Models: Applications in Europe. Swedish Meteorological and Hydrological Institute. 2001.
6. Black P.E. Watershed functions. Water Resources Association. 1997. Vol. 33, № 1. P. 1-11.
7. CGIAR Consortium for Spatial Information. SRTM 90m Digital Elevation Database v4.1. URL: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/listImages.asp>.
8. Environmental Programme for the Danube River Basin, Danube Integrated Environmental Study. Report Phase 1 // Commission of the European Communities. 1994, Jan.
9. Exbrayat J.-F., Breuer L., Viney N.R., Seibert J., Wrede S., Frede H.-G Ensemble Predictions of Hydro-biogeochemical Fluxes at the Landscape Scale. 18th World IMACS/MODSIM Congress. Cairns, Australia. 13–17 July, 2009.
10. Heng H.H., Nikolaidis N.P. Modeling of Nonpoint Source Pollution of Nitrogen at the Watershed Scale. Journal of the American Water Resources Association. 1998. Vol. 2. pp. 359-374.
11. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. American Society

of Agricultural and Biological Engineers, 2007. Vol. 50(3). pp. 885–900. **12.** Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2012. Texas Water Resources Institute. 2012. **13.** Novotny V. Diffuse (non-point) pollution – a political, institutional and fiscal problem. J. Water Pollut. Contr. Fed. 1988. Vol. 60(8). pp. 1404–1413. **14.** Novotny V., Chesters G. Handbook of non-point pollution. New York, NY: Van Nostrand Reinhold Co. 1981. 545 p. **15.** Sangrey D.A., Harrop-Williams K.O., Klaiber J.A. Predicting ground-water response to precipitation. ASCE J. Geotech. Eng. 1984. Vol. 110(7). pp. 957–975. **16.** Sloan P.G., Moore I.D. Modeling subsurface stormflow on steeply sloping forested watersheds. Water Resources Research. – 1984. Vol. 20(12). pp. 1815–1822. **17.** Sloan W. T., Jenkins A., Eatherall A. A simple model of stream nitrate concentrations in forested and deforested catchments in Mid-Wales. Journal of Hydrology, 1994. Vol. 158. pp. 61–78. **18.** Srivastava P., Migliaccio K. W., Šimůnek J. Landscape Models for Simulating Water Quality at Point, Field, and Watershed Scales. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2007. Vol. 50(5). pp. 1683–1693. **19.** Total Maximum Daily Loads Model Evaluation and Research Needs. United States Environmental Protection Agency. 600/R-05/149. 2005, Nov. **20.** Vanderkruk K., Owen K., Grace M., Thompson R. Review of Existing Nutrient, Suspended and Metal Models Scientific review for Victorian Department of Sustainability and Environment. Australia. 2010. **21.** Wellen C., Kamran-Disfani A.-R., Arhonditsis G.B. Evaluation of the Current State of Distributed Watershed Nutrient Water Quality Modeling / Environ. Sci. Technol. 2015 Vol. 49. pp. 3278–3290. **22.** Zhen-Gang Ji. Hydrodynamics and Water Quality: Modeling Rivers, Lakes, and Estuaries. Canada: Wiley-Interscience. 2008. 675 p.

Обґрунтування математичної моделі для оцінки та регулювання забруднення поверхневих вод України біогенними елементами

Осипов В.В.

Виконано огляд існуючих моделей надходження і транспорту біогенних елементів з території водозбору, а також проведена оцінка досвіду їх застосування у різних країнах. Для використання в Україні запропоновано модель SWAT (Soil and Water Assessment Tool), що є найбільш оптимальною для економічних, фізико-географічних умов країни, а також з точки зору можливостей інформаційного забезпечення. Проведено апробацію запропонованої моделі на малому водозборі р. Головесня. Представлено результати калібрування моделі SWAT для показників водного стоку.

Ключові слова: евтрофікація, нітроген, фосфор, моделювання, SWAT

Обоснование математической модели для оценки и регулирования загрязнения поверхностных вод Украины биогенными элементами

Осипов В.В.

Выполнен обзор существующих моделей поступления и транспорта биогенных элементов с территории водосбора, а также проведена оценка опыта их применения в различных странах. Для использования в Украине предложена модель SWAT (Soil and Water Assessment Tool), являющаяся наиболее оптимальной для экономических, физико-географических условий страны, а также с точки зрения возможностей информационного обеспечения. Проведена апробация предложенной модели на малом водосборе р. Головесня. Представлены результаты калибровки модели SWAT для показателей водного стока.

Ключевые слова: эвтрофикация, азот, фосфор, моделирование, SWAT

Substantiation of mathematical model for estimation and regulation of surface waters pollution in Ukraine by nutrients

Osypov V.V.

Nowadays diffuse sources are a significant part of nutrient pollution. The processed-based watershed modeling is a powerful tool for management of nutrient loads. But this approach has not been developing in Ukraine. Therefore, the purpose of this study is to determine an optimal model for use on the territory of Ukraine

A review of existing models of nutrient emission (nitrogen and phosphorus compounds) has been performed, as well as an experience of their use in different countries was estimated. The model SWAT (Soil and Water Assessment Tool) has been proposed for use in Ukraine. This model is optimal for economic, physical and geographical conditions of the country, and from the point of view of the possibilities of information support.

SWAT model holds leading position in the field of nutrient pollution modeling because it combines a number of features of other models such as GIS compatibility, free access, supporting programs (e.g. SWAT-CUP), input-output balance, complex documentation, and others.

SWAT has been approved for the Golovesnya small river catchment (30,37 km²). The result of manual runoff calibration is satisfactory (NS=0,6; pair correlation coefficient – 0,85; standard deviation – 11,9%). The most difficulties deal with cold period modeling due to a higher number of factors which influence on water flow formation and routing. High agreement with observations has been shown for the snowpack simulation (NS=0,96).

Key words: eutrophication, nitrogen, phosphorus, modeling, SWAT

Надійшла до редколегії 17.04.2017

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

з урахуванням вимог нормативних документів ВАК України: Постанови ВАК України за №7-05/1 від 15 січня 2003 р., Наказу ВАК України №63 від 26 січня 2008 р. та Наказу ВАК України № 30 від 24 січня 2009 р.

Науковий збірник “Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія” запланований до чотирьох випусків на рік. Він є міжвідомчим, готується до видання на базі кафедри гідрології та гідроекології та науково-дослідної лабораторії гідроекології та гідрохімії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, а також Комісії з гідрології та гідроекології Українського географічного товариства. Наказом Міністерства освіти і науки України № 515 від 16.05.2016 р. включено до переліку наукових фахових видань України за галуззю «Географічні науки».

Наукова тематика збірника визначена його назвою і є досить широкою. Вона охоплює, насамперед, такі питання: теоретичні та експериментальні гідрологічні, гідрохімічні та гідроекологічні дослідження водних об'єктів; оцінка впливу господарської діяльності на гідрологічний і гідрохімічний режим та якість природних вод; аналіз катастрофічних гідрологічних явищ на водних об'єктах, методи їх прогнозування та попередження; раціональне використання та охорона водних ресурсів, якість питної води; водні меліорації; моніторинг забруднення природних вод; методи спостережень, методи хімічного аналізу природних вод, гідробіологічні аспекти стану природних вод; географічні аспекти гідрологічних досліджень.

Редакційна колегія приймає матеріали та інформацію про діяльність відомих вчених в області гідрології, гідрохімії та гідроекології, які будуть присвячені їх ювілейним датам, матеріали про фахові конференції, що відбулися в Україні і за кордоном, анотації монографій і навчально-методичних видань.

Редакційна колегія просить звернути увагу авторів статей на Постанову ВАК України “Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України” за №7-05/1 від 15 січня 2003 р. Зокрема, на пункти 3 і 4 цієї Постанови:

“3. Редакційним колегіям організувати належне рецензування та ретельний відбір статей до друку. Зобов'язати їх приймати до друку у виданнях, що виходитимуть у 2003 році та у подальші роки, лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: *постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.*

4. Спеціалізованим ученим радам при прийомі до захисту дисертаційних робіт *зарахувати статті*, подані до друку, починаючи з лютого 2003 р., як фахові лише за умови дотримання вимог до них, викладених у п.3 даної постанови”.

Відповідно до постанови ВАК України статті повинні мати такі чітко означені в тексті структурні елементи:

Вступ (*постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями*);
Вихідні передумови (*аналіз останніх досліджень і публікацій*);
Формулювання цілей статті, постановка завдання;
Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому науковому напрямі;
Список літератури (7-10 джерел, в т. ч. інтернет-джерел, оформлених згідно з **ДСТУ 8302:2015** «Інформація та документація. Бібліографічне посилання...»). Посилання на джерела у тексті подаються у квадратних дужках із зазначенням порядкового номера і використаних сторінок.

Мова публікацій – українська. Можуть бути статті російською та іншими іноземними мовами. Текст повинен бути відредагованим і оформленим без помилок.

Для одноосібних статей, поданих студентами, аспірантами, здобувачами обов'язковим є відгук наукового керівника.

Автори несуть повну відповідальність за зміст і достовірність викладених у статті

матеріалів. Редколегія залишає за собою право відхилення статей, що не відповідають вимогам до наукових публікацій або у разі негативних рецензій.

Статті обсягом **5-10 сторінок** (разом із анотаціями, таблицями, рисунками (рисунки чорно-білі) та списком літератури) необхідно надсилати на адресу редколегії у **електронному вигляді** (з назвою файлу – прізвище автора латинськими літерами), а також у роздрукованому вигляді у 2-х примірниках (для рецензування), один – із підписами авторів; другий – копія першого без підпису. **Шрифт Arial, кегль 12, Word 6-8. Поля всі по 2.5 см; інтервал – 1, абзац – 1,00.**

Подані до збірника рукописи, обсягом **менше 5 сторінок**, а також ті, що не мають відповідної рубрикації, будуть розміщуватись у розділі **"Наукові повідомлення"**.

Необхідно мати на увазі, що одиниці вимірювання величин і характеристик у статтях треба наводити згідно системи СІ. Зокрема, концентрацію хімічних компонентів у воді – в **мг/дм³** (а не в мг/л).

Зразок оформлення статті (обов'язково ставити УДК, дотримуватися виділення шрифту і абзаців):

УДК 551.49	(кегель 12)
Петренко М.І.	(кегель 12, напівжирний, нахилений)
Інститут гідробіології НАН України, м. Київ	(кегель 11, нахилений)
ГІДРОЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ БАСЕЙНУ ДНІПРА (кегель 12, напівжирний)	
Ключові слова: не більше 5 слів чи словосполучень (кегель 11, нахилений)	

Далі через інтервал починається текст статті (кегель 12). Усі підписи до рисунків та таблиці виконуються кеглем 11.

Після тексту через інтервал підзаголовок **"Список літератури"** (кегель 11, напівжирний), а потім власне список за його наявності (також кегль 11). Список літератури має бути оформлений згідно вимог **ДСТУ 8302:2015** «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» чинний від 2016-07-01.

Після "Списку літератури" через інтервал – **анотації** українською, російською і англійською мовами, що додаються за схемою: 1) **назва статті** (кегель 10, напівжирний), **прізвище та ініціали автора(ів)** (кегель 10, напівжирний, нахилений); 2) **короткий текст анотації** українською, російською та **розширений – англійською (2000 знаків без пробілів)** (кегель 10, нахилений); 3) **ключові слова** (до 5 слів чи словосполучень), розділених крапкою з комою (кегель 10, нахилений).

Крім того, до статті додається **реферат**, 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 проставлено 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, Луги 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

Також до статті додаються **відомості про авторів** згідно зразка:

Прізвище, ім'я, по батькові; Науковий ступінь та вчене звання; Місце роботи; Посада; Службова адреса; Контактний телефон, E-mail.

Наукове видання

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Науковий збірник

2017 рік

№ 3 (46)

Збережено авторський стиль та орфографію

Комп'ютерна верстка – Москаленко С.О.

Підписано до друку 26.06.2017
Формат 60х90/8. Папір офсетний.
Гарнітура Arial. Друк різнограф.
Ум. др. арк. 8,0. Обл.-вид. арк. 8,2.
Наклад 300 прим. Зам. № 52-014.



Видавництво географічної літератури “Обрії”

Свідоцтво Держкомінформ України
ДК № 23 від 30.03.2000 р.
Київ, вул. Старокиївська, 10
Тел.: (096) 882-30-30
e-mail: vgl_obrii@ukr.net