

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА
ФАКУЛЬТЕТ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЇ І ЕКОЛОГІЇ



МАТЕРІАЛИ

80-ї звітної наукової конференції
професорсько-викладацького складу і наукових працівників
факультету гідрометеорології і екології
Одеського національного університету імені І. І. Мечникова

Секція «Гідрометеорологія і екологія»

Підсекції: «Агрометеорологія та агроекологія»
«Водні біоресурси та аквакультура»
«Гідрологія суші»
«Екологія»
«Метеорологія і кліматологія»
«Океанологія та гідрографія»
«Технології захисту навколишнього середовища»

Одеса, 26–28 листопада 2025 року



2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА
ФАКУЛЬТЕТ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЇ І ЕКОЛОГІЇ



МАТЕРІАЛИ

**80-ї звітної наукової конференції
професорсько-викладацького складу і наукових працівників
факультету гідрометеорології і екології
Одеського національного університету імені І. І. Мечникова**

Секція «Гідрометеорологія і екологія»

Підсекції: «Агрометеорологія та агроекологія»,
«Водні біоресурси та аквакультура», «Гідрологія суші», «Екологія»,
«Метеорологія і кліматологія», «Океанологія та гідрографія»,
«Технології захисту навколишнього середовища»

Одеса, 26–28 листопада 2025 року



ОДЕСА
ОНУ
2025

УДК 551.5+556+551.46+502/504+639.3(06)
М341

Редакційна колегія:

Валерія Овчарук, д-р геогр. наук, проф., зав. кафедри гідрології суші ФГМіЕ
ОНУ імені І. І. Мечникова;

Аліна Семергей-Чумаченко, канд. геогр. наук, доцент кафедри метеорології та
кліматології ФГМіЕ ОНУ імені І. І. Мечникова.

*Рекомендовано до друку вченою радою факультету гідрометеорології і екології
Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.
Протокол № 7 від 08.12.2025.*

М341 **Матеріали** 80-ї звітної наукової конференції професорсько-
викладацького складу і наукових працівників факультету
гідрометеорології і екології Одеського національного університету
імені І. І. Мечникова [Електронний ресурс] : Секція «Гідрометеорологія
і екологія». Підсекції: «Агromетеорологія та агроекологія», «Водні
біоресурси та аквакультура», «Гідрологія суші», «Екологія»,
«Метеорологія і кліматологія», «Океанологія та гідрографія»,
«Технології захисту навколишнього середовища» (Одеса, 26–28 листоп.
2025 р.). – Електронні текстові дані (1 файл : 9,3 МБ). – Одеса : Одес.
нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2025. – 249 с.
ISBN 978-966-186-381-0

У збірці подано матеріали 80-ї звітної наукової конференції професорсько-
викладацького складу і наукових працівників Одеського національного
університету імені І. І. Мечникова, що висвітлюють основні напрями наукових
проблем, вирішенням яких займається професорсько-викладацький склад та
аспіранти кафедр факультету гідрометеорології і екології. Опубліковані
дослідження відображають авторське бачення проблем гідрометеорології і
екології. Матеріали подаються в авторській редакції.

Видання розраховане на здобувачів, педагогічних, наукових і науково-
педагогічних працівників закладів освіти та науки.

УДК 551.5+556+551.46+502/504+639.3(06)

ISBN 978-966-186-381-0

© Автори статей, 2025

© Одеський національний університет
імені І. І. Мечникова, 2025

ЗМІСТ

Підсекція «Агрометеорологія та агроекологія»

- А. М. Польовий**, д-р геогр. наук, професор,
О. А. Барсукова, канд. геогр. наук, доцент.
Агрокліматичні умови росту озимої пшениці при зміні клімату в Україні.....11
- О. В. Вольвач**, канд. геогр. наук, доцент
О. В. Куклишин, аспірантка
Аналіз динаміки заморозків в Одеській області в контексті сучасних змін клімату.....15
- О. Л. Жигайло**, канд. геогр. наук, доцент
А. В. Толмачова, канд. геогр. наук, доцент
Моніторинг і регулювання гумусового стану ґрунтів як складова сучасного землекористування..... 18
- А. М. Польовий**, д-р геогр. наук, професор
О. А. Барсукова, канд. геогр. наук, доцент
Оцінка впливу кліматичних змін на умови вирощування озимого жита у Волинській області.....21
- Н. В. Данілова**, канд. геогр. наук, старший викладач
Інвентаризація земель сільськогосподарського призначення..... 24
- Т. К. Костюкєвич**, канд. геогр. наук, старший викладач
Статистичні методи аналізу земельно-кадастрової інформації..... 27
- П. С. Нікітін**, старший викладач
В. Г. Ільїна, канд. геогр. наук, доцент
Динаміка вмісту біогенних елементів у ґрунтах південного степу України під впливом кліматичних змін..... 30
- М. Г. Сербов**, д-р екон. наук, професор
Н. В. Данілова, канд. геогр. наук, старший викладач
В. В. Пилип'юк, канд. геогр. наук, доцент
Застосування сучасних методів дистанційного зондування для оцінки деформаційних змін в зонах бойових дій.....34

Підсекція «Водні біоресурси та аквакультура»

- М. І. Бургаз**, канд. біол. наук, доцент,
О. А. Бургаз, канд. геогр. наук, доцент
Розробка та впровадження інтегрованих навчальних кейсів з охорони водних екосистем 38

| | |
|--|-----------|
| М. І. Бургаз , канд. біол. наук, доцент, П. В. Шекк , д-р сільк.-госп. наук, професор М. Г. Сербов , д-р екон. наук, професор | |
| Інтеграція результатів наукових досліджень кафедри у навчальний процес спеціальності Н5 «Водні біоресурси та аквакультура» | 42 |
| Т. І. Матвієнко , старший викладач О. М. Соборова , канд. геогр. наук, доцент Р. В. Сидорак , викладач | |
| Ефективність міждисциплінарної інтеграції курсів «Гідробіологія», «Іхтіологія (загальна та спеціальна)» та «Аквакультура природних водойм» у професійній підготовці | 46 |
| І. В. Катинська , канд. геогр. наук, доцент А. І. Лічна , старший викладач | |
| Інтеграція генетичних і селекційних знань у системі навчання спеціальності Н5 «Водні біоресурси та аквакультура» | 50 |
| М. Г. Сербов , д-р екон. наук, професор Д. П. Шумарін , аспірант М. І. Харчевніков , аспірант | |
| Оцінка впливу кліматичних змін на водні екосистеми України та адаптаційні стратегії їх збереження | 54 |
| Підсекція «Гідрологія суші» | |
| Н. С. Лобода , д-р геогр. наук, професор В. А. Овчарук , д-р геогр. наук, професор Ж. Р. Шакірманова , д-р геогр. наук, професор | |
| Підсумки наукової діяльності та виконання планів науково-дослідної роботи кафедри гідрології суші за 2025 рік | 58 |
| В. А. Овчарук , д-р геогр. наук, професор | |
| Використання інтерактивних веб-сервісів в гідрологічних дослідженнях при оцінці впливу зміни клімату на річковий стік | 63 |
| Н. С. Лобода , д-р геогр. наук, професор М. Р. Розвод , аспірант | |
| Зміна кліматичних чинників та водних ресурсів Дністра на початку ХХІ сторіччя | 68 |
| Ж. Р. Шакірманова , д-р геогр. наук, професор | |
| Методи оцінки надходження поверхневих вод до замкнених лиманів Одеської області | 71 |
| Я. С. Яров , старший викладач, В. В. Пилип'юк , канд. геогр. наук, доцент Т. В. Гращенко , старший викладач | |
| Оцінка рівня антропогенного забруднення вод р. Південний Буг за комплексними показниками в передвоєнний період | 76 |

| | |
|--|------------|
| Л. В. Кущенко, старший викладач | |
| А. О. Блага, аспірантка | |
| В. А. Овчарук, д-р. геогр. наук, професор | |
| Ж. Р. Шакірзанова, д-р. геогр. наук, професор | |
| Умови формування та прогноз маловоддя на річках півдня України в 2025 році..... | 79 |
| А. М. Куза, канд. геогр. наук, старший викладач | |
| Н. С. Лобода, д-р. геогр. наук, професор | |
| Застосування методики екологічних ризиків на прикладі річок півдня України..... | 84 |
| Ю. О. Поздняков, аспірант | |
| В. А. Овчарук, д-р. геогр. наук, професор | |
| Застосування методу індексної сезонної нормалізації для визначення тенденцій у сезонному стоці річок басейну Тиси в межах України | 88 |
| Д. В. Лугай, аспірант, | |
| Л. В. Кущенко, старший викладач | |
| Н. С. Кічук, канд. геогр. наук, доцент | |
| Оцінка якості поверхневих вод малих річок українського Придунав'я..... | 93 |
| М. П. Коваленко, аспірант | |
| В. А. Овчарук, д-р. геогр. наук, професор | |
| Статистичний аналіз часових рядів дощових паводків річок Українських Карпат..... | 96 |
| Д. В. Сіваєв, аспірант | |
| Ж. Р. Шакірзанова, д-р геогр. наук, професор | |
| Сучасні математичні моделі прогнозування максимального тало-дощового стоку річок..... | 101 |
| Д. П. Скороход, аспірант | |
| Ж. Р. Шакірзанова, д-р геогр. наук, професор | |
| Визначення сезонних характеристик стоку в басейні р. Південний Буг..... | 105 |
| А. В. Колеснік, аспірант | |
| Ж. Р. Шакірзанова, д-р геогр. наук, професор | |
| Методичні основи прогнозування паводків на річках Закарпаття..... | 109 |

Підсекція «Екологія»

| | |
|---|------------|
| А. В. Чугай А.В., д-р техн. наук, професор | |
| А. В. Колісник, канд. геогр. наук, доцент | |
| О. І. Чернякова, старший викладач | |
| Курс «Сталий розвиток та управління ризиками під час кризи» як результат реалізації міжнародного проєкту TRANSLEARN..... | 113 |

| | |
|---|------------|
| Сафранов, д-р геол.-мінер. наук, професор | |
| Т. І. Полушкін, аспірант | |
| Дослідження системи поводження з відходами пластикових матеріалів на території Одеської області..... | 116 |
| В. Ю. Приходько, канд. геогр. наук, доцент | |
| Т. А. Сафранов, д-р геол.-мінер.наук, професор | |
| Дослідження факторів та закономірностей утворення і захоронення твердих побутових відходів в регіонах України..... | 120 |
| А. О. Ільїна, PhD з наук про Землю, старший викладач | |
| Деградація земель як екологічний чинник дестабілізації продовольчих систем..... | 123 |
| А. В. Колісник, канд. геогр. наук, доцент | |
| В. І. Трахтенберг, аспірант | |
| Перспективи впровадження проєктів ефективного природокористування в Нижньодністровському НПП..... | 128 |
| С. М. Юрасов, канд. техн. наук, доцент | |
| В. В. Терземан, аспірант | |
| Сучасні підходи до прогнозування параметрів якості води..... | 131 |
| С. М. Юрасов, канд. техн. наук, доцент | |
| М. В. Балаклеїнко, аспірант | |
| Інноваційні підходи до зменшення розповсюдження пилу у морських портах | 135 |
| С. М. Юрасов, канд. техн. наук, доцент | |
| М. Ю. Монченко, аспірант | |
| Якість атмосферного повітря Чорноморського басейну під впливом антропогенних чинників..... | 138 |
| Н. В. Грабко, старший викладач | |
| Вплив несприятливих біокліматичних умов на здоров'я людини (на прикладі м. Львів)..... | 141 |
| М. Г. Сербов, д-р екон. наук, професор | |
| В. В. Гулеватий, аспірант, В. В. Лавренов, аспірант | |
| Сучасний досвід України та стратегії адаптації для сталого розвитку водного господарства в контексті змін клімату..... | 146 |
| Підсекція «Метеорологія і кліматологія» | |
| Г. О. Боровська, канд. геогр. наук, доцент | |
| Динаміка екстремальних опадів теплої періоду в Одеській області на початку ХХІ сторіччя..... | 150 |
| Є. А. Галич, канд. геогр. наук, доцент | |
| Особливості та динаміка полів тиску в Антарктиці..... | 155 |

| | |
|--|-----|
| Є. А. Галич, канд. геогр. наук, доцент Динаміка температурного режиму Одеської області в умовах сучасних тенденцій змін клімату..... | 159 |
| В. Ю. Куришина, канд. геогр. наук, старший викладач А. В. Толмачова, канд. геогр. наук, доцент Розвиток виноградарства в Україні в умовах кліматичних змін | 163 |
| О. М. Нажмудінова, канд. геогр. наук, доцент Градові процеси на території України | 166 |
| Л. В. Недострелова, канд. геогр. наук, доцент Динаміка формування снігового покриву в Одеському регіоні за різні кліматичні періоди..... | 169 |
| О. М. Прокоф'єв, канд. геогр. наук, доцент Л. Д. Гончарова, канд. геогр. наук, доцент Статистичний підхід до вирішення задач клімато-географічних особливостей розподілу опадів на півдні України..... | 173 |
| О. М. Прокоф'єв, канд. геогр. наук, доцент Л. Д. Гончарова, канд. геогр. наук, доцент Чернишов В. А., аспірант Вітровий режим бухти Поттер-Коув у світлі зміни клімату..... | 176 |
| О. М. Прокоф'єв, канд. геогр. наук, доцент Чернишов В. А., аспірант Динаміка швидкості вітру в районі антарктичного острова Сеймур..... | 179 |
| А. Б. Семергей-Чумаченко, канд. геогр. наук, доцент В. В. Шепель, аспірантка Кліматичні зміни в північній Атлантиці та морські перевезення..... | 182 |
| О. В. Уманська, канд. геогр. наук, старший викладач Синоптичні умови утворення гроз в Україні у холодний період..... | 187 |
| І. А. Хоменко, канд. геогр. наук, доцент Н. О. Приходько, аспірантка Макро- та мезомасштабні умови утворення значних та сильних опадів на території України..... | 190 |
| І. А. Хоменко, канд. геогр. наук, доцент Л. В. Недострелова, канд. геогр. наук, доцент О. М. Прокоф'єв, канд. геогр. наук, доцент Л. Д. Гончарова, канд. геогр. наук, доцент Є. А. Галич, канд. геогр. наук, доцент Ю. В. Куришина, канд. геогр. наук, старший викладач Апробація індексного підходу ETCCDI до оцінки кліматичної вразливості в Україні | 193 |

| | |
|---|------------|
| І. А. Хоменко , канд. геогр. наук, доцент | |
| Р. М. Марчишин , нач. метеост. Славське | |
| Динаміка режимних характеристик снігового покриву на ст. Славське в період 1948–2020 рр. | 196 |
| В. М. Хохлов , д-р геогр. наук, професор | |
| Г. О. Боровська , канд. геогр. наук, доцент | |
| Опади та підвищення температури в Одесі: чи наближається Середземноморський клімат? | 199 |
| Підсекція «Океанологія та гідрографія» | |
| М. О. Сліже , канд. геогр. наук, викладач | |
| М. А. Берлінський , д-р геогр. наук, професор | |
| Ю. Ель Хадрі , PhD з наук про Землю, старший викладач | |
| Природоорієнтовані рішення у міському середовищі як засіб зниження теплового стресу в місті Ізмаїл. | 205 |
| М. А. Берлінський , д-р геогр. наук, професор | |
| Ю. Ель Хадрі , PhD з наук про Землю, старший викладач | |
| М. О. Сліже , канд. геогр. наук, викладач | |
| Гідролого-екологічна характеристика дельти Дунаю в районі затоки Масура. | 209 |
| Ю. Ель Хадрі , PhD з наук про Землю, старший викладач | |
| М. А. Берлінський , д-р геогр. наук, професор | |
| М. О. Сліже , канд. геогр. наук, викладач | |
| Вплив атмосферних процесів на особливості формування гідрологічних характеристик авандельти Дунаю. | 213 |
| М. О. Сліже , канд. геогр. наук, викладач | |
| М. А. Берлінський , д-р геогр. наук, професор | |
| Ю. Ель Хадрі , PhD з наук про Землю, старший викладач | |
| Сучасні показники блакитної економіки в секторі морського транспорту у Чорному морі | 217 |
| М. А. Берлінський , д-р геогр. наук, професор | |
| М. Г. Золотарьов , аспірант | |
| Актуальність вивчення замулення морських донних відкладень як негативний фактор впливу на донні біоценози | 221 |
| Е. Є. Малюга , аспірант | |
| Р. В. Гаврилюк , канд. геогр. наук, доцент | |
| Статистичний зв'язок максимального розповсюдження криги, в протоці Дейвіса та морі Лабрадор з атмосферним тиском і швидкістю вітру в контексті глобального потепління. | 223 |

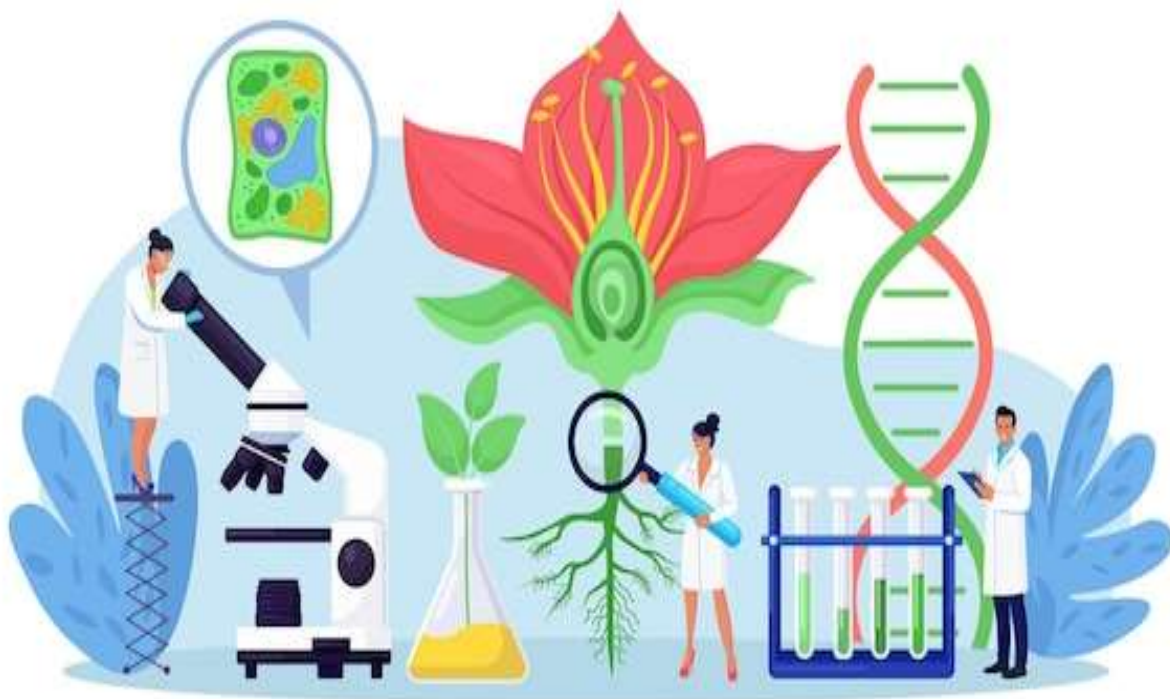
Підсекція «Технології захисту навколишнього середовища»

- О. І. Герасимов, д-р фіз.-мат. наук, професор**
Форм-фактори розсіяння електромагнітних хвиль на
структурованих мікро-механічних конгломераціях..... 227
- О. І. Герасимов, д-р фіз.-мат. наук, професор**
А. Я. Співак, канд. фіз.-мат. наук, старший викладач
Стисливість бінарних рідких розчинів..... 232
- О. І. Герасимов, д-р фіз.-мат. наук, професор**
Г. В. Кудашкін, аспірант
Екранування зовнішніх збурень за допомогою полідисперсних
гранульованих матеріалів238
- О. І. Герасимов, д-р фіз.-мат. наук, професор**
Л. М. Сідлецька, зав. лаб.
Композитні структури в задачах радіаційного захисту..... 241
- В. В. Курятников, канд. фіз.-мат. наук, доцент**
О. І. Герасимов, д-р фіз.-мат. наук, професор
Конвективно-дифузійні моделі міграції забруднень..... 244



Підсекція

АГРОМЕТЕОРОЛОГІЯ ТА АГРОЕКОЛОГІЯ



АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ РОСТУ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ПРИ ЗМІНІ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

А. М. Польовий, д-р геогр. наук, професор
О. А. Барсукова, канд. геогр. наук, доцент
Кафедра агрометеорології та агроекології
apolevoy@te.net.ua, lena5933@ukr.net

Зміна клімату є глобальною загрозою продовольчої та харчової безпеки, що зумовило як у минулому, так і в нинішньому століттях проведення великих досліджень з цієї проблеми.

Зміни агрокліматичних ресурсів України під впливом кліматичних змін, агрокліматичні умови формування урожаю сільськогосподарських культур у цих та очікуваних умовах, кліматичні ризики їх обробітку послідовно розглядаються у трьох фундаментальних монографіях, виданих ОДЕКУ (2011, 2015, 2018 роки), присвячених проблемі зміни клімату та його впливу на галузі економіки України.

Ціль дослідження. Оцінка агрокліматичних умов росту озимої пшениці в період її весняно-літньої вегетації при зміні клімату в Україні.

Матеріали та методи досліджень. Як теоретичну основу для кількісної оцінки агрокліматичних умов росту озимої пшениці використовувалась розроблена нами базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур [2],

Розглядалися основні агрокліматичні райони України: Полісся, Лісостеп, Північний Степ, Південний Степ. Моделювання проводилося для середніх багаторічних умов 1981–2020 рр. та за сценарними умовами по десятиліттях 2021–2030, 2031–2040 та 2041–2050 рр. за допомогою кліматичного сценарію RCP4.5 [3]. Для оцінки умов посушливості використовували гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянинова (ГТК) та показник атмосферного зволоження Д.І. Шашко (Md) [1]. Перейдемо до розгляду результатів наших досліджень у розрізі основних агрокліматичних районів України (табл.1).

Полісся. У зв'язку зі зсувом початку періоду весняно-літньої вегетації озимої пшениці на більш ранні терміни температура повітря в цей період за сценарними даними по всіх десятиліттях очікується на 0,9–1,7 °С нижче порівняно із середньою багаторічною. Кількість опадів за періоди 2021–2030 та 2031–2040 рр. незначно відрізнятиметься від багаторічних значень, 216–228 мм порівняно з 231 мм, за період 2041–2050 рр. воно становитиме 81,4 % від багаторічних значень. Величина сумарного випаровування для всіх трьох десятиліть очікується 244–245 мм, що складе 88,1 % від кліматичної норми, відповідно і величини випаровування будуть дещо меншими, для третього десятиліття ця величина буде вищою (105,6 %). За показником зволоження ГТК Селянинова перше десятиліття

відрізнятиметься незначною посушливістю, друге – гарним зволоженням, третє – слабкою посушливістю. За показником зволоження Шашко (M_d) лише третє десятиліття за критерієм зволоження наближається до рівня середньої посушливості. Запаси продуктивної вологи в орному шарі ґрунту очікуються лише на рівні 43–48 мм, що вище багаторічних значень.

Таблиця 1 – Порівняння сценарних (RCP4.5) показників агromетeорологічних умов весняно-літньої вегетації озимої пшениці із середніми багаторічними (1981–2020 рр.) по агрокліматичних зонах України

| Сценарій RCP 4.5 Період, рр. | Показники | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|-----------|-----------------------------|------------------------|---------------|------------------------------------|---|
| | Температура повітря, T °C | Опади, мм | Сумарне випаровування E, мм | Випаровуваність E0, мм | ГТК, відн.од. | Запаси вологи у шарі 0-20 см W, мм | Показник зволоження M _d , відн.од. |
| Полісся | | | | | | | |
| 1981–2020 | 13,0 | 231 | 278 | 287 | 1,10 | 33,7 | 0,487 |
| 2021–2030 | 11,5 | 216 | 245 | 275 | 0,95 | 47,2 | 0,597 |
| 2031–2040 | 11,3 | 228 | 245 | 259 | 1,17 | 47,8 | 0,677 |
| 2041–2050 | 12,1 | 188 | 244 | 303 | 0,79 | 42,7 | 0,474 |
| Лісостеп | | | | | | | |
| 1981–2020 | 13,5 | 243 | 208 | 303 | 1,11 | 31,2 | 0,480 |
| 2021–2030 | 12,3 | 203 | 258 | 299 | 0,88 | 32,9 | 0,527 |
| 2031–2040 | 11,4 | 230 | 260 | 260 | 1,13 | 37,0 | 0,713 |
| 2041–2050 | 12,1 | 202 | 252 | 295 | 1,03 | 37,0 | 0,511 |
| Північний Степ | | | | | | | |
| 1981–2020 | 14,7 | 182 | 243 | 365 | 0,76 | 25,0 | 0,323 |
| 2021–2030 | 13,4 | 143 | 232 | 376 | 0,61 | 20,8 | 0,298 |
| 2031–2040 | 14,2 | 187 | 238 | 369 | 0,90 | 29,3 | 0,447 |
| 2041–2050 | 13,8 | 142 | 224 | 391 | 0,59 | 19,6 | 0,327 |
| Південний Степ | | | | | | | |
| 1981–2020 | 15,2 | 152 | 278 | 355 | 0,60 | 15,2 | 0,277 |
| 2021–2030 | 14,7 | 105 | 278 | 429 | 0,43 | 14,7 | 0,187 |
| 2031–2040 | 14,5 | 145 | 230 | 378 | 0,67 | 16,7 | 0,333 |
| 2041–2050 | 14,9 | 130 | 212 | 414 | 0,60 | 18,0 | 0,284 |

Лісостеп. Температурний режим весняно-літньої вегетації озимої пшениці (табл.1) був нижчим від середнього багаторічного на 1,2–2,1 °C, особливо низьким він очікується в другому десятилітті (до 11,4 °C в порівнянні з 13,5 °C за середніх багаторічних умов). Очікується зменшення кількості опадів у першому та третьому десятиліттях на 16 % та у другому – на 5 %. Рівень сумарного випаровування за десятиліттями очікується вище за багаторічний (252–260 мм порівняно з нормою 208 мм). Величина випаровуваності в перше і третє десятиліття наближається до рівня

багаторічної (295–299 мм) і тільки в другому десятилітті вона на 14 % менше норми, при цьому створюються оптимальні умови зволоження, сумарне випаровування і випаровуваність, показник ГТК перевищує одиницю, а показник зволоження Md також високий (0,713). Умови зволоження першого та третього десятиліть характеризуються величинами ГТК 0,88–1,03 відн. од. та коефіцієнтами Md 0,511–0,527 відн. од. Зволоження орного шару ґрунту в порівнянні з багаторічними умовами буде кращим, запаси продуктивної вологи становитимуть 33–37 мм.

Північний Стен. У період весняно-літньої вегетації озимої пшениці (табл.1) температура повітря у другому десятилітті лише на 0,5 °С буде нижчою за багаторічну, для першого і третього десятиліть очікується, що зниження складе 0,9–1,3 °С. Кількість опадів у першому та третьому десятиліттях суттєво (на 21 %) зменшиться. Для другого десятиліття умови зволоження складуться сприятливо, кількість опадів перевищить кліматичну норму. Сумарне випаровування незначно (на 2 %) зменшиться у другому десятилітті. Для першого десятиліття це зменшення становитиме 5 %, для третього – 8 %. Випаровуваність у другому та третьому десятиліттях буде близькою до багаторічної величини, для третьої декади вона зросте на 7 %.

Оцінка ступеня зволоження за показником ГТК показує, що як у середньому багаторічному, так і для сценарних років умови оцінюються як слабо посушливі, перше і третє десятиліття слабо посушливі більшою мірою, а друге десятиліття дещо менш посушливе. Оцінюючи за показником зволоження Шашко багаторічні умови та сценарні в перше і третє десятиліття оцінюються як сильна посуха, а друге десятиліття приймається як настання середньої посухи. Відповідно запаси вологи в багаторічному розрізі становлять 25 мм, а в першому і третьому десятиліттях становитимуть 20–21 мм.

Південний Стен. Весняно-літня вегетація пшениці озимої (табл.1) характеризується більш підвищеною температурою повітря, середня багаторічна становить 15,2 °С, а в сценарні роки вона буде утримуватися в межах 14,5–14,9 °С. Кількість опадів у першому та третьому десятиліттях зменшиться: у першому десятилітті на 31 %, у третьому – на 14 %. Менш значним буде скорочення кількості опадів у другому десятилітті (на 5 %). Сумарне випаровування у першому десятилітті очікується лише на рівні середнього багаторічного (278 мм), у другому десятилітті зменшиться на 13 %, у третьому – на 24 %. Середня багаторічна величина випаровуваності становить 355 мм, у сценарні десятиліття вона зросте, особливо значно у першому десятилітті (на 21 %), дещо менше у третьому десятилітті (на 17 %) та мінімальне збільшення у другому десятилітті (на 6 %).

За умовами зволоження (ГТК) багаторічні умови слід віднести до слабо посушливих, умови першого десятиліття характеризуються як

сильно посушливі, а третього десятиліття як середньо засушливі. Порівняно сприятливі умови очікуються у другому десятилітті. По показнику зволоження M_d середні багаторічні умови характеризуються як сильна посуха. Умови першого десятиліття оцінюються дуже жорстко як дуже сильна посуха, третього десятиліття як сильна посуха, умови другого десятиліття слід віднести до умов характерних для середньої посухи. Запаси продуктивної вологи в орному шарі в середньому багаторічному та за сценарних умов становлять 15–18 мм.

Висновки. Моделювання формування урожаю озимої пшениці в період її весняно-літньої вегетації дозволило дати оцінку інтенсивності цих процесів за середніх багаторічних та сценарних умов.

Встановлено особливості змін клімату за десятиліттями (2021–2030, 2031–2040, 2041–2050 рр.) стосовно базового періоду для основних агрокліматичних зон України: У Поліссі кількість опадів у першому та другому десятиліттях незначно відрізнятиметься від багаторічних значень воно становитиме 81,4 % від багаторічних значень.

За показником зволоження ГТК Селянинова перше десятиліття відрізнятиметься незначною посушливістю, друге – достатнім зволоженням, третє – слабкою посушливістю; у Лісостепу Очікується зменшення кількості опадів у першому та третьому десятиліттях на 16 % та у другому – на 5 %. У Північному Степу кількість опадів у першому та третьому десятиліттях суттєво (на 21 %) зменшиться.

Для другого десятиліття умови зволоження складуться сприятливо, кількість опадів перевищить кліматичну норму. У Південному Степу кількість опадів у першому та третьому десятиліттях зменшиться: у першому десятилітті на 31%, у третьому – на 14 %. Менш значним буде скорочення кількості опадів у другому десятилітті (на 5 %).

Здійснене з певним ступенем умовності порівняння температури повітря за період 1981–2020 рр. зі сценарними даними за сценаріями GFDL, GFDL 30% та UKMO, що транспонуються на період 2030–2040 рр., показало, що в останніх простежується тенденція до завищення рівня температур періоду весняно-літньої вегетації озимої пшениці.

Перелік посилань

1. Польовий А.М. *Сільськогосподарська метеорологія*: підручник. Одеса: «ТЕС», 2012. 612 с.
2. Польовий А.М. *Моделювання водно-теплогового режиму та продуктивності агроєкосистем*: підручник. Одеса: «Екологія», 2013. 430 с.
3. *Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату* / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: «ТЕС». 2018. 546 с.

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ЗАМОРОЗКІВ В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНИХ ЗМІН КЛІМАТУ

О. В. Вольвач, канд. геогр. наук, доцент, О. В. Куклишин, аспірантка

Кафедра агрометеорології та агроекології

volvach.oksana@ukr.net

Заморозками називають зниження температури повітря або ґрунту до 0°C і нижче, зазвичай вночі або в ранній ранковий час, при позитивній середньодобовій температурі. Таке зниження температури восени і особливо навесні створює небезпечні екологічні ситуації, що спричиняють пошкодження або загибель рослин.

Незважаючи на загальну тенденцію клімату до потепління, заморозки залишаються одним з найнебезпечніших явищ для сільськогосподарського виробництва, і нинішній рік став яскравим прикладом цього. Квітень відзначився двома потужними хвилями заморозків - одними з найсильніших за останні десятиліття.

За інформацією завідувачки відділу агрометеорології Українського гідрометцентру Т.І. Адаменко, у першу хвилю, яка пройшла на фоні дуже низьких середньодобових температур, у ряді регіонів температура вдень не піднімалася вище нуля - і так тривало протягом двох діб. Друга хвиля весняних заморозків почалася 26 квітня і тривала в Одеській області близько 10 днів. У першу хвилю постраждали абрикоси, у другу - решта кісточкових, які ще не встигли зацвісти. З озимих найбільше постраждав ріпак – він знаходився у фазі цвітіння, яка є найбільш вразливою до низьких температур.

В Одеській області впродовж останніх років вегетаційні процеси починаються раніше, в порівнянні з минулими роками. Початок вегетаційного періоду холодостійких культур, за який прийнята дата переходу температури повітря через 5°C, в останні 20 років в середньому відбувався на 5-9 днів раніше (табл.1). Найбільш ранній весняний перехід через 5°C в більшості пунктів спостережень відмічався 4 лютого 2024 р., що більш як на місяць раніше середніх багаторічних показників 2006-2025 рр., а у порівнянні з періодом 1986-2005 рр. ця різниця складає 36-46 днів.

Стійкий перехід через +10 °C в бік підвищення весною відбувається на більшій території області в середньому раніше в останні 20 років на 1-3 дні (табл.1). Результати порівняння з нашими попередніми дослідженнями стосовно заморозків на території Закарпаття [1], показали, що на відміну від Закарпаття, на переважній території Одеської області за останні 20 років середня дата настання останнього заморозку в повітрі змістилась на більш ранні строки - на 2-10 днів (табл. 2).

Таблиця 1- Дати стійкого переходу середньодобової температури навесні

| Метео-станції | 1986-2005 рр. | 2006-2025 рр. | Відхилення, дні | 1986-2005 рр. | 2006-2025 рр. | Відхилення, дні |
|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|
| | Через 5°C | | | Через 10°C | | |
| Любашівка | 20.03 | 16.03 | 4 | 17.04 | 15.04 | 2 |
| Затишшя | 22.03 | 13.03 | 9 | 16.04 | 15.04 | 1 |
| Сербка | 21.03 | 13.03 | 8 | 12.04 | 13.04 | -1 |
| Роздільна | 20.03 | 12.03 | 8 | 13.04 | 13.04 | 0 |
| Одеса | 17.03 | 12.03 | 5 | 18.04 | 15.04 | 3 |
| Сарата | 17.03 | 11.03 | 6 | 15.04 | 12.04 | 3 |
| Ізмаїл | 12.03 | 5.03 | 7 | 9.04 | 7.04 | 2 |

Таблиця 2 - Дати останнього заморозку в повітрі

| Середня дата | | Найбільш пізня, рік | |
|------------------|---------------|---------------------|---------------|
| Період | | Період | |
| 1986-2005 рр. | 2006-2025 рр. | 1986-2005 рр. | 1986-2025 рр. |
| Любашівка | | | |
| 17.04 | 11.04 | 7.05, 1999 | 04.05, 2007 |
| Затишшя | | | |
| 8.04 | 8.04 | 25.04, 1998 | 28.04, 2021 |
| Сербка | | | |
| 19.04 | 13.04 | 7.05, 1999 | 28.04, 2025 |
| Роздільна | | | |
| 7.04 | 5.04 | 5.05, 1994 | 28.04, 2021 |
| Одеса | | | |
| 6.04 | 27.03 | 24.04, 1993 | 12.04, 2025 |
| Сарата | | | |
| 20.04 | 25.04 | 8.05, 1999 | 9.05, 2022 |
| Ізмаїл | | | |
| 8.04 | 3.04 | 1.05, 1998 | 29.04, 2025 |

Повторюваність років з заморозками у повітрі на переважній території області зменшилась як у квітні так і у травні (рис.1). У більшості спостережних пунктів кількість днів з заморозками у травні зменшилась або зникла повністю (наприклад, в Одесі, Ізмаїлі, Сербці та Роздільній). У квітні кількість таких днів теж зменшилася або залишилася стабільною, за винятком кількох північних і центральних пунктів, де відбулось незначне зростання (табл. 3). Таким чином можна сказати, що внаслідок кліматичних змін спостерігається зменшення частоти та тривалості таких несприятливих агрометеорологічних явищ, як весняні заморозки, тим не менш, небезпека їх для сільського господарства залишається і за теперішнього часу.

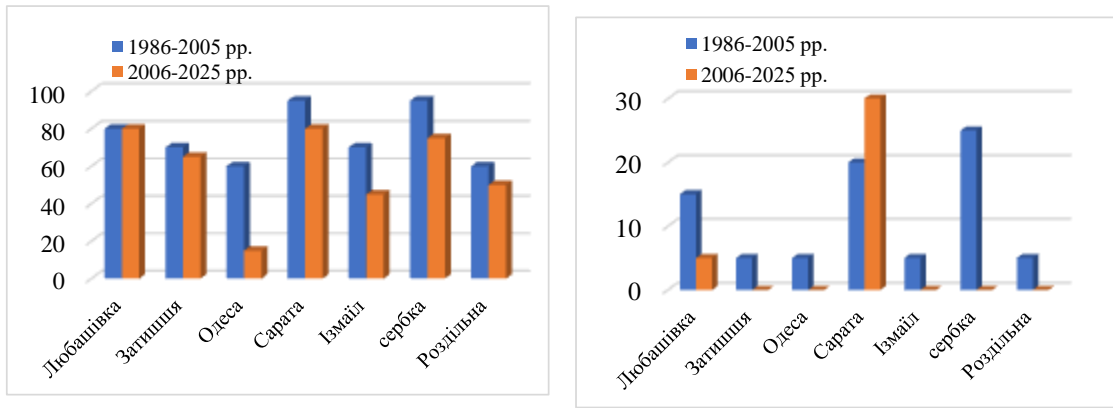


Рисунок 1- Повторюваність (%) років з заморозками у повітрі у квітні (лівий рисунок) та травні (правий рисунок)

Таблиця 3 - Середня кількість днів з заморозками у повітрі

| Період | Квітень | | | Травень | | |
|------------------|---------|-----|-----|---------|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Любашівка | | | | | | |
| 1986-2005 pp. | 1,4 | 0,7 | 0,5 | 0,2 | | |
| 2006-2025 pp. | 1,7 | 0,9 | 0,5 | 0,1 | | |
| Затишчя | | | | | | |
| 1986-2005 pp. | 1,1 | 1,1 | 0,2 | | | |
| 2006-2025 pp. | 1,1 | 0,3 | 0,2 | | | |
| Сербка | | | | | | |
| 1986-2005 pp. | 1,1 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | | |
| 2006-2025 pp. | 1,5 | 1,0 | 0,5 | | | |
| Роздільна | | | | | | |
| 1986-2005 pp. | 1,1 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | | |
| 2006-2025 pp. | 1,0 | 0,1 | 0,2 | | | |
| Одеса | | | | | | |
| 1986-2005 pp. | 1,1 | 0,4 | 0,2 | | | |
| 2006-2025 pp. | 0,3 | 0,1 | | | | |
| Сарата | | | | | | |
| 1986-2005 pp. | 2,0 | 1,0 | 0,6 | 0,3 | | |
| 2006-2025 pp. | 2,2 | 1,5 | 1,4 | 0,4 | | |
| Ізмаїл | | | | | | |
| 1986-2005 pp. | 1,3 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | | |
| 2006-2025 pp. | 1,0 | 0,3 | 0,2 | | | |

Перелік посилань

1. Куклишин О.В., Вольвач О.В. Аналіз динаміки весняних заморозків у Закарпатті за останні двадцять років. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «Сільське господарство і зміни клімату: наукові підходи та інновації для стійкого майбутнього», з нагоди Дня науки в Україні. Одеса: Олді+, 2025. С. 45-48.

МОНІТОРИНГ І РЕГУЛЮВАННЯ ГУМУСОВОГО СТАНУ ГРУНТІВ ЯК СКЛADOVA СУЧАСНОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

О. Л. Жигайло, канд. геогр. наук, доцент
А. В. Толмачова, канд. геогр. наук, доцент
Кафедра агрометеорології та агроекології
elenajigaylo@gmail.com, alla.tolmach@ukr.net

Раціональне використання сільськогосподарських угідь вимагає комплексного підходу до збереження та відтворення ґрунтової родючості, одним із ключових показників якої є гумусовий стан. В умовах інтенсифікації землеробства, скорочення частки органічного удобрення, порушення науково обґрунтованих сівозмін і зростання агрохімічного навантаження істотно підвищується ризик деградації ґрунтів, насамперед втрат гумусу. Динаміка гумусного балансу чутливо реагує на зміну у технологіях землекористування, що потребує системного моніторингу та оцінювання. Тому формування адаптивних систем землеробства, спрямованих на підтримання оптимального гумусного режиму, є критично важливою умовою довгострокової продуктивності орних земель [1,2].

Особливо гостро ця проблема проявляється у короткоротаційних сівозмінах, що нині переважають у виробничій практиці та характеризуються недостатнім поверненням органічної речовини в ґрунт. Відсутність системного моніторингу динаміки гумусу обмежує можливості оптимізації землекористування та підсилює загрозу виснаження чорноземів – основного ресурсу продуктивного землеробства Південного Степу України. За таких умов значно зростає потреба у впровадженні адаптивних технологій, спрямованих на стабілізацію гумусного балансу. Недостатня увага до цих питань може призвести до необоротних змін у структурі ґрунтового профілю та зниження потенційної продуктивності агроландшафтів. Тому стратегічним завданням стає формування систем управління родючістю, що базується на науково обґрунтованих агроекологічних підходах [3].

Для визначення впливу короткоротаційних сівозмін на гумусовий стан чорноземів південного регіону застосовано методику розрахунку балансу гумусу [4,5], що базується на порівнянні величин надходження та мінералізації органічної речовини в ґрунті. У розрахунках враховувалися маса основної та побічної продукції культур, коефіцієнти гуміфікації післязжнивних решток, а також втрати гумусу внаслідок мінералізаційних та ерозійних процесів. Об'єктом дослідження виступили короткоротаційні сівозміни, рекомендовані для умов Південного Степу України [6], а предметом – п'ятипільна сівозміна за участю ріпаку озимого та соняшнику, що вивчалася у 2020–2024 рр. у виробничих умовах Одеської області.

Розрахунки балансу гумусу здійснювалися з урахуванням таких параметрів: надходження органічної маси в ґрунт із корневих і післяжнивних решток; обсяг гумусу, який може утворитися у процесі гуміфікації; величина втрат гумусу внаслідок мінералізації та ерозії; інтегральний баланс гумусу за повну ротацію сівозміни. Дослідження проводили для двох варіантів сівозміни, що різнилися за типом попередника озимої пшениці – чистий пар у першому варіанті та зайнятий пар (гірчиця біла як сидерат) у другому. До складу сівозмін входили зернові (пшениця озима, ячмінь ярий) та технічні олійні культури (ріпак озимий, соняшник).

Оцінювання показало (табл.1), що найбільші втрати гумусу припадали на чистий пар (1,46 т/га) і соняшник (1,01 т/га), що загалом зумовило сумарний дефіцит у першій сівозміні на рівні 4,43 т/га втрат і –2,22 т/га інтегрального балансу. У другій сівозміні, де чистий пар замінено зайнятим, втрати гумусу були меншими (3,59 т/га), а вміст органічної маси, що надходила до ґрунту, істотно вищим (3,97 т/га). Найбільший обсяг побічної продукції припадав на зайнятий пар (1,76 т/га), що підкреслює його роль як стабілізатора гумусового балансу.

Таблиця 1 – Баланс гумусу в короткоротаційних сівозмінах у Південному Степу (2020-2024 рр.)

| № п/п | Культура | Сівозміна | Втрати гумусу, т | Утворення гумусу, т | Дефіцит гумусу, т |
|------------|---------------|-----------|------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | Чистий пар | Варіант 1 | 1,46 | – | -1,46 |
| 2 | Пшениця озима | | 0,67 | 0,88 | 0,21 |
| 3 | Ріпак озимий | | 0,67 | 0,39 | - 0,28 |
| 4 | Ячмінь ярий | | 0,62 | 0,70 | 0,08 |
| 5 | Соняшник | | 1,01 | 0,24 | -0,77 |
| За ротацію | | | 4,43 | 2,21 | -2,22 |
| 1 | Зайнятий пар | Варіант 2 | 0,62 | 1,76 | 1,14 |
| 2 | Пшениця озима | | 0,67 | 0,88 | 0,21 |
| 3 | Ріпак озимий | | 0,67 | 0,39 | -0,28 |
| 4 | Ячмінь ярий | | 0,62 | 0,70 | 0,08 |
| 5 | Соняшник | | 1,01 | 0,24 | -0,77 |
| За ротацію | | | 3,59 | 3,97 | 0,38 |

Примітка: баланс гумусу на 1 га сівозмінної площі за відсутності удобрення; сидерат – гірчиця біла яра.

Аналіз надходження біомаси засвідчив перевагу зернових культур, які забезпечували більше рослинних решток (0,88...0,70 т/га), порівняно з технічними культурами (0,39...0,24 т/га). Відповідно, після олійних культур в обох варіантах сівозмін фіксувався стабільний дефіцит гумусу

(–0,28 т/га після ріпаку та –0,77 т/га після соняшнику), тоді як після зернових культур спостерігався профіцит: +0,21 т/га після пшениці озимої та +0,08 т/га після ячменю ярого. Найвищий позитивний баланс відмічено після зайнятого пару (+1,14 т/га), що підтверджує його потенціал як ефективного джерела поповнення органічної речовини.

Узагальнення результатів за повну ротацію показало, що перша сівозміна має сталий дефіцит гумусу (–2,22 т/га), що свідчить про ризик деградації чорноземів та необхідність додаткового внесення органічних добрив. Натомість друга сівозміна характеризується невеликим профіцитом (+0,38 т/га), що свідчить про її екологічну та агрономічну перевагу. Заміна чистого пару на зайнятий суттєво покращує гумусовий баланс і сприяє стабілізації органічної речовини в ґрунті.

Отримані результати підтверджують важливість удосконалення структури короткоротаційних сівозмін шляхом ширшого використання зайнятого пару із сидератами як механізму збереження та підвищення гумусового стану чорноземів південного регіону України. Запропонований підхід також дозволяє зменшити інтенсивність мінералізаційних процесів і уповільнити деградацію органічної речовини в ґрунті. Упровадження таких сівозмін створює передумови для підвищення ефективності використання вологи та поживних елементів в умовах посилення посушливих явищ. Це підтверджує доцільність подальшого удосконалення систем землеробства на основі екологічно орієнтованих технологій.

Перелік посилань

1. *Раціональне використання ґрунтових ресурсів і відтворення родючості ґрунтів: організаційно-економічні, екологічні й нормативно-правові аспекти*: колект. монографія / за ред. Л. В. Краснової, М. Ю. Патики. Київ: ТОВ «НВП “Інтерсервіс”», 2015. 388 с.
2. *Охорона і підвищення родючості ґрунтів України*: колект. монографія /В. В. Дегтярьов та ін.; Харків: ХНАУ ім. В. В. Докучаєва, 2021. 368 с.
3. Кудря С.І., Тараріко Ю.О., Кудря Н.А., Личук Г.І. Гумусний режим чорнозему типового в короткоротаційних сівозмінах із різним бобовим компонентом. *Вісник аграрної науки*. 2024. Том 102. № 1. С. 64-70. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202401-09>
4. Жигайло О.Л. Управління агроекосистемами: методичні вказівки до практичних занять за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій», Одеса, ОДЕКУ. 2022. 62с. <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/11050>
5. *Методологічні аспекти еколого-економічного обґрунтування рівнів врожайності сільськогосподарських культур в проектах землеустрою* /за ред. д. с-г н. О. В. Харченка. Суми : Університетська книга, 2013. 63 с.
6. Вარიбок К. Аграріям півдня України слід перейти на сівозміни з коротким строком ротації AgroTimes. 2018 <https://agrotimes.ua/>

ОЦІНКА ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОГО ЖИТА У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ

А. М. Польовий, д-р геогр. наук, професор
О. А. Барсукова, канд. геогр. наук, доцент
Кафедра агрометеорології та агроекології
apolevoy@te.net.ua, lena5933@ukr.net

Жито озиме – одна з найстаріших зернових культур, що протягом віків забезпечувала людей поживними продуктами. Завдяки високій екологічній пластичності та витривалості до несприятливих умов вирощування, ця культура належить до найбільш надійних і малоризикових. Основне її призначення – отримання зерна, однак жито також використовують як зелений корм, особливо в сумішах з озимою викою або ріпаком [1].

Серед хлібних культур жито посідає друге місце після пшениці. Вміст білка в його зерні становить 9,2–17,0 %, тоді як у пшениці – 9,6–25 %. Зерно містить близько 81 % вуглеводів, а також вітаміни груп А, В, Е і РР. Хліб із житнього борошна є джерелом ненасичених жирних кислот, які сприяють зниженню рівня холестерину в організмі. Із зерна та біомаси жита виробляють крохмаль, спирт, біоенергію, кондитерські вироби, а в тваринництві використовують висівки, кормове борошно й зелену масу як ранньовесняний корм для великої рогатої худоби .

Жито добре росте навіть на ґрунтах із низькою природною родючістю. Воно ефективно використовує вологу, накопичену восени та навесні, і менше потерпає від літніх посух, ніж ярі зернові. Завдяки цим властивостям озиме жито рекомендоване для вирощування в більшості регіонів України [2].

Перезимівлю озимого жита проаналізовано шляхом порівняння даних за кліматичним сценарієм RCP4.5 із середніми багаторічними показниками кліматичних та агрокліматичних умов у період від появи сходів до завершення осінньої вегетації. Теоретичною основою для розрахунків і порівняння результатів слугувала модель агроекологічної врожайності сільськогосподарських культур, розроблена А. М. Польовим [3].

В результаті дослідження було здійснено аналіз температури повітря за холодний період з листопада по квітень за середніми багаторічними даними і за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5.

Згідно з багаторічними даними, температура в цей період знижується від 4,0 °С у листопаді до -3,3 °С у січні–лютому, тоді як за сценарієм RCP4.5 – від 4,2 °С до -3,2 °С.

Починаючи з березня, спостерігається поступове підвищення температури: за сценарієм RCP4.5 – від -1,7 °С до 9,3 °С, а за середніми багаторічними показниками – від -0,3 °С до 10,9 °С у квітні.

За середніми багаторічними даними максимальна температура повітря спостерігається у квітні і становить 10,9 °С у Волинській області. Максимальне значення температури повітря за кліматичним сценарієм спостерігається у квітні і дорівнює 9,3 °С. Мінімальна температура повітря (-3,0°С) за середніми багаторічними даними відмічалась у третій декаді грудня, за кліматичним сценарієм RCP4.5 очікується мінімальна температура -3,3 °С у другій декаді лютого.

Проаналізуємо графік ходу висоти снігового покриву за холодний період з листопада по квітень за середніми багаторічними даними і за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 (рис. 1).

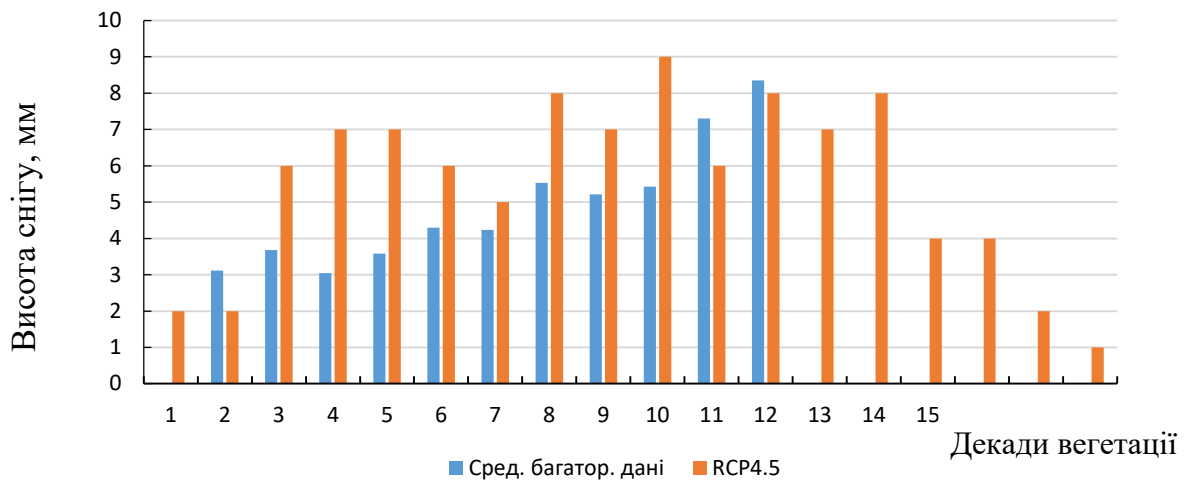


Рисунок 1 – Графік ходу висоти снігового покриву за холодний період з листопада по квітень за середніми багаторічними даними і за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 у Волинській області.

Висота снігу у Волинській області в листопаді за базовий період коливалась від 3,1 до 3,6 см, за кліматичним сценарієм RCP4.5 від 2 до 6 см. Висота снігу з грудня по березень за базовий період коливається від 3,5 до 7,0 см, за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 збільшується від 5 до 9 см. З березня по квітень за середніми багаторічними даними, висота снігу дорівнює 0 см, за кліматичним сценарієм зменшується від 8 до 1 см.

Максимальне значення висоти снігу за кліматичним сценарієм у грудні і дорівнює 9 см, за базовий період, максимальна висота снігу – 8 см у лютому. Мінімальне значення висоти снігу за кліматичним сценарієм у квітні і дорівнює 0 см, за середніми багаторічними даними, мінімальна висота снігу – 1 см у листопаді, 0 см у березні та квітні.

Крім показників температури повітря та висоти снігового покриву, було визначено й інші параметри, що характеризують перезимівлю озимого жита, які прогнозуються на період 2026–2050 рр. згідно з кліматичним сценарієм RCP4.5 (табл. 1).

Таблиця 1 – Розрахункові характеристики осінньої вегетації та перезимівлі озимого жита в Волинській області

| Область | Розрахункові характеристики | Коефіцієнт морозонебезпечності за В.М. Літчаки | Зрідженість озимих весною за В.М. Літчаки | Кількість стебел на 1 м ² на дату припинення вегетації восени | Кількість стебел на 1 м ² на дату початку вегетації весною | Кількість пагонів кущистості | Кількість рослин на 1 м ² | Критична температура ґрунту на глибині вузла кущіння, °С | Мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кущіння, °С |
|-----------|-------------------------------------|--|---|--|---|------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| Волинська | Середня багаторічна (1986–2015 рр.) | 0,5 | 3,9 | 582,8 | 559,9 | 1,5 | 387,1 | -16,4 | -8,3 |
| | RCP4.5 (2026–2050 рр.) | 0,4 | 1,9 | 579,7 | 568,4 | 1,4 | 404,2 | -16,5 | -6,9 |

Критична температура вимерзання за середніми багаторічними показниками та за кліматичним сценарієм практично не відрізняється й становить близько $-16,4 \dots -16,5$ °С. Мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кущіння за багаторічними даними дорівнювала $-8,3$ °С, тоді як за сценарієм зміни клімату RCP4.5 - $-6,9$ °С. Коефіцієнт морозонебезпечності у середньому становить 0,5 за багаторічними даними та дещо нижчий – 0,4 – за умов сценарію RCP4.5. У Волинській області рівень зрідженості посівів у базовий період досягав 3,9, тоді як за прогнозами сценарію RCP4.5 він зменшиться до приблизно 1,9.

Розрахунки показали, що у Волинській області складаються гарні умови для перезимівлі озимого жита в майбутньому.

Перелік посилань

1. Костюкевич Т.К. Оцінка впливу зміни клімату (RCP 8.5) на агрокліматичні умови вирощування жита озимого в Східному Лісостепу України. *Scientific Trends: Modern Challenges*. Volume 2 : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2021. P. 41-46. URL: <https://doi.org/10.51587/9781-7364-13302-2021-004-41-45>
2. Пилипенко О. *Новий погляд на жито*. URL: <http://saaten-union.com.ua> (дата звернення: 12.11.2025р.)
3. Polevoy A., Barsukova O., Husieva K. et al., eds. The Climate Change Impact on the Development of Droughts in Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. Volume 25, Issue 6, 2024. P. 194-205. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/187276>

ІНВЕНТАРИЗАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Н. В. Данілова, канд. геогр. наук, старший викладач

Кафедра агрометеорології та агроекології

nataliadanilova0212@gmail.com

Земельні ресурси складають основу національного багатства України, водночас відіграючи ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки країни. В умовах зростаючого антропогенного навантаження та необхідності раціонального використання сільськогосподарських земель питання їх обліку та інвентаризації стають надзвичайно актуальними. Попри досягнутий прогрес у вдосконаленні земельного законодавства та розвитку геоінформаційних технологій, проблема точного і повного обліку земель сільськогосподарського призначення залишається однією з найважливіших.

«Інвентаризація земель — це складний багатоступеневий процес, який передбачає здійснення комплексу заходів для встановлення фактичного стану земельного фонду, визначення меж земельних ділянок, їхнього правового статусу та цільового призначення. Вона є основним інструментом управління земельними ресурсами, забезпечуючи їх ефективне використання, а також правову визначеність у сфері землекористування» [1].

Інвентаризація сільськогосподарських земель є важливим інструментом управління земельними ресурсами, що сприяє їх ефективному використанню, збереженню родючості та запобіганню незаконному використанню територій.

Сільськогосподарські землі становлять основу аграрної економіки, тому їх облік і контроль мають вирішальне значення для забезпечення продовольчої безпеки та сталого розвитку сільськогосподарської галузі. Завдання інвентаризації полягає в отриманні актуальної та достовірної інформації про стан земельних ділянок, визначенні їхньої придатності для використання та виявленні невикористаних чи неправомірно зайнятих територій.

Основною ознакою інвентаризації сільськогосподарських земель є її комплексний підхід, який включає важливі аспекти, такі як оцінка угідь, класифікація земель і аналіз фактичного використання територій. Цей процес базується на застосуванні сучасних технологій, як-от супутниковий моніторинг, аерофотознімання, геоінформаційні системи (ГІС) та цифровий кадастр, що значно підвищує точність даних.

Оцінка земельних угідь є одним із ключових етапів інвентаризації, адже вона допомагає визначити якісні особливості ґрунтів, рівень їхньої продуктивності та загальний стан земельного фонду. У рамках цього етапу

проводять агрохімічні дослідження, аналіз фізичних і біологічних характеристик ґрунтів і визначення їх придатності для вирощування різних видів сільськогосподарських культур.

Моніторинг деградаційних процесів, як ерозія, засолення, заболочення чи виснаження ґрунтів, є важливим етапом оцінювання стану земель. У межах інвентаризації спеціалісти аналізують виявлені проблеми та розробляють рекомендації для покращення стану територій. Це стосується впровадження меліоративних заходів, внесення добрив чи оптимізації сівозміни. Додатково враховується екологічний стан територій, що дозволяє запобігати надмірному забрудненню сільськогосподарських земель і їхньому подальшому виснаженню.

Оцінка земель також приділяє значну увагу кліматичним умовам, які впливають на родючість і ефективність використання земельних ресурсів. Наприклад, у регіонах із посушливим кліматом виникає потреба у впровадженні специфічних підходів до землеробства, таких як крапельне зрошення чи вирощування посухостійких культур.

Інвентаризація допомагає отримати ключову інформацію для створення оптимальних стратегій управління аграрними ресурсами з урахуванням кліматичних змін. Після оцінювання стану угідь проводиться їх класифікація, яка систематизує відомості про земельний фонд і визначає основні напрями його використання. У процесі класифікації землі поділяють на категорії: рілля, багаторічні насадження, пасовища, сіножаті та перелоги. Кожна категорія має свої особливості експлуатації й вимагає відповідного підходу до обробітку та підтримання родючості. Наприклад, рілля потребує регулярного агротехнічного догляду, як удобрення, збереження вологості й дотримання сівозміни. Натомість пасовища можуть слугувати для випасу худоби без значного втручання людини. У процесі класифікації також оцінюється економічна ефективність земель, що допомагає визначити, які території найбільш придатні для вирощування певних культур, а які вимагають додаткових зусиль для підвищення продуктивності.

Один із ключових аспектів інвентаризації земель сільськогосподарського призначення полягає у виявленні ділянок, які залишаються невикористаними або зайняті неправомірно. Завдяки цьому процесу можна визначити території, що не використовуються за призначенням, перебувають у занедбаному стані або були захоплені без відповідних правостановлюючих документів. Причини невикористання земель можуть бути різноманітними: економічні труднощі їхніх власників, несприятливі природні умови чи деградація ґрунтів. Інвентаризація надає можливість оцінити потенціал повернення таких територій до господарської діяльності або розробити плани їхнього відновлення і рекультиваци [2].

Проблема незаконного використання земель все частіше проявляється у випадках самовільного користування державними або комунальними ділянками, порушення меж власності чи використання земель без відповідних дозволів. Завдяки інвентаризації можливе виявлення таких порушень, що дає змогу державним органам реагувати належним чином, ініціюючи судові процеси або застосовуючи адміністративні заходи. Для визначення таких земельних порушень застосовуються сучасні методи, зокрема аналіз супутникових знімків, аерофотозйомка, дрони та зіставлення фактичної ситуації із даними Державного земельного кадастру. Ці технології дозволяють швидко і точно виявляти неправомірне використання територій, сприяючи кращому контролю з боку державних органів. Результати інвентаризації сільськогосподарських земель мають ключове значення для сталого розвитку аграрної галузі та формування дієвої земельної політики. На основі отриманих даних уряд, органи місцевого самоврядування, аграрні підприємства та фермери можуть ухвалювати обґрунтовані рішення щодо землекористування, впроваджувати екологічні підходи до господарювання та оптимізувати виробничі процеси [3]. Крім того, інвентаризація сприяє підвищенню прозорості в управлінні земельними ресурсами, запобігаючи їх незаконному використанню, та дозволяє ефективніше контролювати правовий статус земель. Використання сучасних технологій у цьому процесі забезпечує оперативність і точність отриманих даних, що грає важливу роль у розвитку цифрових систем управління земельними ресурсами.

Отже, інвентаризація земель сільськогосподарського призначення є важливим інструментом для ефективного використання земельного фонду, збереження родючості ґрунтів і створення умов для сталого розвитку аграрного сектору. Інтеграція новітніх технологій і комплексний підхід до оцінки, аналізу та моніторингу дозволяють оптимізувати цей процес і забезпечити раціональне використання земель в Україні.

Перелік посилань

1. Голуб Н. Інвентаризація земель: економічні та облікові питання. *Сталий розвиток економіки*. 2025. № 3(54). С. 31-36. DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-54-5>
2. Багін М. Теоретико-методологічні засади оцінки ефективності використання земель сільськогосподарського призначення. *Innovation and Sustainability*. 2022. №4. С. 180–185. DOI: <https://doi.org/10.31649/ins.2022.4.180.185>
3. Заяць В.М., Бавровська Н.М., Мединська Н.В., Тихенко О.В. *Інвентаризація земель як інструмент формування Державного земельного кадастру*: монографія. Київ: Медінформ, 2016. 280 с.

СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЗЕМЕЛЬНО-КАДАСТРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Т. К. Костюкєвич, канд. геогр. наук, старший викладач

Кафедра агрометеорології та агроекології

kostyukevich1604@i.ua

Статистика визначається як система дій, спрямованих на подання, збирання та аналіз числових даних [1]. Серед інформаційних ресурсів, які мають ключове значення у земельно-майнових відносинах, виділяється земельно-кадастрова інформація. Вона охоплює як процеси управління земельними ресурсами, так й питання, пов'язані з правом власності на землю. Метою даної роботи є аналіз основних методів одержання земельно-кадастрової інформації, а також вивчення способів її обробки та аналізу.

Актуальність теми зумовлена тим, що земля, будучи природним ресурсом, відіграє фундаментальну роль у життєдіяльності суспільства, включаючи економічні, політичні, екологічні та інші аспекти. Оцінка її якостей є важливою умовою ефективного економічного розвитку. Статистичні методи збирання, аналізу та обробки даних про правовий, природний та господарський стан земель широко застосовуються в кадастрових системах.

Для прийняття управлінських рішень, пов'язаних із використанням земельних ресурсів, проводять збір, обробку та надання кадастрових даних. Ефективне регулювання земельних відносин та управління земельними ресурсами можливі при їх систематизації та аналізі завдяки знанню методів та прийомів систематизації та обробки кадастрових даних, правильного їх подання із залученням різних інформаційних технологій.

Земельно-кадастрова інформація використовується для надання та вилучення ділянок землі, розрахунку плати за її використання та реалізації інших заходів. Важливо розуміти, що достовірність та повнота даних безпосередньо залежить від методів їх отримання. Серед таких методів виділяється графічний [2], який ґрунтується на просторових характеристиках землі. Тут вона постає як об'єкт кадастру, для вивчення якого потрібно проведення вимірів, включаючи топографічну зйомку і обстеження місцевості.

Процеси зйомки використовуються для розрахунку площ земельних ділянок, обстеження - для аналізу природних властивостей ґрунтів, а економічна оцінка виконується за допомогою збору та обробки статистичних даних про господарське використання землі. Таким чином, застосування комплексного підходу до обробки земельно-кадастрової інформації є основою її ефективності.

Статистичні методи застосовуються послідовно, у результаті виділяються різні види робіт:

- основні форми, види та способи статистичного спостереження;
- зведення, угруповання даних земельного кадастру;
- абсолютні, відносні та середні величини;
- ряди динаміки;
- індекси;
- статистичні методи аналізу даних земельного кадастру.

Завданням статистики, яка вважається однією з найважливіших, є дослідження зміни явищ у часі. Для того, щоб вивчити ці зміни, необхідно скласти ряди динаміки. Ряд динаміки – це низка числових значень статистичного показника за певний період [1].

Можна навести основні види динамічних рядів:

1 - абсолютні є початковими, оскільки їх одержують при зведенні матеріалів статистичного спостереження;

2 - відносні є похідними, оскільки вони характеризують темпи динаміки та зміна його структури інтенсивності явища. Такі лави використовуються для характеристики якісних змін економіки;

3 - середні величини - ряди показників, що виражають середні значення явища, що вивчається за певні проміжки часу [4].

Для складання рівнів динамічного ряду проводиться аналіз наступних показників: абсолютний приріст, темп зростання, темп приросту, абсолютне значення 1% приросту [5].

Основними формами статистичного спостереження є звітність та перепис. Звітність є формою спостереження, коли він підприємства та організації спільно передають вищим органам дані, що відбивають їх діяльність. Перепис - це інша форма спостереження, коли статистичні органи збирають інформацію через спеціально організовані обстеження, проведені на певну дату.

Основним завданням статистичного аналізу земельно-кадастрових даних є:

- встановлення трансформації земель за категоріями, за угіддями, формами власності;
- виявлення неточності у визначенні кадастрової, ринкової вартості земель за категоріями;
- фіксування змін речових прав на земельні ділянки та об'єкти капітального будівництва, видів об'єктів нерухомості;
- виявлення помилок вимірювань об'єктів нерухомості;
- фіксування відхилень площі землеволодінь (землекористувань) від середнього оптимального розміру, що рекомендується залежно від спеціалізації;

- знаходження закономірності між перерозподілом земель за категоріями земельного фонду, угіддями, видами дозволеного використання та якісним станом земельних ресурсів;
- обґрунтування залежності розміру земельних платежів (земельного податку, орендної плати, компенсаційних виплат) від родючості ґрунтів;
- оцінка реформування земельних відносин;
- визначення недоліків механізму здійснення державного кадастрового обліку;
- пояснення негативних закономірностей у використанні земельних ресурсів;
- знаходження залежності збору земельних платежів від розміру штрафів за порушення земельного законодавства;
- забезпечення державних органів, юридичних та фізичних осіб, а також сільськогосподарських товаровиробників всіх форм власності достовірною інформацією про стан та родючості земель.

У земельному кадастрі знаходять широке застосування статистичні прийоми отримання, обробки та аналізу необхідних відомостей про правовий, природний та господарський стан земель [5]. Таким чином, дослідження у земельному кадастрі не можуть інтенсивно розвиватися без математичної обробки матеріалів про природні властивості ґрунтів, інтенсивність ведення родючості сільськогосподарських культур.

У даній роботі розглянуто ключові аспекти, включаючи визначення статистики, основні методи, підходи та види, що застосовуються для аналізу земельно-кадастрових даних. З наведеного зрозуміло, що земельно-кадастрові роботи тісно пов'язані з опрацюванням значного обсягу інформації. Відтак дослідження у сфері земельного кадастру неможливі без застосування статистичної обробки даних.

Перелік посилань

1. Мармоза А.Т. *Теорія статистики* : підручник. 2-ге вид. перероб. та доп. Київ : Центр учбової літератури, 2013. 592 с.
2. *Геодезія та землеустрій*: монографія; за заг. ред. Р.І. Розума. Тернопіль: ТНЕУ, 2020. 247 с.
3. Будзяк В.М. *Сільськогосподарське землекористування (економіко-екологічні та управлінські аспекти)* : монографія. Під наук. ред. С. І. Дорогунцова. / Будзяк В.М. К.: Оріани, 2006. 488 с.
4. Жильцов О. Б. *Теорія ймовірностей та математична статистика у прикладах і задачах: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.* / за ред. Г. О. Михаліна. Київ: Київський ун-т ім. Б. Грінченка, 2015. 336 с.
5. Костюкевич Т.К., Данілова Н.В., Толмачова А.В., Мовчан Т.В., Малащук О.С. Сучасний стан та ефективність використання земельних ресурсів в Одеській області. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. Київ, 2025. №2. С. 39-49. <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.02.04>

ДИНАМІКА ВМІСТУ БІОГЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ҐРУНТАХ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ ПІД ВПЛИВОМ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

П. С. Нікітін, старший викладач

Кафедра агрометеорології та агроекології

agroecology87@gmail.com

В. Г. Ільїна, канд. геогр. наук, доцент

Кафедра екології та охорони довкілля

Південний Степ України (рис. 1) належить до найбільш уразливих регіонів держави щодо проявів сучасних кліматичних змін. Це територія, де поєднуються високий сільськогосподарський потенціал і природна обмеженість водних ресурсів. Основним типом ґрунтів тут є південні чорноземи, які відзначаються високою природною родючістю завдяки значному вмісту гумусу та збалансованому складу біогенних елементів – азоту, фосфору, калію і вуглецю [1]. Проте інтенсивне землекористування, у поєднанні з прогресуючим підвищенням температури та зменшенням кількості опадів, призвело до суттєвих змін у ґрунтових процесах, що зумовлює втрату біогенних речовин і деградація ґрунтового покриву.



Рисунок 1 – Карта степової зони України

Інтенсивне землекористування включає монокультурне вирощування, надмірне використання добрив і механічний обробіток, які посилюють ерозію та виснаження. Кліматичні зміни, зокрема аридизація, додають до цих факторів додатковий тиск, порушуючи природні цикли трансформації

елементів. В результаті спостерігається поступове зниження продуктивності агроecosystem, що вимагає детального аналізу динаміки біогенних елементів для розробки стратегій адаптації.

Кліматичні умови Південного Степу України останніми десятиліттями характеризуються чіткою тенденцією до аридизації. Середньорічна температура зросла на 1,2 – 1,6 °С, тоді як кількість опадів у літній період зменшилася на 10-15%. Це призводить до скорочення періоду активної вегетації культур, зниження запасів продуктивної вологи в орному шарі та порушення рівноваги у ґрунтово-біологічних процесах. За таких умов спостерігається посилення процесів мінералізації органічної речовини, що зумовлює зменшення гумусу та порушення співвідношення основних біогенних елементів.

Підвищення температури сприяє більш інтенсивному розкладу органічних сполук, у результаті вуглець переходить у газоподібні форми (CO₂), зменшуючи запаси органічного вуглецю в ґрунті. Це супроводжується деградацією структури орного шару, зниженням його вологоутримувальної здатності та погіршенням умов для мікробіологічної діяльності. Особливо негативно впливають тривалі бездошові періоди, коли активність мікроорганізмів різко знижується, а процеси гуміфікації практично припиняється. Органічний вуглець є ключовим компонентом гумусу, який забезпечує агрегацію ґрунтових частинок і утримання вологи. Його втрата призводить до утворення щільних шарів, що перешкоджають проникненню коренів рослин і циркуляції повітря. Крім того, зменшення органічного вуглецю впливає на буферну здатність ґрунту, роблячи його більш чутливим до змін рН і сольового складу. У контексті кліматичних змін, де температура продовжує зростати, ці процеси набувають кумулятивного характеру, посилюючи деградацію з кожним циклом вегетації.

У структурі біогенних елементів ключове місце займає азот. Унаслідок змін клімату та водного режиму порушується баланс його форм у ґрунті. За надлишкових опадів відбувається вимивання нітратів у глибші горизонти або ґрунтові води, а за тривалих посух активізуються процеси денітрифікації, які призводять до втрат азоту у вигляді газоподібних сполук [2]. Крім того, підвищення температури ґрунту понад 25 °С пригнічує діяльність азотофіксуючих бактерій, що зменшує природне поповнення запасів азоту. У результаті формується негативний баланс цього елемента, що обмежує доступність поживних речовин для сільськогосподарських культур.

Подібні зміни спостерігаються і в фосфорному режимі ґрунтів. Під впливом підвищених температур і зменшення вологості відбувається перехід рухомих форм фосфору у важкорозчинні, що знижує його доступність для рослин. У багатьох районах Південного Степу України фіксується поступове зростання кислотності орного шару, що також

негативно позначається на фосфатному режимі. Водночас ерозійні процеси, зумовлені зливовими дощами, сприяють виносу найдрібніших частинок ґрунту, найбагатших на фосфорні сполуки. Таким чином, втрати цього елемента відбуваються як унаслідок фізичного змиву, так і через хімічну трансформацію в недоступні для рослин форми.

Динаміку калію в ґрунтах Південного Степу України також зазнає змін. Зниження рівня вологості та підвищення температури призводять до посилення процесів фіксації в кристалічній решітці глинистих мінералів, унаслідок чого зменшується його рухомість і засвоюваність рослинами [3]. Одночасно із цим зростає небезпека засолення, що порушує іонний баланс і знижує ефективність мінерального живлення. Такі процеси негативно впливають на фізіологічний стан культур, погіршують якість урожаю та підвищують ризики деградації агроєкосистем.

Мікробіологічна активність, яка є основою процесів перетворення біогенних елементів, істотно залежить від водно-температурного режиму. У посушливі роки спостерігається зниження чисельності мікроорганізмів, що беруть участь у фіксації азоту та мобілізації фосфору [4], тоді як активність нітрифікуючих бактерій залишається відносно стабільною. Це призводить до порушення рівноваги між процесами синтезу і розкладу органічної речовини, а також до зниження біологічної родючості ґрунтів. У результаті навіть за достатнього внесення добрив ефективність їх засвоєння рослинами зменшується.

Одним із найпомітніших наслідків кліматичних змін є деградація гумусового горизонту. За останні півстоліття вміст гумусу в південних чорноземах зменшився на 15-20%, що супроводжується зниженням щільності складення та погіршенням водопроникності. Такі процеси підсилюють аридизацію, оскільки зменшується здатність ґрунту накопичувати і утримувати вологу. Зниження рівня гумусу одночасно означає втрату головного резервуара вуглецю, який є важливою складовою стабільного біохімічного циклу.

В умовах зростаючої кліматичної нестабільності основним завданням сучасного землекористування є збереження балансу біогенних елементів і підтримання родючості ґрунтів. Для цього необхідне впровадження адаптивних технологій, які зменшують негативний вплив посух, ерозії та деградації гумусу. Ефективними напрямками є мінімальний нульовий обробіток ґрунту, використання сидеральних культур, упровадження сівозмін з бобовими, розвиток систем зрошення з раціональним водокористуванням і створення вітрозахисних лісосмуг [5]. Такі заходи сприяють збереженню вологи, стабілізації мікробіологічної активності та запобігають втратам біогенних елементів.

Ключовим аспектом є також систематичний моніторинг стану ґрунтів. Сучасні методи лабораторного аналізу, у поєднанні з дистанційним зондуванням і геоінформаційними технологіями, дають можливість

відстежувати зміни у вмісті основних біогенних елементів, оцінювати масштаби деградаційних процесів і прогнозувати їхній розвиток. Такі дослідження є основою для розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо підтримання родючості ґрунтів у контексті зміни клімату.

Узагальнення результатів дослідження свідчить про прогресуюче порушення біохімічних параметрів ґрунтового середовища Південного Степу України, що проявляється у стійкому зменшенні запасів органічної речовини, дисбалансі азотного, фосфорного та калійного режимів, а також у деградації мікробіологічної активності, яка визначає інтенсивність трансформаційних процесів у ґрунті. Сукупна дія цих чинників формує довготривалу тенденцію до виснаження родючості, поглиблення аридизаційних процесів та зниження екологічної стійкості агроландшафтів.

З огляду на виявлені закономірності, підтримання продуктивного потенціалу агроecosystem можливе лише за умов системного впровадження адаптивних та екологічного орієнтованих технологій землекористування, спрямованих на відновлення гумусового стану, стабілізацію біохімічних циклів і мінімізацію втрат біогенних елементів у контексті зростаючої кліматичної варіабельності. Такий підхід забезпечує формування довготривалих механізмів збереження родючості підтримання біологічної рівноваги та раціонального використання земельних ресурсів у регіонах із підвищеною чутливістю до кліматичних змін.

Перелік посилань

1. Dehtiarov, V. V., & Shcherbakov, O. Y. Humus content in chernozems typical of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine in connection with global climate change. *AgroChemistry and Soil Science*. 2023. Vol. 95. P. 60 – 68.

2. Polevoy, A., Mykytiuk, A., Bozhko, L., Barsukova, E., & Husieva, K. Modelling of the impact of climate change on the transformation of nitrogen forms in the soil and N₂O emissions from the agroecosystems of Eastern Ukraine *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 2023. Vol. 14(2). P. 165 – 172.

3. Panchenko, K., Podorozhnyi, S., & Diuzhykova, T. Predicting organic carbon in European soils: Only in Southern Ukraine can we expect an increase in humus content. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 2024. Vol. 15(1). P. 24 – 30.

4. Demyanyuk, O. S., Symochko, L. Y., & Mostoviak, I. I. Soil microbial diversity and activity in different climatic zones of Ukraine. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, Vol. 11(2). P. 338 – 343.

5. Pysarenko, V. M., Pysarenko, P. V., Pysarenko, V. V., Gorb, O. O., & Chaika, T. O. Droughts in the context of climate changes in Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, Vol. (1). P. 134 – 146.

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ЗМІН В ЗОНАХ БОЙОВИХ ДІЙ

*М.Г. Сербов, д-р екон. наук, професор,
Н.В. Данілова, канд. геогр. наук, доцент
В.В. Пилип'юк, канд. геогр. наук, доцент*
Кафедра агрометеорології та агроекології
agro@onu.edu.ua

Збройні конфлікти та бойові дії спричиняють масштабні, в деяких випадках критичні, деформаційні порушення земної поверхні, руйнування ґрунтового покриву та природних ландшафтів, знищення інфраструктурних об'єктів. Основними наслідками військових конфліктів є руйнування різноманітних об'єктів господарського та соціального призначення, житлових будівель, порушення структури ґрунтів, зміна гідрологічного режиму водойм, у т.ч. горизонтів підземних вод та ін.

У зв'язку з цим постає необхідність у високоточному, систематичному та масштабному моніторингу та оцінки деформаційних змін земної поверхні в зонах активних бойових дій. Враховуючи особливий характер територій, небезпеку під час проведення топографо-геодезичних вимірювань, традиційні методи моніторингу частіше за не можуть бути застосовані фізично. В цьому випадку найбільш доцільним та ефективним інструментом проведення моніторингу земної поверхні стає супутникова інтерферометрія SAR (Synthetic Aperture Radar), технологія яка базується дистанційному зондуванні Землі, що дозволяє вимірювати дуже малі зміни відстані від супутника до земної поверхні з високою точністю на великих територіях [2,3].

Значний прогрес у моніторингу деформацій досягнуто завдяки багаточасовій радарній інтерферометрії (MT-InSAR), що включає такі підходи, як Persistent Scatterer Interferometry (PSI) та Small Baseline Subset (SBAS) [3,8]. Ці методи дозволяють аналізувати велику кількість SAR-зображень, отриманих протягом тривалого періоду, для виявлення та кількісної оцінки повільних, але постійних деформацій. Вони ефективно долають проблеми тимчасової та просторової декореляції, що є важливим для зон зі складною динамікою [4].

Одним з найбільш негативних та руйнівних наслідків військових операцій є порушення ґрунтової екосистеми. Порушення ґрунтового покриву окремих ділянок земної поверхні умовно поділяють на дві великі групи: первинні – прямі механічні деформації, теплове забруднення та засмічення поверхні; вторинні – наслідки відсутності повоєнного відновлення, такі як підтоплення, засолення, ерозія, пірогенна деградація та дегуміфікація [1,5].

Застосування InSAR для оцінки деформаційних змін у зонах бойових дій вимагає адаптації стандартних методологій та врахування специфічних факторів, таких як:

- динамічний характер змін ландшафту, що може призводити до некогерентності радарного сигналу, адже руйнування будівель, переміщення техніки та пожежі значно ускладнюють формування стабільних когерентних точок;

- значні деформації спричиняють масштабні, різкі деформації, які перевищують межі чутливості стандартних InSAR методів;

- відсутність стабільних референсних точок для прив'язки;

- атмосферні явища можуть впливати на затримку радарного сигналу, що, в першу чергу, відноситься до великими територіями, охопленими бойовими діями;

- вплив рельєфу рельєф місцевості та частково зруйнованої міської забудови, що ускладнює точну інтерферометричну обробку;

- погана відбивна здатність рослинності, які змінюють шлях поширення радіолокаційного сигналу, що призводить до втрати фазової інформації між послідовними знімками, зменшує інтенсивність сигналу, ускладнюючи точне визначення фази.

Для подолання вищезгаданих викликів необхідно застосовувати спеціалізовані InSAR методи та техніки [3,7,8]:

- багатотимчасовий InSAR (MT-InSAR), який включає методи аналізу – PS-InSAR (Persistent Scatterer Interferometry) та SBAS (Small BAseline Subset). Це підвищує надійність вимірювань за рахунок усереднення атмосферних ефектів та ідентифікації стабільних (постійних) розсіювачів або когерентних пікселів, які зберігають когерентність тривалий час;

- швидкий InSAR моніторинг для виявлення раптових і значних деформацій та використання короткої часової бази з застосуванням аналізу послідовності знімків SAR високої частоти збору даних супутників Sentinel-1, TerraSAR-X, COSMO-SkyMed;

- комбінування InSAR даних або інтеграція з іншими оптичними зображеннями високої роздільної здатності, що покращить інтерпретацію отриманих деформаційних полів та розрізнить типи деформацій;

- застосування сучасних алгоритмів з автоматизацією ідентифікації областей деформацій, їхню класифікацію за типом та «фільтрацію шуму», спричиненого бойовими діями;

- моделювання деформацій або розробка геомеханічних моделей, враховуючи властивості ґрунтів, підстилаючи поверхні, а також характер впливу бойовий дій.

Однією з ключових переваг такої технології є можливість створення карт деформації земної поверхні, цифрових моделей рельєфу (DEM), детальних цифрових моделей стабільності територій, шляхом використання фазових зрушень в радіосигналах супутника для визначення

зсувів з точністю до декількох міліметрів. Це сприяє глибшому розумінню геодинамічних процесів, моніторингу стабільності інфраструктури та ефективному плануванню відновлювальних робіт, особливо у важкодоступних або небезпечних зонах. А також надає можливість не лише підвищити якість даних, але й зменшити обсяг польових робіт, що особливо важливо у зонах ведення бойових дій.

Міжнародний та вітчизняний досвід демонструє ефективність впровадження методів обробки InSAR даних під час оцінки деформацій земельних ділянок [8]. В Україні зазначена методика була використана під оцінки деформаційних змін міст Ірпінь, Буча та Гостомель.

Попри очевидні переваги, використання супутникової інтерферометрії для оцінки деформацій земельних ділянок у зонах бойових дій супроводжується певними викликами, а саме: динамічний характер змін ландшафту, відсутність стабільних референсних точок, чутливість до погодних умов, затінення та спотворення через рельєф території та зруйнованої міської забудови, погана відбивна здатність рослинності.

Перелік посилань

1. Голубцов О., Сорокіна Л., Сплодитель А., Чумаченко С. *Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу*. Київ, 2023. 32 с.
2. Кухтар Д., Олесків Р. Метод диференціальної радарної інтерферометрії для моніторингу територій підземного сховища газу. *Технічні науки та технології*. Чернігів, 2023. № 3(33). С. 235-241.
3. Сербов М.Г., Данілова Н.В., Пилип'юк В.В. Застосування інтерферометрії дистанційного зондування для моніторингу деформації земель у зонах бойових дій: методологічні засади та прикладні аспекти. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 17. Ч. 2. 2025. С. 266-278 <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2025-117.2-266-278>
4. Станкевич С. А., Свіденюк М. О., Дудар Т. В. Застосування багаточасової радарної інтерферометрії для виявлення зміщення земної поверхні для території урановидобування в Україні. *Екологічна безпека*. Кременчук: 2019. № 2 (28). С. 18-23.
5. Третяк К., Брусак І. Сучасні деформації земної кори території заходу України за даними ГНСС мережі «GEOTERRACE». *Геодинаміка*. Львів, 2022 №1(32). С. 16-25
6. Углицьких Є., Вижва С., Іванік О. Моніторинг вертикальних зміщень земної поверхні території Закарпаття за даними радарної інтерферометрії. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. Київ, 2020. № 4(91). С. 94-99.
7. Aimaiti Y., Sanon C., Koch M., Baise LG., Moaveni B. War Related Building Damage Assessment in Kyiv, Ukraine, Using Sentinel-1 Radar and Sentinel-2 Optical Images. *Remote Sensing*. 2022; № 14(24):6239. <https://doi.org/10.3390/rs14246239>.
8. Boni R., Pilla G., Meisina C. Methodology for Detection and Interpretation of Ground Motion Areas with the A-DInSAR Time Series Analysis. *Remote Sens*. 2016. № 8. P. 686. <https://doi.org/10.3390/rs8080686>



Підсекція

ВОДНІ БІОРЕСУРСИ ТА АКВАКУЛЬТУРА



РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕГРОВаних НАВЧАЛЬНИХ КЕЙСІВ З ОХОРОНИ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

М. І. Бургаз, канд. біол. наук, доцент,
Кафедра водних біоресурсів та аквакультури

marynaburhaz@gmail.com

О. А. Бургаз, канд. геогр. наук, доцент
Кафедра екологічного права і контролю

alexburgaz84@gmail.com

Анотація. У роботі висвітлено досвід розроблення та впровадження інтегрованих навчальних кейсів у процесі викладання дисциплін освітньо-професійної програми «Охорона, відтворення та раціональне використання гідробіоресурсів». Обґрунтовано ефективність кейс-методу як інструменту формування екологічної та професійної компетентності майбутніх фахівців аквакультурного напрямку. Зазначено можливості інтеграції реальних гідроекологічних даних, регіональних прикладів з Одеської області та цифрових технологій у зміст кейсів. Наведено міжнародний досвід використання кейсів у підготовці спеціалістів водного господарства.

Ключові слова: кейс-метод, водні біоресурси, аквакультура, екологічна освіта, компетентнісний підхід.

Abstract. The paper highlights the experience of developing and implementing integrated educational case studies in the teaching process of the educational and professional program “Protection, Reproduction, and Rational Use of Aquatic Bioresources.” The effectiveness of the case method is substantiated as a tool for forming environmental and professional competencies among future aquaculture specialists. The paper outlines the possibilities of integrating real hydroecological data, regional examples from the Odesa region, and digital technologies into the content of case studies. It also presents international experience in applying the case method to the training of professionals in the field of water management.

Keywords: case method, aquatic bioresources, aquaculture, environmental education, competence-based approach.

Актуальність. Сучасна система вищої освіти України орієнтована на компетентнісний підхід, який вимагає інтеграції теоретичних знань і практичного досвіду. Для спеціальності Н5 «Водні біоресурси та аквакультура» це особливо важливо, адже діяльність майбутніх фахівців пов'язана з реальними екосистемами, що перебувають під впливом антропогенних і кліматичних чинників.

Традиційні лекційно-лабораторні форми навчання не завжди дозволяють сформувати навички прийняття управлінських рішень, критичного аналізу екологічних ризиків та пошуку компромісів між економічними й природоохоронними інтересами.

Кейс-метод, заснований на аналізі конкретних ситуацій, створює умови для розвитку системного мислення, колективної взаємодії та здатності прогнозувати наслідки управлінських рішень. Згідно з міжнародним досвідом (FAO, UNESCO, Wageningen University, University of Stirling) [1-4], використання кейсів у біологічній та екологічній освіті суттєво підвищує якість підготовки спеціалістів водного сектору.

Крім того, актуальність теми зумовлена потребою адаптації освітнього процесу до викликів змішаного та дистанційного навчання, що актуалізує цифровізацію навчальних кейсів – використання ГІС, супутникових даних, відеоматеріалів із польових практик, онлайн-дискусійних платформ.

Виклад основного матеріалу. Інтегровані навчальні кейси створювалися на базі фактичних матеріалів кафедри водних біоресурсів та аквакультури ОНУ імені І.І. Мечникова. Джерелом інформації слугували результати спостережень за станом Хаджибейського, Сухого, Тилігульського, Шаболатського та Дністровського лиманів, дані гідрохімічних аналізів і звіти НДР щодо змін у структурі іхтіофауни.

Приклади кейсів:

- ✓ *«Евтрофікація лиману: шляхи зменшення фітопланктонної біомаси»* – здобувачі аналізують реальні дані про концентрації азоту та фосфору, пропонують біотехнологічні заходи очищення (використання водоростей-біофільтрів).
- ✓ *«Рибогосподарський баланс при зниженні солоності водойми»* – дослідження можливості збереження популяцій солонуватоводних видів.
- ✓ *«Конфлікт інтересів у прибережних екосистемах»* – моделювання переговорів між аквакультурним підприємством, громадою та природоохоронною організацією.

Для підвищення наочності розроблені цифрові карти кейсів, інтегровані у навчальне середовище *Moodle*, а також використано онлайн-інструменти аналітики (*Google Earth, ArcGIS, Power BI*).

Як показує аналіз, в усіх моделях акцент робиться на поєднанні наукових даних і практичних рішень, що відповідає завданням української аквакультурної освіти (табл. 1).

Табл. 1 демонструє, що провідні університети світу активно застосовують кейс-метод для формування практично-орієнтованого навчання у галузях біології, екології та рибництва.

В усіх прикладах спостерігається акцент на реальних даних моніторингу, участі здобувачів у польових дослідженнях і моделюванні управлінських рішень. Досвід показує, що кейси, засновані на проблемах евтрофікації, аквакультурної стійкості, кліматичних впливів, є універсальними для навчання екологічно спрямованих спеціальностей.

Таблиця 1 - Порівняння практик застосування кейс-методу у біологічній освіті

| Країна / заклад | Спеціальність | Приклади кейсів | Результати впровадження |
|--|----------------------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Україна (ОНУ імені І.І.Мечникова) | Водні біоресурси та аквакультура | Евтрофікація лиманів, біофільтрація, управління запасами риб | Зростання активності здобувачів, міждисциплінарне мислення |
| Wageningen University (Нідерланди) | Environmental Sciences | Restoration of Eutrophic Lakes, Aquaculture Sustainability | Розвиток аналітичних навичок, практична орієнтація |
| University of Stirling (Велика Британія) | Aquaculture and Marine Biology | Fish Health Management, Blue Growth Scenarios | Формування управлінських компетенцій |
| University of British Columbia (Канада) | Ecology and Fisheries | Climate Impact on Salmon Populations | Здатність до екологічного прогнозування та планування |
| Tokyo University of Marine Science and Technology (Японія) | Marine Ecosystem Management | Integrated Coastal Zone Case Studies | Навички міжгалузевої комунікації |

Для кафедри водних біоресурсів та аквакультури ОНУ імені І. І. Мечникова впровадження подібного підходу є не лише педагогічним нововведенням, а й кроком до інтеграції університету в європейський простір екологічної освіти.

Висновки: Інтегровані навчальні кейси з охорони водних екосистем виступають дієвим інструментом реалізації сучасних освітніх стратегій. Їх значення на сьогодні визначається кількома аспектами:

1. Відповідність вимогам цифрової освіти та сталого розвитку. Кейс-метод дозволяє створювати інтерактивні, мультимедійні та дистанційні формати навчання, що забезпечують безперервність освітнього процесу навіть за умов воєнних чи техногенних обмежень.

2. Практична спрямованість підготовки фахівців. Кейс дає студентам можливість опрацьовувати реальні ситуації з господарств, лиманів і лабораторій, що підвищує готовність до професійної діяльності.

3. Інтеграція освіти, науки та практики. Впровадження кейсів, заснованих на результатах НДДКР кафедри, забезпечує безпосередній зв'язок між науковими розробками й навчальним процесом.

4. Міжнародна сумісність. Метод відповідає європейським освітнім тенденціям, рекомендованим FAO та UNESCO, та відкриває можливості для академічної мобільності й спільних освітніх проєктів.

5. Формування екологічної відповідальності. Здобувачі навчаються оцінювати вплив господарської діяльності на водні ресурси, що сприяє усвідомленню власної ролі у збереженні екологічної рівноваги.

Отже, актуальність теми полягає у поєднанні педагогічних інновацій, наукових досліджень і глобальних викликів, що стоять перед сферою аквакультури. Інтегровані кейси формують практичну компетентність і екологічну культуру нового покоління фахівців, що є запорукою сталого розвитку водних біоресурсів України.

Перелік посилань

1. FAO. *Blue Transformation: Roadmap for Sustainable Aquatic Food Systems*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023. 68 p.

2. UNESCO. *Integrating Research and Education for Sustainable Development*. Paris: UNESCO Publishing, 2021. 74 p.

3. Wageningen University. *Case-Based Learning in Environmental and Life Sciences*. Wageningen: Wageningen University Press, 2022. 55 p.

4. University of Stirling. *Integrated Approaches in Aquaculture Education: Linking Research, Practice and Policy*. Stirling: Institute of Aquaculture, 2022. 62 p.

5. Освітньо-професійна програма «Охорона, відтворення та раціональне використання гідробіоресурсів». Одеса, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова. 2025.

**ІНТЕГРАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
КАФЕДРИ У НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС СПЕЦІАЛЬНОСТІ Н5
«ВОДНІ БІОРЕСУРСИ ТА АКВАКУЛЬТУРА»**

**М. І. Бургаз, канд. біол. наук, доцент,
П. В. Шекк, д-р сільк.-госп. наук, професор,
М. Г. Сербов, д-р екон. наук, професор**

Кафедра водних біоресурсів та аквакультури

marynaburhaz@gmail.com, shekk@ukr.net, serbovng@gmail.com

Анотація. У роботі розглядається досвід поєднання результатів наукових досліджень кафедри водних біоресурсів та аквакультури Одеського національного університету імені І.І. Мечникова з освітнім процесом підготовки здобувачів спеціальності Н5 «Водні біоресурси та аквакультура». Визначено напрями, у яких наукові здобутки кафедри трансформуються в навчальні курси, лабораторні роботи, польові практики й кваліфікаційні дослідження здобувачів. Узагальнено міжнародний досвід інтеграції науки та освіти у водогосподарській сфері та наведено порівняльний аналіз сучасних підходів до цього процесу.

Abstract. The paper presents the experience of integrating the results of scientific research conducted by the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture of Odesa I.I. Mechnikov National University into the educational process of training students majoring in N5 “Aquatic Bioresources and Aquaculture.” The main directions are identified in which the department’s scientific achievements are transformed into academic courses, laboratory classes, field practices, and students’ qualification research projects. The paper also summarizes international experience in integrating science and education in the field of water management and provides a comparative analysis of current approaches to this process.

Актуальність. Сучасна освіта у галузі водних біоресурсів неможлива без постійного оновлення змісту навчальних дисциплін відповідно до розвитку науки та технологій. Інтеграція результатів наукових досліджень у навчальний процес є одним із головних чинників підвищення якості підготовки фахівців, оскільки забезпечує наукову достовірність, практичну спрямованість і інноваційний характер освіти.

Особливої актуальності цей підхід набуває в умовах екологічних та соціально-економічних викликів, пов’язаних із зміною клімату, деградацією водних екосистем і потребою у відновленні біоресурсів України.

Кафедра водних біоресурсів та аквакультури ОНУ імені І.І. Мечникова вже понад п'ятнадцять років проводить дослідження з питань гідроекології лиманів Північно-Західного Причорномор'я, сталого рибництва, впливу гідротехнічних споруд на іхтіофауну, а також

технологій використання водоростей у біофільтраційних системах. Отримані результати мають не лише наукову, а й методичну цінність – вони стають основою монографій, лекцій, лабораторних та практичних занять, методичних посібників і кейсів.

Виклад основного матеріалу. Інтеграція науки та освіти в межах спеціальності Н5 «Водні біоресурси та аквакультура» здійснюється комплексно та системно, охоплюючи як зміст навчальних дисциплін, так і практичну та дослідницьку підготовку здобувачів. Вона передбачає безпосереднє використання результатів науково-дослідних і експедиційних робіт кафедри водних біоресурсів та аквакультури в освітньому процесі. Зокрема, дані багаторічних досліджень лиманів і ставкових господарств Одеської області включаються до лекційних курсів з «Аквакультури природних водойм», «Гідробіології», «Охорони гідробіоресурсів» та низки вибіркових дисциплін [1]. На основі реальних гідрохімічних і гідробіологічних показників – температури, солоності, насичення води киснем, вмісту азоту, фосфору та органічних сполук – здобувачі виконують статистичний аналіз, графічну обробку та моделювання екологічних процесів, що дозволяє засвоювати не лише теоретичні основи, а й наукові методи оцінки стану водних екосистем.

Під час польових практик та виїзних експедицій, що проводяться на Хаджибейському, Тилігульському, Сухому, Шаболатському та Дністровському лиманах, а також на інших водоймах області здобувачі вищої освіти беруть безпосередню участь у дослідницьких заходах, узгоджених із тематикою кафедральних науково-дослідних робіт. Вони здійснюють відбір проб води, зразків фітопланктону, зоопланктону та бентосу, визначають основні фізико-хімічні параметри середовища, проводять біоіндикаційну оцінку якості води за видовим складом гідробіонтів. Отримані результати передаються до електронної бази кафедри, що формується як відкрите сховище для подальших наукових узагальнень і порівняльного аналізу між роками. Такий підхід дозволяє здобувачам долучатися до реальної наукової діяльності, набувати досвіду польових досліджень і розуміти механізми формування екологічних висновків.

Важливою складовою інтеграції науки та освіти є залучення здобувачів до кафедральних і міжуніверситетських проєктів, спрямованих на вивчення стану водних біоресурсів та екосистем Причорномор'я. Щорічно кафедра організовує участь здобувачів у внутрішніх і міжнародних конференціях, таких як «Сучасні проблеми раціонального використання водних біоресурсів», «Інноваційні підходи до раціонального використання водних біоресурсів та розвитку аквакультури», Міжнародна наукова конференція м. Рига, Латвійська Республіка, «Екологічний стан навколишнього середовища та раціональне природокористування в контексті сталого розвитку» та багато інших. Здобувачі виступають на

науковому гуртку *Fish & Science* із результатами власних досліджень, що виконуються під керівництвом викладачів, а отримані матеріали нерідко стають основою курсових і кваліфікаційних робіт. Участь у наукових заходах підвищує академічну активність, формує вміння презентувати результати, аргументувати позицію, а також розвиває навички колективної наукової роботи.

Не менш важливою є розробка навчально-методичних матеріалів, заснованих на власних дослідженнях кафедри. Викладачі готують методичні рекомендації, що містять авторські таблиці гідрохімічних параметрів, карти розподілу домінуючих видів риб і безхребетних, а також результати експериментів із біофільтраційних систем, у яких використовуються водорості роду *Chlorella* та *Cladophora* [1]. Завдяки цьому здобувачі мають змогу опрацьовувати дані, отримані у реальних експериментальних умовах, що сприяє розвитку аналітичного мислення, екологічного прогнозування та професійної компетентності.

Суттєву роль у підвищенні якості освітнього процесу відіграє міжнародна співпраця кафедри та залучення світового досвіду інтеграції науки в освіту. Провідні університети світу демонструють високий рівень поєднання досліджень та навчання. Так, Wageningen University (Нідерланди) впроваджує систему *Research-Based Education*, у межах якої кожен навчальний курс спирається на актуальні наукові результати з проблем функціонування водних екосистем [2-5]. University of Stirling (Велика Британія) реалізує модель *Aquaculture Innovation Network*, що поєднує практичне навчання здобувачів із дослідницькою роботою в аквакультурних фермах. University of Bergen (Норвегія) у межах програми *Fjord Ecology Monitoring* активно залучає здобувачів до моніторингових досліджень фіордів, інтегруючи польові дані у зміст лекцій та лабораторних курсів. Аналіз таких підходів свідчить, що інтеграція науки та освіти є глобальною тенденцією, спрямованою на формування здатності майбутніх фахівців критично мислити, працювати з великими масивами екологічних даних і впроваджувати науково обґрунтовані рішення у практику [2-5].

Таким чином, досвід кафедри водних біоресурсів та аквакультури Одеського національного університету імені І.І. Мечникова демонструє ефективну інтеграцію наукових результатів у навчальний процес, що забезпечує формування у здобувачів освіти цілісного уявлення про сучасні виклики збереження, відтворення та раціонального використання гідробіоресурсів, підвищує якість професійної підготовки і сприяє становленню майбутніх фахівців як активних учасників наукової спільноти.

Висновки: Інтеграція результатів наукових досліджень у навчальний процес є стратегічним напрямом розвитку освіти у сфері водних біоресурсів. Її ефективність визначається такими чинниками:

1. Безперервний зв'язок науки й освіти.

Результати досліджень кафедри стають безпосереднім підґрунтям для змісту лекцій, лабораторних, практичних занять і практик, що забезпечує наукову достовірність навчання.

2. Формування дослідницької компетентності.

Здобувачі навчаються працювати з реальними екологічними даними, розробляти гіпотези, проводити спостереження та оформлювати результати у науковому форматі.

3. Підвищення мотивації до навчання.

Участь у дослідницьких проектах формує почуття професійної залученості та відповідальності за результати своєї праці.

4. Міжнародна конкурентоспроможність випускників.

Освітні програми, побудовані на інтеграції науки, відповідають принципам європейських університетів і створюють можливості для академічної мобільності.

5. Внесок у регіональну екологічну політику.

Через навчальні дослідження кафедра сприяє моніторингу стану лиманів і розробці практичних рекомендацій для місцевих громад та підприємств аквакультури.

Таким чином, інтеграція науки й освіти не лише підвищує якість фахової підготовки, але й формує культуру наукового мислення та екологічної відповідальності, необхідну для управління гідробіоресурсами у XXI столітті.

Перелік посилань

1. Освітньо-професійна програма «Охорона, відтворення та раціональне використання гідробіоресурсів». Одеський національний університет імені І.І. Мечникова. Одеса, 2024.
2. FAO. *Aquaculture for Sustainable Development: Blue Transformation Roadmap*. Rome, 2023.
3. Kolb D. A. *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice Hall, 2015.
4. Wageningen University. *Research-Based Education in Environmental Sciences*. Wageningen, 2022.
5. UNESCO. *Integrating Research and Education for Sustainable Development*. Paris, 2021.

**ЕФЕКТИВНІСТЬ МІЖДИСЦИПЛІНАРНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ КУРСІВ
«ГІДРОБІОЛОГІЯ», «ІХТІОЛОГІЯ (ЗАГАЛЬНА ТА СПЕЦІАЛЬНА)»
ТА «АКВАКУЛЬТУРА ПРИРОДНИХ ВОДОЙМ»
У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ**

Т. І. Матвієнко, старший викладач

О. М. Соборова, канд. геогр. наук, доцент,

Р. В. Сидорак, викладач

Кафедра водних біоресурсів та аквакультури

tatyana.matvienko@gmail.com, olkasobr@gmail.com, fireflyrvs@gmail.com

Анотація. Розглянуті особливості міждисциплінарної інтеграції базових курсів біологічного та рибогосподарського циклів – «Гідробіологія», «Іхтіологія (загальна та спеціальна)» та «Аквакультура природних водойм» – у процесі професійної підготовки студентів спеціальності Н5 «Водні біоресурси та аквакультура». Показано, що поєднання цих навчальних дисциплін сприяє формуванню комплексного наукового світогляду, розвитку аналітичних навичок і практичної компетентності майбутніх фахівців. Обґрунтовано дидактичні та методичні засади інтеграції, проаналізовано її вплив на результати навчання та наведено приклади реалізації на кафедрі водних біоресурсів та аквакультури ОНУ імені І.І. Мечникова.

Abstract. The paper explores the features of interdisciplinary integration of the core courses in the biological and fishery cycles – Hydrobiology, Ichthyology, and Aquaculture of Natural Water Bodies – within the professional training of students in the specialty Н5 “Aquatic Bioresources and Aquaculture.” It is demonstrated that the integration of these academic disciplines promotes the formation of a comprehensive scientific worldview, the development of analytical abilities, and the enhancement of practical competence among future professionals. The didactic and methodological foundations of this integration are substantiated, its impact on learning outcomes is analyzed, and examples of its implementation at the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture of Odesa I.I. Mechnikov National University are presented.

Актуальність. Міждисциплінарність є ключовим принципом сучасної біологічної освіти, особливо у галузі водних біоресурсів та аквакультури, де об’єктом вивчення є складні екосистеми з багаторівневими взаємозв’язками між гідробіонтами, середовищем і господарською діяльністю людини. Традиційне поділ навчальних дисциплін за напрямками – біологічний, технологічний, екологічний – нерідко призводить до фрагментарності знань і труднощів у застосуванні теоретичних положень на практиці.

Інтеграція курсів «Гідробіологія», «Іхтіологія» та «Аквакультура природних водойм» є логічним кроком до формування системного бачення гідроекологічних процесів і підготовки фахівця, здатного комплексно оцінювати стан водних екосистем, прогнозувати зміни біопродуктивності та розробляти біотехнологічні рішення у сфері рибництва [1].

На сьогодні актуальність такого підходу зумовлена необхідністю адаптації освітнього процесу до вимог Європейського простору вищої освіти (ЕНЕА) та Національної рамки кваліфікацій України, де наголошено на інтегрованому характері навчальних результатів і практичній спрямованості підготовки. Крім того, в умовах кліматичних змін і деградації водних об'єктів професійна діяльність фахівців аквакультурного профілю потребує міждисциплінарного мислення, що об'єднує знання про біологію гідробіонтів, екологію водойм і методи господарського використання водних ресурсів.

Виклад основного матеріалу. Міждисциплінарна інтеграція означає узгодження змісту, форм і методів викладання суміжних курсів, які відображають різні аспекти єдиної природної системи – водного біоценозу. На кафедрі водних біоресурсів та аквакультури ОНУ імені І. І. Мечникова вона реалізується через спільне планування навчальних програм, координацію тем лекцій, проведення інтегрованих лабораторних і польових занять, а також використання єдиного інформаційно-аналітичного середовища для збору й обробки даних.

Курс «Гідробіологія» забезпечує фундаментальні знання про структуру та функціонування водних екосистем, закономірності формування біопродуктивності, роль абіотичних факторів і трофічних ланцюгів [1]. «Іхтіологія (загальна та спеціальна)» поглиблює розуміння закономірностей життєдіяльності риб, їх фізіологічних потреб, поведінкових реакцій та адаптацій до умов середовища [3]. Курс «Аквакультура природних водойм» синтезує ці знання для розроблення і впровадження технологічних рішень з вирощування, охорони та раціонального використання гідробіоресурсів [2].

Поєднання змісту цих дисциплін дає змогу будувати навчання за принципом «від природного процесу – до технологічного рішення». Наприклад, аналіз структури планктонних і донних угруповань (гідробіологічний блок) поєднується з вивченням спектра живлення риб (іхтіологічний блок) і розрахунками кормової бази водойми для оптимізації зариблення (аквакультурний блок). У лабораторних роботах студенти спостерігають залежність росту мальків від температурного режиму, вмісту кисню та біомаси зоопланктону, здійснюють моделювання енергетичних ланцюгів водойми та оцінюють ефективність природної продуктивності.

Особлива увага приділяється польовим практикам та виїзним експедиціям, що проводяться на Хаджибейському, Дністровському,

Тилігульському та Сухому лиманах, а також на інших водоймах, де здобувачі виконують комплексні спостереження – від визначення гідрохімічних параметрів до аналізу іхтіофауни й оцінки біотичних взаємодій. Підсумкові роботи студентів оформлюються у вигляді міні-звітів, де узагальнюються результати досліджень за трьома дисциплінами. Такі матеріали включаються до кафедральної бази даних, що використовується у подальших НДР і методичних розробках.

Міждисциплінарна взаємодія виявляється також у підготовці навчально-методичних матеріалів: створено інтегровані лабораторні зошити, тестові завдання, електронні модулі *Moodle*, які охоплюють спільні теми – «Біоіндикація стану водойм», «Енергетичні ланцюги у гідробіоценозах», «Виробничі карти зариблення». Це сприяє формуванню у студентів навичок комплексного аналізу природних явищ, системного мислення та застосування знань у реальних умовах виробництва.

Порівняльний аналіз зарубіжних освітніх практик свідчить, що міждисциплінарна інтеграція активно впроваджується у провідних європейських університетах. Так, *Wageningen University* (Нідерланди) реалізує підхід *Life Sciences Integration*, у межах якого екологічні, біологічні та технологічні дисципліни поєднані у спільні навчальні блоки. *University of Stirling* (Велика Британія) застосовує модель *Integrated Aquaculture Curriculum*, де кожна лабораторна робота об'єднує гідробіологічний, фізіологічний і менеджментський аспекти. У *University of Bergen* (Норвегія) використовується проектна система навчання *Marine Ecology in Practice*, що передбачає виконання студентами комплексних кейсів із залученням методів іхтіології, гідробіології та управління водними ресурсами.

У табл. 1 узагальнено форми інтеграції курсів «Гідробіологія», «Іхтіологія (загальна та спеціальна) та «Аквакультура природних водойм» у навчальному процесі ОНУ. Наведені приклади демонструють, що поєднання теоретичних і практичних аспектів трьох дисциплін створює умови для формування комплексного підходу до оцінки стану водойм та управління їх біопродуктивністю. Такий досвід відповідає сучасним тенденціям розвитку екологічної освіти в Європі, де пріоритет надається системності знань, міжпредметній взаємодії та прикладному характеру навчання.

Висновки. Міждисциплінарна інтеграція курсів «Гідробіологія», «Іхтіологія (загальна та спеціальна)» та «Аквакультура природних водойм» є ефективним засобом підвищення якості професійної підготовки фахівців зі спеціальності «Водні біоресурси та аквакультура». Її впровадження забезпечує: формування цілісного наукового світогляду студентів, що поєднує екологічні, фізіологічні та технологічні знання; розвиток навичок комплексного аналізу природних процесів та прийняття рішень на основі системного мислення; підвищення мотивації до навчання через залучення

до практичних досліджень і міждисциплінарних проєктів; гармонізацію змісту освіти з європейськими стандартами та потребами сучасного ринку праці у сфері водного господарства й аквакультури.

Таблиця 1 - Приклади реалізації міждисциплінарної інтеграції курсів у системі професійної підготовки

| Напрямок інтеграції | Приклад реалізації на кафедрі водних біоресурсів та аквакультури ОНУ імені І. І. Мечникова | Очікувані результати |
|--|--|--|
| Спільні лекційні та лабораторні модулі | Тема «Водна трофічна мережа та її продуктивність» поєднує елементи гідробіології, іхтіології та аквакультури | Формування системного мислення |
| Польові комплексні практики | Дослідження водойм Одеської області за єдиною методикою спостереження за планктоном, рибами і параметрами води | Розвиток практичних умінь |
| Інтегровані завдання у Moodle | Електронні тести, що об'єднують матеріал трьох курсів | Поглиблення міжпредметних зв'язків |
| Проектно-дослідницька діяльність | Колективні курсові проєкти «Біопродуктивність водойми та оптимізація зариблення» | Розвиток аналітичних і дослідницьких навичок |
| Використання єдиної бази даних кафедри | Обробка гідрохімічних і іхтіологічних даних для статистичного аналізу | Формування компетентностей у роботі з науковими даними |

Завдяки такому підходу кафедра водних біоресурсів та аквакультури ОНУ формує нову модель підготовки фахівців, здатних діяти на перетині біології, екології та технології, що є ключовою умовою сталого розвитку водних біоресурсів України.

Перелік посилань

1. Освітньо-професійна програма «Охорона, відтворення та раціональне використання гідробіоресурсів». Одеський національний університет імені І.І. Мечникова. Одеса, 2024.
2. Соборова О.М., Сидорак Р.В. Робоча програма навчальної дисципліни «Гідробіологія», Одеса, ОНУ, 2025, 26с.
3. Бургаз М.І., Сидорак Р.В. Робоча програма навчальної дисципліни «Аквакультура природних водойм», Одеса, ОНУ, 2025, 23с.
4. Матвієнко Т.І. Робоча програма навчальної дисципліни «Іхтіологія (загальна та спеціальна)», Одеса, ОНУ, 2025, 27 с.

ІНТЕГРАЦІЯ ГЕНЕТИЧНИХ І СЕЛЕКЦІЙНИХ ЗНАНЬ У СИСТЕМІ НАВЧАННЯ СПЕЦІАЛЬНОСТІ Н5 «ВОДНІ БІОРЕСУРСИ ТА АКВАКУЛЬТУРА»

І. В. Катинська, канд. геогр. наук, доцент

А. І. Лічна, старший викладач

Кафедра водних біоресурсів та аквакультури

iryakatynska7@gmail.com, lichnaya.nastya.95@gmail.com

Анотація. У роботі розглянуто методичні підходи до інтеграції дисциплін «Генетика риб» та «Розведення і селекція риб» у процес професійної підготовки майбутніх фахівців спеціальності Н5 «Водні біоресурси та аквакультура». Визначено дидактичні зв'язки між фундаментальними генетичними знаннями та їх практичним застосуванням у селекційній роботі в аквакультурі. Проаналізовано досвід кафедри водних біоресурсів та аквакультури Одеського національного університету імені І.І. Мечникова, а також наведено приклади ефективної інтеграції генетичних і селекційних модулів у навчальні програми провідних університетів світу.

Ключові слова: генетика риб, селекція, аквакультура, міждисциплінарна інтеграція, компетентнісний підхід.

Abstract. The paper examines methodological approaches to integrating the courses *Fish Genetics* and *Fish Breeding and Selection* into the professional training of future specialists in the field N5 “Aquatic Bioresources and Aquaculture.” The didactic connections between fundamental genetic knowledge and its practical application in aquaculture breeding programs are identified. The experience of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture at Odesa I.I. Mechnikov National University is analyzed, along with examples of effective integration of genetic and breeding modules into the curricula of leading universities worldwide.

Keywords: fish genetics, breeding, aquaculture, interdisciplinary integration, competence-based approach.

Актуальність. У сучасній аквакультурі зростає значення генетичних методів удосконалення продуктивних якостей риб, підвищення стійкості до хвороб і пристосованості до змін середовища. Підготовка фахівців у цій сфері вимагає не лише засвоєння теоретичних основ спадковості, мінливості та селекційних процесів, а й уміння застосовувати ці знання під час розроблення програм розведення цінних видів.

Традиційне розмежування курсів «Генетика риб» (як фундаментальної дисципліни) та «Розведення і селекція риб» (як прикладної) часто призводить до розриву між теорією та практикою. Міждисциплінарна інтеграція дає змогу усунути цю суперечність, створивши цілісну систему підготовки, у якій базові знання про спадковість і генетичну мінливість

безпосередньо пов'язуються з методами добору, гібридизації, штучного відбору та оцінки племінного матеріалу [1, 2].

Актуальність інтегрованого підходу зумовлена не лише освітніми, а й соціально-економічними факторами. Україна бере участь у міжнародних програмах FAO Blue Transformation і European Aquaculture Technology Platform, де одним із ключових напрямів є генетичне поліпшення риб у сталих умовах вирощування. Тому формування у здобувачів комплексних компетентностей на перетині генетики, біотехнології та рибництва відповідає світовим трендам і національним пріоритетам розвитку аквакультури[3].

Виклад основного матеріалу. Інтеграція курсів «Генетика риб» та «Розведення і селекція риб» на кафедрі водних біоресурсів та аквакультури ОНУ реалізується шляхом узгодження навчальних планів, об'єднання лабораторних тем, розробки спільних кейсів і проектів, а також створення єдиного цифрового освітнього середовища для аналізу генетичних і селекційних даних [1,2].

Курс «Генетика риб» формує у здобувачів знання про закономірності спадковості, поліморфізм популяцій, мутаційну мінливість, гібридизацію та молекулярно-генетичні механізми адаптації. Він забезпечує базу для розуміння внутрішньопопуляційної структури, оцінки генетичного різноманіття й ролі генетичних факторів у відтворенні популяцій [1,4].

Дисципліна «Розведення і селекція риб» є прикладним продовженням цього курсу, орієнтованим на практичне застосування генетичних принципів. Здобувачі вивчають методи добору за господарсько-корисними ознаками, створення гібридних форм, використання маркерів для оцінки племінного матеріалу, технології збереження генетичних ресурсів та запобігання інбридингу у племінних стадах [2,4].

Міждисциплінарна інтеграція забезпечує послідовний перехід від молекулярних і клітинних механізмів спадковості до популяційних і прикладних процесів селекції. Наприклад, у спільних лабораторних роботах здобувачі аналізують генетичні маркери (*microsatellite DNA*, *mtDNA haplotypes*) для оцінки родинних зв'язків у групах коропа або товстолобика, а потім застосовують результати для моделювання селекційних програм підвищення продуктивності. У межах модулів розробляються міні-проекти «Генетичний моніторинг рибозплідного стада» чи «Вибір селекційних пар за фенотиповими та генетичними показниками».

Такі завдання поєднують знання з генетики, статистики, біоінформатики та практичного рибництва. Викладачі створюють спільні бази даних, що містять фенотипові показники (маса, довжина, коефіцієнт вгодованості) і генетичні маркери, а здобувачі проводять кореляційний аналіз між генотипом і господарськими ознаками.

Таблиця 1 - Взаємозв'язок змістових модулів курсів «Генетика риб» і «Розведення і селекція риб» у системі професійної підготовки

| Модулі курсу «Генетика риб» | Відповідні модулі курсу «Розведення і селекція риб» | Практичні компетентності здобувачів |
|--|---|--|
| Молекулярні основи спадковості | Генетичні принципи селекції | Розуміння механізмів спадковості та їхнього застосування у доборі |
| Поліморфізм і генетична мінливість популяцій | Оцінка племінного матеріалу | Здатність аналізувати генетичну структуру рибних стад |
| Мутації та гібридизація | Створення гібридних форм | Уміння моделювати селекційні схеми з використанням гібридизації |
| Генетичні маркери (microsatellite, mtDNA) | Використання маркерів у селекційних програмах | Навички генотипування та інтерпретації даних |
| Адаптація та генетичні механізми стійкості | Підвищення життєздатності та продуктивності риб | Оцінка взаємозв'язку між генотипом і господарсько-корисними ознаками |
| Генетичні ризики та інбридинг | Управління племінними стадами | Здатність прогнозувати інбридинг і запобігати його накопиченню |

Приклади реалізації міждисциплінарної інтеграції курсів «Генетика риб» і «Розведення і селекція риб»

1. Узгодження теоретичних модулів.

У навчальному процесі поєднуються теми «Молекулярні основи спадковості» та «Генетичні принципи селекції», що забезпечує формування у здобувачів системного розуміння закономірностей спадковості, мінливості та добору.

2. Інтегровані лабораторні роботи.

Під час занять здобувачі проводять аналіз генетичних маркерів коропа, моделюють селекційні схеми та розраховують очікуваний селекційний ефект. Це забезпечує безпосередній зв'язок теоретичних знань із практичними завданнями аквакультурного виробництва.

3. Проектна діяльність здобувачів.

У межах курсу виконуються мініпроекти, зокрема «Моніторинг племінних стад» та «Оптимізація добору за генетичними ознаками». Така діяльність сприяє розвитку дослідницьких, аналітичних і презентаційних навичок здобувачів освіти.

4. Використання спільної бази даних.

Здобувачі працюють з єдиною електронною базою, що містить генотипи та фенотипи риб різних господарств. Це дозволяє формувати навички біоінформаційного аналізу та статистичної обробки генетичних даних.

5. Вивчення міжнародного досвіду.

Під час занять обговорюються сучасні практики FAO [3], WorldFish і Wageningen University щодо генетичного поліпшення аквакультурних об'єктів. Це сприяє підвищенню глобальної компетентності здобувачів і розумінню світових тенденцій у рибництві.

Досвід провідних університетів підтверджує ефективність такого підходу. У Wageningen University (Нідерланди) діє модуль *Aquatic Genomics and Breeding Strategies*, який інтегрує генетичні дослідження з управлінням аквакультурними ресурсами. University of Stirling (Велика Британія) реалізує програму *Selective Breeding and Genetics in Aquaculture*, що поєднує лабораторні роботи з геноаналізу і практику на рибних фермах. У Nha Trang University (В'єтнам) розроблено курс *Applied Fish Genetics and Hatchery Management*, який готує здобувачів до роботи у племінних господарствах із використанням сучасних генетичних технологій. Ці приклади демонструють глобальний тренд — поступове стирання меж між фундаментальною генетикою та прикладною селекцією на користь інтегрованої освітньо-наукової моделі.

Висновки. Інтеграція курсів «Генетика риб» та «Розведення і селекція риб» у професійну підготовку майбутніх фахівців з аквакультури є важливою передумовою формування їх дослідницької, аналітичної та управлінської компетентності. Поєднання теоретичних знань і практичних навичок дозволяє здобувачам: розуміти генетичну основу спадкової мінливості у популяціях риб і її значення для селекційних програм; застосовувати біометричні й молекулярно-генетичні методи у доборі племінних форм; прогнозувати селекційний ефект і попереджати інбридинг у риборозплідних господарствах; інтегрувати результати досліджень у реальні технологічні рішення аквакультури.

Таким чином, міждисциплінарна інтеграція є дієвим інструментом підвищення якості освіти, посилює зв'язок науки і практики та забезпечує підготовку фахівців, здатних ефективно працювати в умовах сучасних викликів — від біотехнологічних до кліматичних. Вона відповідає європейським принципам STEM-освіти і концепції «наука в дії», що визначає майбутнє аквакультурної галузі України.

Перелік посилань

1. Катинська І.В. Робоча програма навчальної дисципліни «Генетика риб», Одеса, ОНУ, 26 с.
2. Бургаз М.І., Лічна А.І., Робоча програма навчальної дисципліни «Розведення і селекція риб», Одеса, ОНУ 30 с.
3. FAO. *Aquaculture Genetics and Breeding Strategy for Sustainability*. Rome: FAO, 2023.
4. Освітньо-професійна програма «Охорона, відтворення та раціональне використання гідробіоресурсів», спеціальність Н5 Водні біоресурси та аквакультура. Одеський національний університет імені І.І. Мечникова. Одеса, 2024.

ОЦІНКА ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВОДНІ ЕКОСИСТЕМИ УКРАЇНИ ТА АДАПТАЦІЙНІ СТРАТЕГІЇ ЇХ ЗБЕРЕЖЕННЯ

М. Г. Сербов, д-р екон. наук, професор

Д. П. Шумарін, аспірант

М. І. Харчевніков, аспірант

Кафедра водних біоресурсів та аквакультури

kafedravbr@onu.edu.ua

Сучасні кліматичні зміни оказують максимально негативний вплив на водні екосистеми. Внаслідок кліматичних змін в Україні спостерігається зниження водності річок та суттєво зниження рівнів води у водоймах, порушення водного балансу та погіршення якості води, що призводить до порушення балансу аквабіоценозів, спричиняє втрату біорізноманіття, зміни водного режиму ґрунтів і зниження їх родючості.

Зазначені проблеми особливо гостро відчуються в регіонах з обмеженими та просторово нерівномірно розподіленими водними ресурсами, до яких на сьогодні можна віднести більшу частину території України.

Крім цього, водні екосистеми потерпають від антропогенної діяльності, наслідками чого є забруднення вод токсичними відходами, надмірне використання та виснаження водних ресурсів, порушення балансу між складовими природних екосистем та зменшення площ водно-болотних угідь. В умовах сучасної України проблеми кліматичних змін ускладнюються впливом активних бойових дій, що призводить до руйнування водної інфраструктури, екологічної нестабільності та як слідство посилення впливу кліматичних змін.

Додатковими викликами, що ускладнюють захист, є неналежне регулювання обґрунтованого втручання у водні екосистеми, недостатнє врахування екологічних аспектів у політиці сталого розвитку та обмежене впровадження адаптаційних заходів, що в сукупності лише загострюють ситуацію. У цих умовах пошук та впровадження стратегій, які б забезпечили покращення та стійкість водних екосистем до змін клімату, і знизили вплив антропогенних та воєнних чинників є актуальним та важливим завданням.

Подолання зазначених викликів обумовлює застосування комплексного підходу, який охоплював би міждисциплінарний аналіз, розробку сучасних технологій управління водними ресурсами та інтеграцію наукових досліджень у практичні заходи зі збереження водних екосистем України.

Вивчення основних показників впливу кліматичних змін водні екосистеми та визначення основних стратегій їх збереження – визначена як основна мета дослідження.

Незважаючи на те, що кліматичним змінам сучасності та оцінці їх впливу на природні екосистеми присвячена достатньо велика кількість досліджень, залишається ще ціла низка питань, які потребують додаткового аналізу. Недостатньо вивчені питання впливу екстремальних погодних умов на біологічну складову водних екосистем. Відсутня комплексна оцінка між показниками забруднення водних об'єктів та змінами окремих гідрометеорологічних і кліматичних характеристик територій, відсутня оцінка багатофакторного впливу змін регіональних кліматичних параметрів на аграрну сферу, промислове та рекреаційне рибальство, водних туризм.

Серед робіт вітчизняних науковців присвячених зазначеній тематиці слід виділити роботи Сафранова Т.А. [7], Осадчого В.І. [4], Полєвій Ю.Л. [8], Мокієнко В.В. [3], Ломакіна Д.С. [6] та ін, в яких не тільки досліджуються питання оцінки наслідків змін клімату, але й надається ціла низка практичних рекомендацій щодо адаптаційних стратегій пом'якшення їх негативного впливу. Результати досліджень [2, 7] демонструють «деградації водних екосистем через підвищення температури, зміну режиму опадів, підвищення евтрофікації та втрату біорізноманіття».

В цілому водні екосистеми України мають вкрай низьку загальну стійкість, в [5] зазначається, що «країна має одні з найнижчих запасів відновлюваної прісної води в Європі – близько 1,2 тис. м³ на одну особу на рік, а комбінація антропогенного навантаження, кліматичних змін та активних бойових дій зумовлюють прискорене погіршення якості річкових вод, і, як наслідок, – питної води для населення. Низька якість води характеризується збільшенням токсичних речовин, а також зростанням мікробного та хімічного забруднення». Отже, зміни клімату посилюють екологічне навантаження, що призводить до зменшення різноманіття гідробіонтів, а також загострення проблем водної безпеки для населення й промисловості [1].

До переліку адаптаційних стратегій, які можуть бути рекомендовані для пом'якшення негативного впливу комплексу зовнішніх факторів та зниження ризиків для популяцій гідробіонтів можуть бути запропоновані:

1. інтегрована система управління і моніторингу водних екосистемами, а також створення системи сталого кліматично орієнтованого управління аграрною галуззю країни;
2. створення екологічних коридорів для зменшення ризиків популяціям гідробіонтів, а також суттєве розширення площі природоохоронних зон земель водного фонду;

3. відновлення природних річищ за рахунок відновлення природного стану водойм, заплав, водно-болотних угідь, ренатуралізацію річкової мережі;

4. розширення наукових досліджень та посилення ефективності заходів охорони гідробіоресурсів з урахуванням гідрологічних, гідробіологічних, морфометричних, гідрографічних особливостей кожного з річкових басейнів країни;

5. залучення громадськості, особливо місцевих громад, до розробки програм адаптаційного збереження водних екосистем.

Перелік посилань

1. Груздєва О. В., Крячков Д. О., Смотраєв Р. В. Імітаційне моделювання в управлінні водними ресурсами. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2023. Т. 31, № 3. С. 530-551. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i3.287777>

2. Лиховид П. В., Вожегова Р. А., Грановська Л. М., Ушкаренко В. О., Чабан В. О., Кузнєцов С. І., Біднина І. О. Математичне прогнозування еколого-кліматичної ситуації в Україні в контексті глобального потепління. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 53-61. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.28.9>

3. Мокієнко А. В., Бабієнко В. В., Гущук І. В. Клімат, вода та інфекції: Нові виклики для півдня України на тлі старих проблем. *Public Health Journal*. 2023. № 4. С. 41-49. <https://doi.org/10.32782/pub.health.2023.4.6>

4. Осадчий В. І. Кліматична програма України як основа цілісної екологічної політики держави в умовах зміни клімату. *Вісник НАН України*. 2022. Вип. 6. С. 81-84. <https://doi.org/10.15407/visn2021.06.081>

5. Сербов М.Г., Заводній Т.В., Маргітай Л.Г. Вплив змін клімату на водні екосистеми України та адаптаційні стратегії їхнього збереження. *Таврійський науковий вісник № 143. Ч. 2 «Екологія, іхтіологія та аквакультура»*. С. 355-363 <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.2.40>

6. Телюра Н. О., Ломакіна О. С., Лукашевич Д. С. Комплексний інноваційний підхід до оцінки територій, постраждалих внаслідок лісових пожеж. *Екологічні науки*. 2023. № 4 (49). С. 44-51. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.6>

7. Mykhailenko V. I., Safranov T. A. Estimation of input of unintentionally produced persistent organic pollutants into the air basin of the Odessa industrial-and urban agglomeration. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22, № 9. P. 21-31. <https://doi.org/10.12911/22998993/141479>

8. Poleva Ju. L. Life is like a reservoir into which a scientist who is completely devoted to his work plunges. *Studies in History and Philosophy of Science and Technology*. 2023. Vol. 32, № 2. P. 125-131. <https://doi.org/10.15421/272330>



Підсекція
ГІДРОЛОГІЯ СУШІ



**ПІДСУМКИ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА ВИКОНАННЯ
ПЛАНІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ
КАФЕДРИ ГІДРОЛОГІЇ СУШІ ЗА 2025 РІК**

Н. С. Лобода, д-р. геогр. наук, професор
В. А. Овчарук, д-р. геогр. наук, професор
Ж. Р. Шакірзанова, д-р. геогр. наук, професор
Кафедра гідрології суші
gidro@onu.edu.ua

Науково-дослідна робота викладачів, аспірантів і студентів кафедри гідрології суші виконується в рамках Одеської наукової школи теоретичної та прикладної гідрології. Керівником школи є Лобода Наталія Степанівна, доктор географічних наук, професор, професор кафедри гідрології суші Одеського національного університету імені І.І. Мечникова. У 2025 році оформлений паспорт наукової школи для включення її в перелік Наукових шкіл університету [1]. Пріоритетні напрями Одеської наукової школи теоретичної і прикладної гідрології у фаховій вищій освіті висвітлені у монографічному виданні університету «Науково-методичний альманах Ідеї. Практики. Перспективи сучасної освіти» (автори Лобода Н.С., Овчарук В.А., Шакірзанова Ж.Р.).

Діяльність школи пов'язана з науковими дослідженнями, що виконуються керівником і представниками школи, у тому числі в рамках науково-дослідної роботи (НДР) за темою «Гідрологічний і гідрохімічний режими річок України в сучасних умовах водокористування і зміни клімату», номер державної реєстрації 0123U101578 (термін виконання: 03.2023-12.2027), науковий керівник – д-р геогр. наук, проф. Шакірзанова Ж.Р. У січні 2025 р. НДР приєднана до кабінету УкрІНТЕІ ОНУ імені І.І. Мечникова зі створенням нової реєстраційної картки. У поточному році основні наукові та практичні результати НДР присвячені аналітичному огляду та обґрунтуванню розрахункових і прогностичних методик гідрологічного та гідрохімічного режиму річок і водойм в умовах сезонного перерозподілу річкового стоку.

До практичних результатів віднесені публікації (статті, тези доповідей) викладачів, аспірантів, студентів, методичні вказівки, захищені магістерські роботи за тематикою НДР. Так, у поточному 2025 році опубліковано 8 наукових статей [2], дві з яких у журналах, що індексуються в наукометричних базах даних Scopus та/або WoS (за планом 2), шість статей у фахових виданнях України категорії «Б» (за планом 5 фахових статей). Також опубліковано тези доповідей викладачів й аспірантів на конференціях різного рівня: міжнародних конференцій (у дальньому зарубіжжі – 2, в Україні – 23), всеукраїнських конференцій – немає, університетських – 13), тобто всього 36 публікації (за планом 15).

Всі без виключення викладачі та аспіранти кафедри підготували тези до 80-ої звітної наукової конференції професорсько-викладацького складу і наукових працівників ОНУ імені І.І.Мечникова, секції «Гідрометеорологія і екологія», підсекції «Гідрологія суші» з підготовкою презентацій і тез доповідей.

В поточному році підготоване та затверджено дві електронні методичні вказівки (за планом 4). Підготовка конспекту лекцій та методичних рекомендацій до практичних занять з дисципліни «Антропогенна гідрологія», спеціальність Е4 «Науки про Землю», РВО магістр, перенесені і включені до плану видання навчально-методичної літератури у 2026 році у зв'язку із змінами навчального плану, зокрема ОК «Антропогенна гідрологія» стала обов'язковою, а кількість кредитів ЄКТС збільшилась з 2 до 4, відповідно виникла необхідність доробки. Методичні рекомендації до практичних занять з дисципліни «Спеціальні розділи гідрології суші» виключена з підготовки у зв'язку зі зміною навчальних планів аспірантів.

Кожного року викладачі кафедри проходять підвищення кваліфікації. Зокрема, у 2025 році пройшли підвищення кваліфікації викладачі кафедри (з отриманням сертифікатів і кредитів ECTS):

- Training Session on the Topic: 'Living Lab Approach for Real-World Impact in Urban Areas Perspectives' organized within the framework of the ERASMUS+ Project 2024-1-IT02-KA220-HED-000256685 – SUNRISE, as part of the international Conference within the international Conference "Climate Service: Education and Science", held on April 17, 2025, at Odesa I.I. Mechnikov National University, Ukraine (проф. Овчарук В.А.);

- Тренінг Erasmus+ClimEd Project, Developing Skills to Use Climatic Information and Services for Various Climate-Dependent Branches of Economy. University Rovira and Virgili, Spaine, 7-25 April 2025. (3,0 кредити ECTS), (проф. Овчарук В.А., ст. викл. Л.В.Кущенко);

- Тренінг Erasmus+ClimEd Project, Mastering Technologies of Massive Open Online Courses (MOOC) Development for the General Public. February 10 to 14, 2025, Tartu, Estonia, CERTIFICATE №5/1-16/1074-26, 1 кредит ECTS (30 год.) (ст. викл. Л.В.Кущенко);

- Тренінг «Практична риторика для науковців» Обсяг програми: 180 годин / 6 кредитів ECTS, 7 – 30 липня 2025 р., (сертифікат №13-17-2025), (проф. Ж.Р. Шакірзанова);

- участь у відкритому лекторії професорів докторської школи INTENSE в межах ERASMUS + проекту [SUNRISE](#) - Supporting Ukraine's Next Generation Of Scholars: A Project For Raising University Capacity And Improving Doctoral Student Education (осіння сесія, 17.10-20.11.2025 р., Сертифікат на 30 год./1 кред. ECTS) (проф. Шакірзанова Ж.Р., асп. Розвод М.Р., асп. Блага А.О.).

Викладачі кафедри також прийняли участь в чисельних курсах підвищення кваліфікації від ГО «Прогресильні» («Форум академічної доброчесності» (22.01-16.02.2025 р.) (60 годин, 2 кр. ЄКТС, сертифікати); «Міждисциплінарність у викладанні: майстер клас від Острівців Прогресильності ОНУ імені І. І. Мечникова. ЗУНУ та ХНУ» (22.01-16.02.2025 р.) (60 годин, 2 кр. ЄКТС, сертифікати); «Експертна дискусія «Доброчесність і наукова комунікація в цифрову епоху» майстер клас від Острівців Прогресильності (13.05.2025р.) (40 годин, 1 кр. ЄКТС, сертифікати); «Великий курс про ШІ в освіті», ГО «Прогресильні», Міністерство цифрової трансформації України, МОН України (26.05-9.10.2025р.) (45 годин, 1,5 кр. ЄКТС, сертифікати)), ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти» та ін.

Робота кафедри гідрології суші в галузі міжнародної діяльності спрямована на розвиток зв'язків в області наукових досліджень та науково-методичних розробок в світовій системі освіти. В поточному 2025 році викладачі кафедри прийняли участь у міжнародних проектах:

- **Multilevel Local, National, and Regionwide Education and Training in Climate Services, Climate Change Adaptation, and Mitigation – [ClimEd](#)**; EACEA / Erasmus+; 2020-2025; (сонерівник роб. пакету д-р геогр. наук, проф. Овчарук В.А., розробники курсів - д-р геогр. наук, проф. Лобода Н.С., д-р геогр. наук, проф. Шакирзанова Ж.Р., ст.викл.Кущенко Л.В.);

- **Climate University for Virtual Exchange – [CLUVEX](#)** EACEA / Erasmus-LS, 2023-2026; науковий керівник – д-р геогр. наук, проф. Овчарук В.А., Student **[Advisory Board \(SAB\)](#)** - асп. Розвод М.Р., асп. Блага А.О.;

- **[SUNRISE](#)** – Підтримка наступного покоління українських науковців: проект зі зміцнення університетського потенціалу та вдосконалення підготовки аспірантів, ERASMUS +, 1 вересня 2024 – 31 серпня 2027, науковий керівник – д-р геогр. наук, проф. Овчарук В.А., аспіранти – Розвод М.Р., Коваленко М.П., Поздняков Ю.О., Блага А.О., Сіваєв Д.В.

- **[GROMADA](#)** – Підтримка європейськими університетами правової та громадської спроможності для екологічного відновлення України, ERASMUS +, 01 грудня 2023 – 30 листопада 2025(д-р геогр. наук, проф. Овчарук В.А., магістр Пісарєв Ю.Г., аспірант Розвод М.Р. <https://gromada-erasmus.eu/citizen-science-projects/>)

- Професоркою кафедри гідрології суші ОНУ імені І.І. Мечникова Ж.Р. Шакирзановою 17 жовтня 2025 р. в рамках відкритої лекторію професорів докторської школи INTENSE в межах проекту **[SUNRISE](#)**, прочитана лекція на тему «**[Прогнозування екстремального стоку річок і водойм України в різні фази водного режиму](#)**». У лекторію прийняли участь аспіранти і викладачі кафедри гідрології суші, а також представники низки університетів України і коледжу.

Професорами кафедри в рамках міжнародного проекту **[ClimEd](#)** на семінарі “Стандартизація навчальних курсів, цифрові інструменти та

взаємна експертиза», 10–14 листопада 2025 року були прочитані лекції на теми «Водні ресурси України в умовах змін клімату в сучасності та за сценаріями» (проф. Лобода Н.С.) та «Небезпечні гідрологічні явища на річках в умовах змін клімату» (проф. Овчарук В.А.).

Протягом поточного року представники школи прийняли участь у чисельних міжнародних конференціях, зокрема,

- European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2025 (Vienna, Austria & online, 27 April – 2 May 2025)
- The Second International Research-To-Practice Conference On Climate Service: Science And Education, (Odesa, 16-18 April 2025), Odessa National I.I.Mechnikov University, 2025.
- Ecology is a priority: All-Ukrainian English-speaking student conference (March 14, 2025, Kharkiv, Ukraine), V. N. Karazin National University, 2025.
- Міжнародна науково-практичної конференції «Кліматичні зміни та сталий розвиток сільського господарства». 19 вересня 2025 року. Одеса, Одес. нац. ун-т імені І. І. Мечникова, 2025.
- Міжнародна наукова конференція «Гідрометеорологія і кліматичні виклики: наука, інновації і практика для сталого майбутнього», 18-20 листопада 2025 року. Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, м. Київ.

Кафедра приділяє багато уваги підготовці аспірантів (докторів філософії), що активно беруть участь у тематичних дослідженнях кафедри. Наукове керівництво аспірантами зі складу кафедри здійснюють проф. Лобода Н.С., проф. Овчарук В.А., проф. Шакірзанова Ж.Р., доц. Кічук Н.С. Аспіранти є активними учасниками науково-дослідної роботи на кафедрі. У 2025 році аспіранти прийняли участь у міжнародних (15 доповідей) й університетській конференції (8 доповідей) з підготовкою тез доповідей (з 12-ти запланованих).

Науково-дослідна робота студентів та магістрів розглядається як складова частина навчального процесу та важливий елемент самостійної роботи. Вона здійснюється, головним чином, у формі доповідей, які студенти і магістри готують під керівництвом викладачів кафедри. При кафедрі діє два студентських наукових гуртка і науковий студентський семінар, тематичні плани роботи яких готуються на початку навчального року. У 2025 році студенти кафедри та аспірант прийняли участь у [citizen-science](#) проєкт Environmental Impact of the Kakhovka Dam Destruction Due to War in Ukraine on the Coastal Waters of the Black Sea: Hydrological and Satellite Data Assessment на виконання міжнародного проєкту Erasmus+ GROMADA, міжнародних й студентській науковій конференції (25 доповідей) з підготовкою тез доповідей (з 15-ти запланованих).

Основні результати науково-дослідних розробок використовуються у навчальному процесі кафедри гідрології суші (в курсах лекцій та практичних занять, при написанні курсових та магістерських робіт), оновленні окремих розділів текстів (конспектів) лекцій з дисциплін, завдань до виконання лабораторних та практичних робіт, при визначенні тематики для магістрів та аспірантів за спеціальністю Е4 «Науки про Землю».

Науково-дослідна робота методично забезпечена. Подовжується довгостроковий договір університету з Центральною геофізичною обсерваторією імені Бориса Срезневського (ЦГО, м. Київ) про надання гідрометеорологічної інформації та інформації про стан довкілля (договір №4 від 09.12.2024 р.) для аспірантів, магістрів і студентів, які мають можливість отримання гідрометеорологічних даних державної гідрометмережі за останні роки, а основні результати виконаних робіт передаються в ЦГО.

Продовжує також працювати в оперативному режимі програмний комплекс Автоматизоване робоче місце гідролога (АРМ-гідро) Українського гідрометцентру ДСНС України для отримання поточної гідрометеорологічної інформації, даних снігомірних зйомок (з можливістю їх картографічного зображення) і можливості створення багаторічної бази даних. Це дозволяє підвищити ступінь обґрунтованості та надійності отриманих в студентських наукових роботах результатів.

У поточному році викладачі кафедри нагороджені: Почесна грамота ГМЦ ЧАМ (2025р.) проф. Лободі Н.С., Почесна грамота Департаменту освіти та науки Одеської міської ради (2025 р.), Почесна грамота Українського гідрометеорологічного центру ДСНС України (2025 р.), Подяка Одеської обласної ради (2025р.) проф. Овчарук В.А., ст.викл. Кущенко Л.В.

Таким чином, проаналізовані основні завдання наукової діяльності кафедри гідрології суші за 2025 рік можна вважати виконаними відповідно планів науково-дослідної роботи.

Перелік посилань

1. Лобода Н.С., Овчарук В.А., Шакірманова Ж.Р. Пріоритетні напрями Одеської наукової школи теоретичної і прикладної гідрології у фаховій вищій освіті // *Ідеї. Практики. Перспективи сучасної освіти* [Електронний ресурс] : наук.-метод. альм. : у 2-х ч. / за ред. В. І. Труби, М. І. Ніколаєвої, С. П. Гвозд'їй. – Електронні текстові дані (1 файл : 6,4 МБ). – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2025. – Ч. 1. – С.356-365.

2. DSpace Odesa I. I. Mechnikov National University : електронний репозитарій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dspace.onu.edu.ua/>

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРАКТИВНИХ ВЕБ-СЕРВІСІВ В ГІДРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ ПРИ ОЦІНЦІ ВПЛИВУ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА РІЧКОВИЙ СТІК

В. А. Овчарук, д-р геогр. наук, проф.

Кафедра гідрології суші

valeriya.ovcharuk@gmail.com

В сучасних гідрологічних дослідженнях виникає необхідність врахування зміни клімату з використанням даних глобального та регіонального моделювання. В цьому випадку важливим є доступність результатів кліматичних проєкцій метеорологічних величин на різні проміжки часу – в довгостроковій та короткостроковій перспективі, в іноді й в минулому (палеокліматичне моделювання). Нижче розглянемо один з сучасних інструментів запропонований IPCC на базі шостої оціночної доповіді[1].

Інтерактивний атлас IPCC WGI. Новий інструмент для гнучкого просторового та часового аналізу значної частини спостережуваної та прогнозованої інформації про зміну клімату, що лежить в основі внеску Робочої групи I до Шостого оціночного звіту, включаючи регіональний синтез факторів кліматичного впливу (CID) <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>.

Для полегшення використання інтерактивного Атласу користувачами з різними потребами, він містить два альтернативні інтерфейси: простий (зосереджений на кліматичному майбутньому) та розширений.



Простий інтерфейс призначений для широкої громадськості, ЗМІ, викладачів та осіб, що приймають рішення, оскільки він розширює інформацію про кліматичне майбутнє для різних рівнів глобального потепління, представлених у SPM. Розширений інтерфейс більше призначений для дослідників та практиків.

Простий інтерфейс (кліматичне майбутнє) дозволяє досліджувати один набір даних (CMIP6, останні доступні прогнози зміни клімату) та представляє спрощений селектор QUANTITY & SCENARIO, де доступні лише рівні глобального потепління (розраховані за сценарієм SSP5-8.5 та відносно заздалегідь визначеного базового періоду: 1850-1900).

Конкретний вибір набору даних, змінної, кількості та сценарію, а також сезону визначає кінцевий продукт (наприклад, «CMIP6 - Зміна середньої температури (T) °C - Потепління на 2°C SSP5-8.5 (відносно 1981-2010) - Щорічно»), який відображається глобально на карті, розташованій у

центрі екрана. Карта показує середні значення або зміни ансамблю (абсолютні або відносні – відносні зміни середнього значення ансамблю – залежно від змінної) та динамічне оновлюється при зміні будь-якого з елементів вибору (зазвичай, контрольного періоду або рівня потепління, сценарію, базової лінії або сезону для дослідження заданої змінної для певного набору даних).

Елементи керування праворуч дозволяють: збільшувати (+) та зменшувати (-) масштаб; змінювати проєкцію (Робінсон, тихоокеанська проєкція Робінсона, стереографічна північ та південь); показувати/приховувати шар координатної сітки зі значеннями широти/довготи; показувати походження даних та метадані для обробки даних (наприклад, підгрупування, сітка, розрахунок індексу, коригування зміщення); завантажувати рисунки та базові дані (експорт PNG, PDF – зображень – або GeoTIFF/NetCDF – файлів чисел/даних); ділитися відображеною інформацією (отримання постійного посилання або поширення в соціальних мережах); отримувати інформацію про певні точки та дублювати карту (для перегляду двох продуктів поруч; наприклад, для порівняння глобальної інформації CMIP5/6 та регіонального CORDEX або результатів для різних рівнів потепління); розгортати на весь екран (рис.1).



Рисунок 1 – Інтерфейс елементів керування атласу IPCC WGI.

Колірна панель ліворуч є інтерактивною та дозволяє користувачеві вибрати мінімальні/максимальні значення та значення позначок. Кольори відображаються в безперервній шкалі, але наведення курсора або клацання на кольоровій панелі дозволяє вибрати певний сегмент значень та виділити на карті. Символи під кольоровою шкалою показують легенду методів, що представляють надійність/ невизначеність (немає/ значущість для спостережень та немає/простий/ розширений для модельних проєкцій).

Регіональна інформація в атласі відображається у вигляді:

- часових рядів;
- графіків рівня глобального потепління (GWL);

- річного циклу;
- діаграм розсіювання;
- зведених таблиць;
- кліматичних смуг;
- сезонних кліматичних смуг.

Панель часових рядів (для спостережених даних) відображає регіонально агреговані річні/сезонні ряди, включаючи тренд для вибраного періоду (суцільний або пунктирний/пунктирний, якщо значуще/незначуще на рівні 0,05), коли вибрано цю величину (рис. 2). Сіре затінення вказує на вибраний період, як представлено на карті. Тренд агрегованих значень доповнює інформацію про тренд у вигляді сітки, надану на карті, та дозволяє досліджувати тренди в різних просторових масштабах.

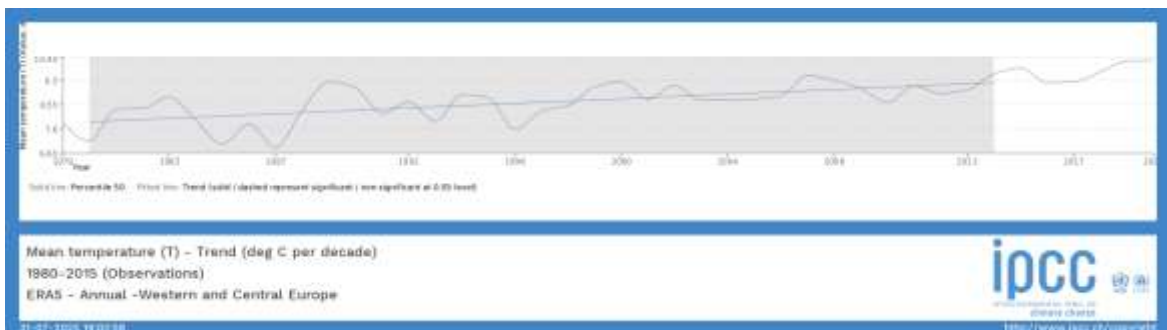


Рисунок 2 – Приклад часового ряду спостереженої середньорічної температури (1980-2015) за даними ERA5 для Західної та Центральної Європи.

Панель часових рядів (для модельних симуляцій) відображає регіонально агреговані річні/сезонні ряди (рис. 3) для необроблених значень або змін (у цьому випадку аномалій відносно вибраної базової лінії) для всіх симуляцій, що утворюють ансамбль, а також медіану ансамблю.



Рисунок 3 – Приклад часового ряду зміни максимальних добових опадів за сценарієм RCP 8.5(2021-2040) за даними CORDEX Europe для басейну Дунаю.

Сіре затінення вказує на вибраний конкретний період, як представлено на карті; у випадку рівнів глобального потепління, область затінення демонструє різну інтенсивність відповідно до перекриття 20-річних періодів, де рівень потепління вперше досягається різними моделями (вища інтенсивність вказує на роки з більшим перекриттям).

Детальну інформацію можна отримати, навівши курсор на окремі лінії або відобразивши селектор «Моделі» внизу, де можна вибрати та виділити кілька моделей у ансамблі. Поруч із селектором моделей фільтр «Маска» дозволяє вибрати інформацію лише про сушу або гори.

Панель річного циклу (для спостережених значень) відображає регіонально агреговані місячні кліматологічні дані для вибраної змінної та періоду (рис. 4).

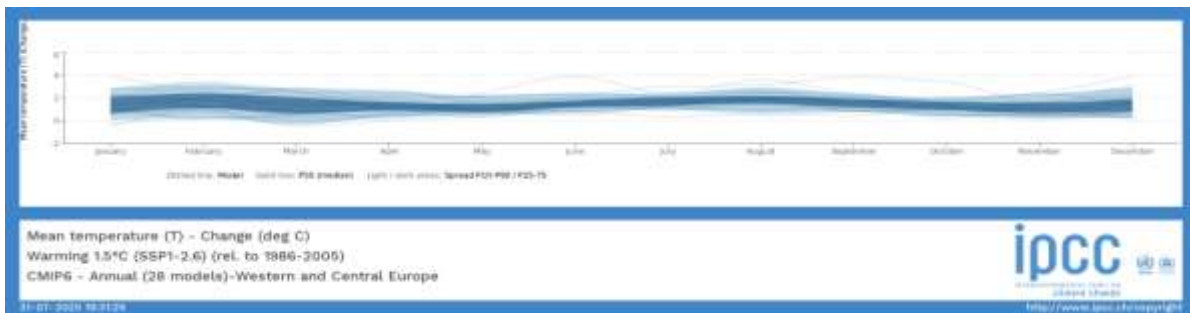


Рисунок 4 – Приклад річного циклу температури повітря за сценарієм SSP1-2.6, модель CMIP6 для Західної та Центральної Європи.

Панель зведеної таблиці (для моделей) надає інформацію про вибрану змінну, сценарій та сезон для різних періодів або рівнів глобального потепління (рис. 5). Різна статистика відображається у стовпцях (медіана та різні квантильні діапазони). Фільтр «Маска» дозволяє вибрати інформацію лише про сушу або гори.

| Period | Scenario | Median (%) | P25 P75 | P10 P90 | P5 P95 |
|---------------|----------|------------|------------|-------------|-------------|
| Warming 1.5°C | SSP5-8.5 | 21 | 0.9 4.9 | -0.4 6.8 | -1.3 7.8 |
| Warming 2°C | SSP5-8.5 | 15 | -0.0 4.9 | -1.9 7.0 | -3.1 8.7 |
| Warming 3°C | SSP5-8.5 | 1.8 | -0.6 5.8 | -3.6 10.5 | -3.9 12.9 |
| Warming 4°C | SSP5-8.5 | 0.3 | -2.4 6.1 | -4.8 10.3 | -5.8 16.3 |

Рисунок 5 – Приклад табличного представлення інформації за різних сценаріїв та періодів.

Панель кліматичних смуг (лише для модельних проєкцій) натхненна графікою «смуг потепління» (запропоновано Едом Хокінсом), яка є простим та переконливим візуальним представленням зміни температури за допомогою серії кольорових смуг, упорядкованих у хронологічному порядку; смуги відображають мінімалістичний стиль, задуманий для

використання лише кольору, щоб уникнути технічних відволікань під час передачі інформації ненауковцям. Кліматичні смуги реалізовані в інтерактивному атласі за допомогою хронологічно впорядкованих вертикальних смуг вздовж періоду 1950-2100 років (що охоплює історичні та прогнозовані симуляції) для представлення річних/сезонних необроблених значень або змін (у цьому випадку аномалій відносно вибраної базової лінії) вибраної змінної та сценарію. Смуги розділені вертикально для представлення кожного з симуляцій/моделей, що утворюють ансамбль (з медіаною ансамблю зверху). Кольори від синього/коричневого (рис. 6) до червоного/зеленого вказують на зміни від негативних до позитивних (або від мінімальних до максимальних значень).



Рисунок 6 – Сезонні смуги зміни річної суми опадів у % за сценарієм SSP5-8.5, модель CMIP6 для Західної та Центральної Європи.

Панель сезонних смуг (лише для модельних проєкцій) подібна до панелі кліматичних смуг, але включає щомісячні значення вертикально (рис. 7) замість результатів моделі, відображаючи результати для ансамблевої мультимодельної медіани.



Рисунок 7 – Сезонні смуги зміни температури поверхні моря у °C за сценарієм SSP5-8.5, модель CMIP6 для Західної та Центральної Європи.

Таким чином, використання можливостей сучасного інтерактивного атласу розширює діапазон інструментів урахування впливу зміни клімату на водний режим річок і рекомендується, як для використання в навчальному процесі при виконанні кваліфікаційних робіт магістрів, так і для наукових досліджень.

Перелік посилань

1. *Interactive Atlas*. Міжурядова група експертів зі зміни клімату (IPCC). URL: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/> (дата звернення: 20.11.2025).

ЗМІНА КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ ТА ВОДНИХ РЕСУРСІВ ДНІСТРА НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ

Н. С. Лобода, д-р геогр. наук, професор,

М. Р. Розвод, аспірант

Кафедра гідрології суші

natalie.loboda@gmail.com

Кліматичними чинниками формування стоку річок є опади та температури повітря. Опади визначають зволоженість водозбору, а температури – випаровування з водної поверхні і поверхні суші та умови накопичення твердих опадів на поверхні водозбору на початку весняного водопілля. Зростання втрат на випаровування з водної поверхні насамперед пов'язано із збільшенням температур теплого періоду. Зростання температур холодного періоду і, особливо, зимового сезону сприяє появі відлиг і зменшенню запасів води у сніговому покриві перед початком весняного водопілля. Ця обставина призводить до зменшення максимумів та шарів стоку підчас формування та проходження весняного водопілля.

Складність аналізу змін водних ресурсів Дністра полягає у тому, що більшість водозборів Дністра відноситься до малих за площею (менше 2000 кв. км), що впливає на особливості формування стоку приток і збільшує вплив чинників підстильної поверхні. Окрім того, водозбір за умовами формування стоку поділяється на дві частини: гірську (правобережжя Дністра) та рівнинну (лівобережжя Дністра). У горах зростання температур повітря відбувається повільніше, оскільки температура зменшується із висотою. Таким чином, виникає необхідність виявлення реакції водозборів Дністра на зміни клімату, які відбулися на початку ХХІ сторіччя під впливом глобального потепління.

У дослідженнях використовувались дані гідрологічних спостережень на діючих гідрологічних постах, які розташовані на водозборі р. Дністер у межах України (максимальна тривалість спостережень становить 72 роки, 1945-2021 рр.), а також дані по середніх місячних температурах повітря та опадів для 13 метеорологічних станцій водозбору Дністра у період 1945-2021 рр.

Сутність досліджень полягала у виявленні тенденцій та статистично значущих трендів у коливаннях кліматичних чинників формування стоку та коливаннях річного стоку водозборів річки Дністер.

У роботі В.В. Гребіня [1] було показано, що 1988-1989 роки є переламними у режимі середніх річних температур повітря, після 1989 року спостерігається їх статистично значуще зростання. У зв'язку із цим зміни, які відбулися у характеристиках гідрометеорологічних величин на

початку XXI сторіччя, оцінювались шляхом їх порівняння за два розрахункових періоди – до 1989 року та після.

Основними методами досліджень були метод регресійного аналізу, метод різницевих інтегральних кривих, метод головних компонентів.

Під час розгляду усього періоду спостережень (1947-2021 рр.) трендів у коливаннях річних опадів не виявлено [2].

Виявлено, що основним кліматичним чинником, який обумовлює формування річного стоку в басейні Дністра на початку XXI сторіччя, є температура повітря [3].

На основі аналізу різницевих інтегральних кривих середніх річних температур повітря виявлено, що перехід в позитивну фазу коливань відбувся у 1988-1989 роках по всіх метеостанціях водозбору Дністра по всій його протяжності. з північного заходу на південний схід.

На основі регресійного аналізу встановлено існування позитивних статистично значущих трендів для середніх річних температур повітря, температур холодного (XI-III) і теплого (VI-X) періодів, а також для зимового сезону (XII-II) за весь період спостережень 1947-2021 рр. та період значущих змін клімату 1989-2021рр. Для попереднього періоду (1947-1988 рр.) статистично значущих трендів не виявлено.

Було встановлено, що коливання річного стоку головної річки (Дністер) у період 1945-2021рр. містять у собі два цикли водності :1945-1980 та 1981-2010. З 2011 року на річці Дністер почалася маловодна фаза, яка триває і досі. Отримано, що характер коливань річного стоку головної річки визначається коливаннями водності карпатських приток, які утворили Карпатський район із синхронними коливаннями стоку [4]. Сумісний аналіз різницевих інтегральних кривих для річного стоку, максимального стоку весняного водопілля (III-V) та максимального стоку дощових паводків (VI-X) дозволив встановити, що в Карпатському районі переважає роль дощових паводків у формуванні річного стоку і тому реакція річного стоку на потепління у зимовий сезон є уповільненою. У той же час на водозборах лівобережжя Дністра за рахунок потепління у зимовий сезон зменшуються витрати та шари стоку періоду весняного водопілля. Наприклад, зменшення середнього місячного стоку за березень на річках лівобережжя у період 1990-2021рр. при порівнянні із попереднім періодом становить 34 %.

Досліджено зміни розподілу середнього багаторічного річного стоку по висоті місцевості Гірського Дністра за різні розрахункові періоди, виділені з урахуванням циклів коливань водності: 1946-1980 рр. (базовий), 1981-2010 рр. Окремо розглянута поточна маловодна фаза коливань, яка розпочалася з 2011 року [5]. Виконано порівняння фактичного розподілу середніх характеристик стоку по висоті із нормативною залежністю виду $\bar{q} = f(H_{CEP})$, наведеною у СНП 2.01.14-83. Встановлено, що розподіл характеристик стоку по висоті за обидва розрахункових періоди добре

узгоджується із нормативною залежністю. Статистично значуще зменшення характеристик стоку спостерігається у поточну маловодну фазу (середнє значення відносних відхилень дорівнює мінус 16 %). Зниження середнього стоку більш ніж на 40 % установлені для створів Опір – Сколе, Славська – Славське, Лімниця – Перевозець.

У межах водозбору річки Дністер за видом різницевих інтегральних кривих річного стоку виділено 7 груп (районів) із синхронними або синфазними коливаннями. Співставлення коливань річного, максимального дощового та весняного стоку відбувалося за осередненими у межах кожної групи кривими. Ступінь синхронності або синфазності коливань оцінювалась за коефіцієнтами кореляції між ординатами осереднених у межах кожної групи різницевих інтегральних кривих. Високий коефіцієнт кореляції між ординатами кривих річного стоку та кривих максимального дощового стоку указує на значну роль дощового стоку у формуванні річного стоку. У свою чергу, тісний зв'язок між ординатами стоку весняного водопілля та річного стоку свідчить про суттєвий внесок снігового живлення у річний стік. На основі цих досліджень зроблено висновок, що значущому впливу потепління підлягають ті водозбори і ті райони, де весняне водопілля є вирішальним фактором у формуванні водних ресурсів. На території водозбору Дністра такими територіями є рівнинні лівобережні притоки Дністра та високогірні водозбори Українських Карпат.

Перелік посилань

1. Гребінь В. В. *Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз):* монографія. Київ: Ніка-центр, 2010. 316 с.
2. Лобода Н.С., Розвод М.Р. Зміна температурного режиму та режиму зволоження в басейні Верхнього Дністра на початку ХХІ сторіччя. *Матеріали 79-ї звітної наукової конференції професорсько-викладацького складу і наукових працівників факультету гідрометеорології і екології Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.* 2024. - С.71-74.
3. Лобода Н.С., Розвод М.Р. Зміни температурного режиму повітря в басейні річки Дністер на початку ХХІ сторіччя. *Український гідрометеорологічний журнал*, 33. 2024. С. 38-48.
4. Лобода, Н. С., Розвод, М. Р. Закономірності коливань стоку річки Дністер (Україна) в умовах кліматичних змін на початку ХХІ сторіччя. *Український гідрометеорологічний журнал*, 32. 2023. С. 50-62.
5. Лобода Н.С., Розвод М.Р. Оцінка змін у характері вертикальної зональності річного стоку гірського Дністра на початку ХХІ сторіччя. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* 2025. Вип. 3(77). С. 20-32.

МЕТОДИ ОЦІНКИ НАДХОДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДО ЗАМКНЕНИХ ЛИМАНІВ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Ж. Р. Шакірзанова, д-р геогр. наук, професор

Кафедра гідрології суші

jannetodessa@gmail.com

В межах м. Одеси розташовані лимани закритого типу, тобто не маючих зв'язку з морем – Хаджибейський і Куяльницький. Як унікальні природні системи, вони утворилися в результаті затоплення морем гирлових ділянок річок Малий Куяльник (Хаджибей) і Великий Куяльник (Куяльницький лиман) при опусканні приморської смуги суші, відділені від моря пересипом довжиною 7 км. Внаслідок цього лимани практично не мають зв'язку з морем, характеризуються повільним водообміном, отримують мінімальний приплив прісних вод з малих річок, що їх живлять. Куяльницький лиман відомий як важливий рекреаційний і бальнеологічний об'єкт державного та світового значення. Високі лікувальні властивості мають ропа і гязі лиману.

Більше 100 років Хаджибей використовується як приймач побутових міських вод, що стало причиною значного підвищення рівнів води у водоймі та виникнення ризиків переливу води через дамбу, що обмежує береги лиману, особливо у багатководні періоди року.

Для Куяльницького лиману екологічна криза полягає у критичному зниженні до 2014 року рівнів води в ньому за причиною зменшення природного стоку прісних річкових вод та регулюванні стоку води р.Великий Куяльник (починаючи з 1960 р.) значною кількістю ставків і водосховищ, призначених для забезпечення водою зрошувальних систем та рибогосподарських потреб. З грудня 2014 р. лиман примусово наповнюється морською водою.

У зв'язку з суттєвим підвищенням рівнів води в Хаджибейському лимані (при інтенсивному скиданні у лиман стічних вод м.Одеси СБО «Північна»), за виникнення вітрових хвиль у ньому та випадіння значної кількості снігу та дощових опадів, що можуть накладатися на високі рівні води, виникає загроза руйнування і переливу води через дамбу та затоплення поверхневими водами прилеглих до лиману територій міста та автомобільного шляху, прокладеного по дамбі, яка дотепер знаходиться в аварійному стані.

В такому разі задачі дослідження полягають в обґрунтуванні для басейну Хаджибейського лиману розрахункової схеми для визначення приросту рівнів води у лимані від повеневих і дощових вод та можливі значення відміток води у ньому за умови виникнення весняних водопіль і дощових паводків рідкісної ймовірності перевищення у багаторічному періоді (при $P=1\%$). Іншою задачею є довгострокове прогнозування

надходження поверхневих вод при передчасному встановленні шарів стоку в період весняного водопілля, а також встановлення повторюваність водопіль у багаторічному розрізі в басейнах лиманів та, при цьому оцінки наповнення Хаджибея і Куяльника повенежими водами за спрогнозованими шарами стоку весняного водопілля (при використанні кривої об'ємів) та отримання очікуваних максимальних рівнів води у водоймах.

У зв'язку з тим, що гідрологічна мережа спостережень в басейнах Причорноморських лиманів майже відсутня існуюча нормативна база в галузі максимального стоку (СНіП 2.01.14-83) не дозволяє с достатньою надійністю визначити максимальні витрати і шари стоку під час проходження весняних водопіль і дощових паводків рідкісної ймовірності перевищення у багаторічному періоді.

Науково-методичною базою для нормування характеристик максимального стоку (дощових паводків і весняних повеней) є модель руслових ізохрон, авторами якої є Є.Д. Гопченко та В.А.Овчарук [1]. Запропоноване розрахункове рівняння вигляду

$$q_m = q'_m \psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right) \varepsilon_F; \quad (1)$$

де q'_m – максимальний модуль схилового припливу

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m; \quad (2)$$

де $\frac{n+1}{n}$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу в період весняного водопілля; T_0 – тривалість схилового припливу повенежих і паводкових вод до руслової мережі; Y_m – шар стоку водопілля; ε_F – коефіцієнт русло-заплавного регулювання максимального стоку; $\psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right)$ – трансформаційна функція розпластування повенежих і паводкових хвиль під впливом часу їх руслового добігання.

В роботі в умовах недостатньої гідрологічної вивченості даного регіону реалізовано методику можливого наповнення Хаджибейського лиману у весняний період року при таненні снігу і випадінні дощових опадів рідкісної ймовірності перевищення $P = 1 \%$.

Результати розрахунків показали, що відповідно призначеної проектної відмітки дамби Хаджибейського лиману на рівні плюс 3,1 м БС, при виникненні катастрофічно високих весняних водопіль або дощових паводків, забезпеченістю $P = 1 \%$, рівні води у лимані можуть досягати критичної позначки (у період 1985 – 2005 рр. та 2013 – 2023 рр.).

За збігом можливих обставин, коли на максимальні рівні води весняного водопілля ймовірністю перевищення $P = 1 \%$ накладається ще й

дощовий паводок такої ж виняткової забезпеченості, рівні води в Хаджибейському лимані можуть досягти катастрофічних відміток 3,5 – 3,7 м БС. Критичне підвищення рівнів води в лимані може бути небезпечними і призвести до переливу води та до затоплення автомобільної дороги і житлових територій міста Одеси (рис.1). Станом на 2025 р. рівні води знижуються але все одне їх розрахункові величини (при $P=1\%$) перевищують відмітку максимального рівня води за нормальним режимом роботи скидної системи в лимані на позначці плюс 1,57 м БС.

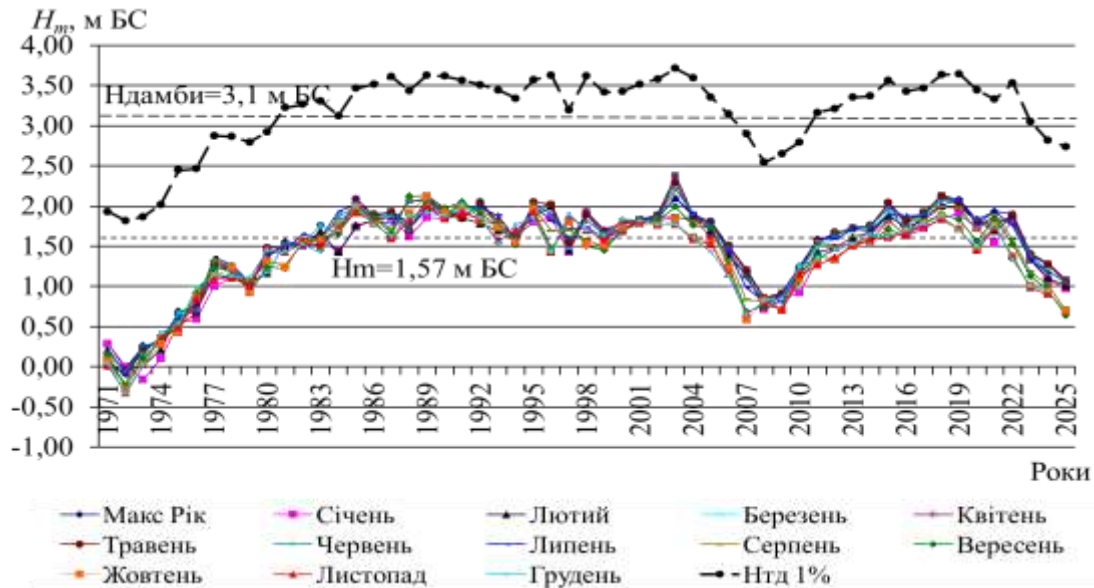


Рисунок 1 – Багаторічний хід максимальних за місяці і рік (H_m) та розрахункових максимальних рівнів води весняного водопілля та дощового паводку у Хаджибейському лимані при забезпеченості $P=1\%$.

Для прогнозування характеристик весняного стоку невивчених у гідрологічному відношенні територій (в межах Причорноморської низовини) використаний метод територіальних довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля річок [2]. Комплекс метеорологічних факторів, що впливають на розвиток весняних процесів і стокоутворення поєднується у математичному методі дискримінантного аналізу при встановленні водності очікуваної весни і складає вектор-предиктор дискримінантної функції DF .

В першу чергу це стосується визначення основного чинника формування весняного водопілля – сумарного запасу максимальних снігозапасів і опадів періоду водопілля (у вигляді модульних коефіцієнтів)

$$k_x = \frac{(S_m + X_1 + X_2)}{(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0})}, \quad (3)$$

де S_m и S_0 – максимальний запас води в сніговому покриві, мм;

X_1 и X_{1_0} – опади періоду танення снігу, мм;

X_2 и – опади періоду спаду весняного водопілля і їх середньобогаторічні величини, мм.

Прогнозні значення у вигляді модульних коефіцієнтів шарів стоку k_Y отримуються за рівнянням поліному з коефіцієнтами, згідно умов застосування, по знаку DF

$$k_Y = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X^2 + b_3 k_X^3, \quad (4)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти поліному прогнозних залежностей.

Прогнозні значення очікуваних величин шарів стоку весняного водопілля Y_m встановлюються за рівнянням

$$Y_m = k_Y \cdot Y_0, \quad (5)$$

де Y_0 – середньобогаторічне значення шару весняного стоку (мм), яке визначається для басейнів Хаджибейського та Куяльницького лиманів за отриманим для Причорноморського регіону рівнянням в залежності від географічного положення водозборів у вигляді

$$Y_0 = 5.62(\varphi - 50) + 28.2, \quad (6)$$

де φ – географічна широта центрів водозборів, в частках град.

Методика довгострокового прогнозування шарів стоку весняного водопілля включає встановлення забезпеченості або ймовірності настання водопілля у багаторічному розрізі, що особливо корисно за відсутності гідрологічних спостережень на водних об'єктах.

Реалізація запропонованої методики довгострокового прогнозування шарів стоку весняного водопілля до умов функціонування Хаджибейського і Куяльницького лиманів виконана у вигляді схеми складання прогнозів шарів весняного стоку та встановлення ймовірності його настання.

Вихідними матеріалами для прогнозування шарів стоку весняного водопілля в басейнах лиманів необхідні дані снігомірних зйомок на метеостанціях, які розташовані у межах або поблизу басейнів лиманів – Затишшя, Сербка і Роздільна; середня по водозборах глибина промерзання ґрунтів наприкінці зими; значення середньомісячних витрат води попереднього до початку водопілля місяця, які є показником вологості ґрунтів на басейнах; синоптичний прогноз опадів і температури повітря на поточні декади лютого-березня.

Прогнозна схема включає також морфометричні і середньобогаторічні гідрометеорологічні характеристики у басейнах лиманів:

- площі водозборів лиманів Хаджибей ($F=2700 \text{ км}^2$) і Куяльник ($F=2250 \text{ км}^2$);
- криві об'ємів води лиманів $W = f(H)$;
- відмітки нуля поста: для Хаджибея – (мінус 2.87 м БС); для Куяльника – (мінус 7.06 м БС);
- географічну широту геометричних центрів водозборів лиманів – φ , що прийнята однаковою і дорівнює $46^{\circ}50'$ півн.ш. або 46,83 (в частках град.).

Розрахунок припливу тало-дощових вод до лиманів виконується по прогнозних величинах шарів стоку у період весняного водопілля, які були перераховані в об'єми води за кривими об'ємів Куяльницького і Хаджибейського лиманів, а потім й в рівні води в них.

При визначенні сумарного надходження весняних вод до лиманів Хаджибей і Куяльник, враховуючи прогнозний шар припливу тало-дощових вод з їх басейнів, приймається, що опади на дзеркало водойм компенсуються випаровуванням з їх водної поверхні під час весняного водопілля.

Висновки. Викладена методика розрахунку та довгострокового прогнозу характеристик максимального стоку весняних водопіль і дощових паводків може використовуватись при визначенні надходження поверхневих вод як до Хаджибейського й Куяльницького та інших лиманів закритого типу.

Завчасний прогноз надходження поверхневих вод до Хаджибея вкрай важливий з метою оцінки його наповнення, ймовірного підвищення рівнів води до критичних позначок (3,0–3,5 м БС і менше (без врахування вітрового нагону і хвилювання), при яких має місце небезпека затоплення дамби і житло-промислового району м. Одеси – Пересипу. Для Куяльника для управління роботи трубопроводу «лиман-море» необхідним є довгостроковий прогноз надходження поверхневих талих і дощових вод з басейну лиману.

Перелік посилань

1. Valeriya Ovcharuk, Eugene Gopchenko. Engineer substantiation of estimated characteristics of maximum rivers runoff during floods under climate change, Editor(s): Sughosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh, *Ecological Significance of River Ecosystems*, Elsevier, Chapter 18. 2022, Pages 351-382, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00018-2>

2. *Екстремальні гідрологічні явища на річках Півдня України: розрахунки і прогнози*: монографія / за ред. В.А. Овчарук та Ж.Р. Шапірзанової. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2024. URL: <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/13144/>

ОЦІНКА РІВНЯ АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВОД Р. ПІВДЕННИЙ БУГ ЗА КОМПЛЕКСНИМИ ПОКАЗНИКАМИ В ПЕРЕДВОЄННИЙ ПЕРІОД

Я. С. Яров, старший викладач

В. В. Пилип'юк, канд. геогр. наук, доцент

Т. В. Гращенкова, старший викладач

Кафедра гідрології суші

slavikyarov82@gmail.com

Мета роботи: оцінка якості води та ризиків антропогенного забруднення вод р. Південний Буг за гідрохімічними показниками на основі даних спостережень в створі м. Миколаїв підрозділами Державного агентства водних ресурсів України (ДАВРУ) за довоєнний період.

Річка Південний Буг має басейн площею 63700 км², довжина - 806 км, середині похил - 0,00040 (40 см/км), коефіцієнт звивистості -1,57 Річка бере початок на Подільській височині поблизу с. Холодець; середня частина басейну знаходиться в межах Придніпровської височини, нижня частина - належить до Причорноморської низовини; нижче м. Нова Одеса річка поступово переходить у Бузький лиман, який добре розвинутий в районі м. Миколаїв [1, 2].

Басейн Південного Бугу є одним із потужних аграрних регіонів України з високим рівнем промислового виробництва. Переважна його частина перебуває під впливом сільськогосподарського виробництва. Сільськогосподарські угіддя в загальній площі басейну становлять 81 %, змінюючись на водозборах окремих річок в межах 74- 90 %.

Розораність території в середньому складає 66 %, в окремих басейнах малих річок досягає 80 %, що значно перевищує екологічну межу. Різких змін зазнали лісові угіддя, які на значній площі – знищені. Нині лісовкриті площі становлять 9 %, а у південних районах не перевищують 3-7 % площі басейнів (в 2-3 рази менше оптимального значення).

Урбанізовані землі в басейні змінюються в межах 2-5 %.

Значна зарегульованість стоку водосховищами і ставками призвела до зниження швидкості течії та спричинила акумуляцію у водних об'єктах відходів промислових підприємств, забруднених стічних вод з сільськогосподарських угідь та урбанізованих територій.

Додаткові втрати води на випаровування з водної поверхні штучних водойм складають 174 мли м³/рік [1].

В сучасний період за даними [2] в басейні річки було обліковано 143 водозабори різного призначення та 162 місця скидів стічних і зворотних вод (з них 31 місце скиду забруднених, недостатньо очищених стічних вод, 15 місць скиду недостатньо очищених, але з біологічною

доочисткою, 45 місць скиду забруднених, без очищення і 52 місця скиду нормативно очищених стоків).

Для дослідження було використано моніторингові матеріали спостережень Регіонального офісу водних ресурсів у Миколаївській області по в пункті р. Південний Буг – м. Миколаїв (технічний водозабір Миколаївської ТЕЦ, ліва частина морського порту) за 2010 – 2018 рр. (за період відібрано 36 проб, аналізувалось 36 гідрохімічних показників).

За наявними даними спостережень була складена кореляційна матриця зв'язків між концентраціями гідрохімічних показників, в якій було виявлено 64 корелятивно значимих зв'язки. За знаком чіткої тенденції не виявлено – є як прямі так і зворотні зв'язки. Найбільшою тісністю відзначаються зв'язки між парами головних іонів і мінералізацією і твердістю.

На нашу думку, можна сказати, що режим змін концентрації головних іонів у воді р. Південний Буг в гирловій частині протягом року досить стабільний, отримані результати потребують додаткового вивчення.

Аналіз результатів оцінки якості вод р. Південний Буг за методом ІЗВ по кожній пробі показав, що повторюваність випадків різних класів забруднення води була 25 % по II класу, 58 % – по III класу, 14 % – по IV класу, 2,7 % – по V класу.

Аналіз хронологічних тенденцій зміни показника ІЗВ за осередненими середньорічними даними поданий показав, що абсолютні значення показника ІЗВ протягом дослідного періоду демонстрували незначну динаміку і в цілому ситуація по забрудненості відповідала III класу «помірне забруднена». Це означає, що води р. Південний Буг в гирловій частині можна за якісним станом віднести до таких, що знаходяться під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистеми річки.

За методом ПКІЗ було здійснено статистичну оцінку якості води р. Південний Буг в пункті м. Миколаїв. Було отримано, що в цілому за цей період з 21 показника для 17 відзначались випадки перевищень ГДК різної інтенсивності, тому показник комплексності забруднення склав 81 %.

В цілому якість води р. Південний Буг відповідала показнику КІЗ 102 балів, ПКІЗ – 4,85 балів, що з врахуванням однієї речовини ЛПЗ (натрій) вказує на приналежність досліджуваного водного об'єкта до IVa класу якості води («дуже брудна») і непридатність її вод для безпечного ведення рибництва, в усякому разі – вирощування прісноводних видів риби.

Результати узагальненої екологічної оцінки якості води р. Південний Буг за період 2010-2018 рр. свідчать, що за середніми і найгіршими значеннями показників за мінералізацією вода річки належала до солонуватих мезогалинних, за іонним складом набувала хлоридного класу, групу натрію, III типу. В обох випадках серед блокових індексів найбільше погіршує якість вод індекс еколого-санітарного блоку. Тобто, у воді

р. Південний Буг надто високі концентрації сполук азоту, фосфору, органічної забрудненості, досить нестабільний кисневий режим і рН.

За інтегральною оцінкою, за досліджуваній період води р. Південний Буг в створі м. Миколаїв по середнім значенням показників набувають III клас, 4 категорія і за станом-чистотою оцінюються як «задовільні-слабо забруднені». За найгіршими значеннями показників ситуація відповідає IV класу, 6 категорії і за станом-чистотою води р. Південний Буг оцінюються як «погані-брудні».

Таким чином, сучасний гідроекологічний стан р. Південний Буг в гирловій частині біля м. Миколаїв можна оцінити як незадовільний. Проблемою є високий вміст у воді головних іонів, біогенних речовин, органічного забруднення. Причини цих проблем очевидні – кліматичні зміни (зміна кількості і режиму випадіння опадів, зростання випаровування і посушливості взагалі, тотальне зарегулювання стоку і ускладнений водообмін у створених водоймах, загальна тенденція до збереження високого рівня забрудненості вод річки Південний Буг стічним водами які здебільшого не проходять повну очистку та й очистку взагалі.

Внаслідок цього маємо негативний результат оцінки екологічного стану річки в передвоєнний період. Дуже сумнівно, що після початку повномасштабної війни ситуація поліпшилась. Це вимагає уваги всіх зацікавлених сторін (органи державної влади, водокористувачі) до питань підтримки оптимального і комплексного використання ресурсів річки Південний Буг сьогодні і в майбутньому.

Оцінка ризиків щодо антропогенного навантаження за методом [3] для хімічних та фізико-хімічних показників р. Південний Буг в гирловій зоні в районі м. Миколаїв в довоєнний період за даними гідрохімічних спостережень з 2010 по 2018 рр. показала, що для річки виникає ризик недосягнення екологічних цілей через надвисокий вміст у воді органічних речовин за БСК₅. для якого відповідне фактичне значення перевищило критичне. Натомість за іншими показниками (рН, кисень, амоній сольовий, фосфати) даний МПВ знаходиться в категорії «без ризику» антропогенного навантаження.

Перелік посилань

1. *Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу* / Хільчевський В.К., Чунар'ов О.В., Ромась М.І. та ін.; Київ: Ніка-Центр, 2009. 184 с.

2. *Регіональна гідрохімія України: підручник* / Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. та ін. Київ: ВПЦ Київський університет, 2019. 343 с.

3. *Методичні рекомендації щодо визначення основних антропогенних навантажень та їхніх впливів на стан поверхневих вод* / Вихрист С., Мудра К., Осійський Е. та ін. Київ: Держводагенство, 2018. 21 с.

УМОВИ ФОРМУВАННЯ ТА ПРОГНОЗ МАЛОВОДДЯ НА РІЧКАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ В 2025 РОЦІ

Л. В. Кущенко, старший викладач, А. О. Блага, аспірантка

В. А. Овчарук, д-р. геогр. наук, професор

Ж. Р. Шакірманова, д-р. геогр. наук, професор

Кафедра гідрології суші

gidro@onu.edu.ua

Відповідно Положення про порядок оцінки та інформування про маловоддя [1] «Маловоддя або гідрологічна посуха – це період у гідрологічному режимі водних об'єктів з малими і дуже малими витратами води, формування та утримання яких має небезпечний вплив на сектори економіки, об'єкти господарювання, життєдіяльність населення та навколишнє природне середовище».

Оцінювання настання (ймовірності настання) маловоддя (гідрологічної посухи) на річках, гідрологічний режим яких впливає на роботу водозалежних секторів економіки та водозабезпечення населення України є актуальним питанням в сучасних умовах зміни клімату та водності річок. Посушливий регіон Півдня України перебуває в зоні суттєвого ризику внаслідок дефіциту водних ресурсів, формування екстремально низького стоку у меженний період, що потребує його визначення і прогнозування.

Мета дослідження – проаналізувати умови формування маловоддя на річках Півдня України в 2025 році та представити результати прогнозування меженних середньодекадних витрат води в період літньо-осінньої межени для попередньої оцінки водності основних річок України з метою оцінювання настання маловоддя (гідрологічної посухи) річок.

Об'єктом дослідження є меженний стік річок Півдня України – річок басейну Південного Бугу, річок Північно-Західного Причорномор'я та суббасейну Нижнього Дніпра, що розташовані у степових і лісостепових районах країни. Гідрологічний режим річок визначається кліматичними, гідрогеологічними, орографічними і гідрографічними особливостями територій.

У багаторічному періоді на річках найнижча межень властива літньо-осінньому періоду, коли відбувається виснаження поверхневих і підземних вод весняного водопілля. Зимова межень дещо вища внаслідок живлення річок талими водами під час відлиг. Але в окремі посушливі зими меженний стік низький, як й влітку.

Оперативна оцінка настання маловоддя основних річок України, відповідно Положення про порядок оцінки та інформування про маловоддя [1], здійснюється Українським гідрометеорологічним центром ДСНС України (УкрГМЦ <https://meteo.gov.ua>) та його основними підрозділами у

створах діючих гідрологічних постів окремо для періоду весняного водопілля (лютий-травень) та меженного періоду (червень-листопад).

При цьому використовуються щоденні гідрометеорологічні дані спостережень з огляду погоди та стихійних гідрометеорологічних явищ на території України, у їх порівнянні до середньої багаторічної та екстремальної водності річок відповідного календарного місяця чи сезону, об'ємів весняного водопілля, опублікованих в режимних виданнях багаторічних даних спостережень (БДС).

Аналіз оцінки настання (загрози настання) маловоддя здійснюється в критеріях маловоддя (згідно Додатку 1 Положення [1]), а також з урахуванням складених гідрологічних довгострокових та короткострокових прогнозів та попереджень (максимальних витрат та об'ємів весняного водопілля, середніх місячних/декадних витрат води) в прогностичних створах.

В критичних ситуаціях у меженний літньо-осінній період, коли *маловоддя* утримається упродовж місяця та довше, додатково виконують оцінку місячної водності порівняно з середньою багаторічною витратою води наймаловоднішого місяця року (періоду відкритого русла), а також за допоміжним критерієм оцінки настання маловоддя – *екологічною витратою води*, що є критичним показником для функціонування екосистем річок [1].

Виклад основного матеріалу. Відповідно Положення про порядок оцінки та інформування про маловоддя [1] оперативна оцінка настання (ймовірності настання) маловоддя (гідрологічної посухи) здійснюється у створах діючих гідрологічних постів окремо для періоду весняного водопілля (лютий-травень) та меженного періоду (червень-листопад).

Аналіз умов формування маловоддя на річках Півдня України у зв'язку з гідрометеорологічними умовами формування водного режиму річок в 2025 році виконаний авторами роботи починаючи з початку поточного року. За даними УкрГМЦ <https://meteo.gov.ua> маловоддя на річках спостерігалось вже з січня поточного року.

Внаслідок аномально високого температурного фону та значного дефіциту опадів середньомісячна водність зимової межени у січні на р. Південний Буг та її приток була меншою за норму і становила 28-39 %, норми січня; на притоках Нижнього Дніпра вона також характеризувалася низькими величинами (середньомісячна витрата води р. Оріль була нижчою за критерій маловоддя – 14 %).

Період весняного водопілля (лютий-травень). Весняне водопілля 2024-2025 року на річках Півдня України було невираженим (аномально теплий температурний фон при незначній кількості опадів призвели до відсутності основного чинника весняного стоку – запасів води в сніговому покриві), а водність річок в цей період була нижчою за середні багаторічні значення

(30-70 % норми). Маловоддя спостерігалось на окремих ділянках приток Нижнього Дніпра (р. Оріль (14 % від місячної норми).

У таких гідрометеорологічних умовах у 2025 році оперативна оцінка настання маловоддя на річках у *меженний період* виконувалася раніше строків встановлених в Положенні про порядок оцінки та інформування про маловоддя [1] для періоду літньо-осінньої межени (червень-листопад), а саме з квітня 2025 р.

Так, на фоні звичайної підвищеної водності річок у квітні – травні при проходженні весняного водопілля, у 2025 році водність цих місяців була нижчою та значно нижчою за норму, навіть при формуванні маловоддя за основним та допоміжними критеріями для оцінки настання маловоддя у Положенні [1].

Комплексні графіки ходу гідрометеорологічних характеристик на річках Півдня України у 2025 році представлені на рис.1.

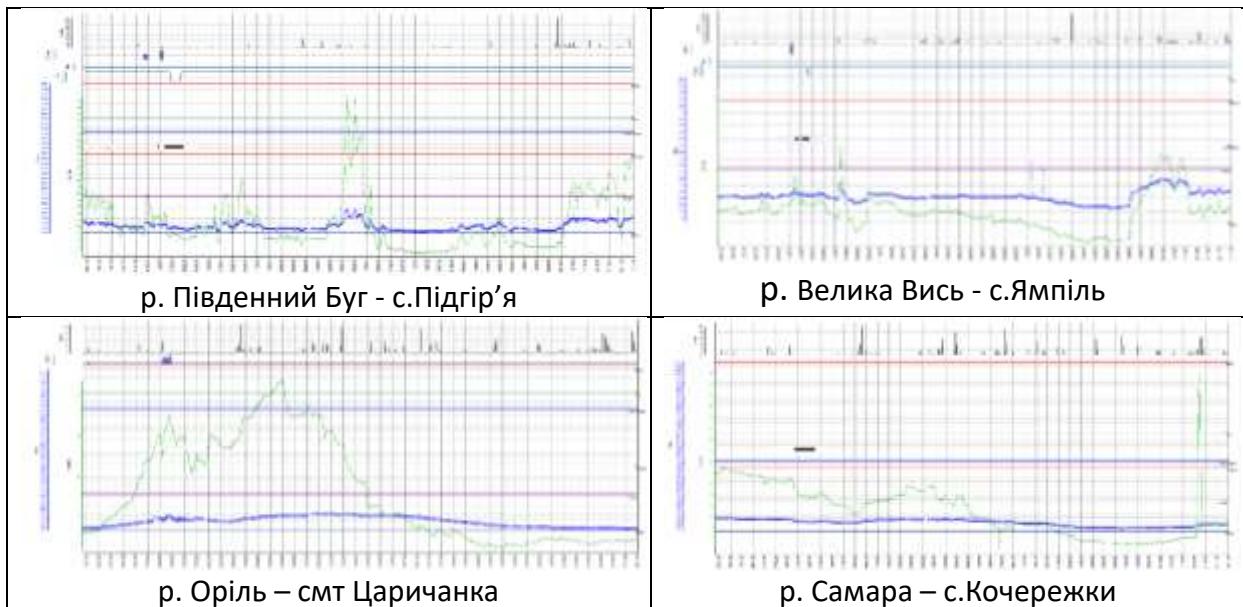


Рисунок 1 – Комплексні графіки ходу гідрометеорологічних характеристик на річках Півдня України у 2025 році.

Літній період (червень–серпень). Літо 2025 року було аномально теплим і посушливим при середньомісячних температурах повітря на 2–5°C вищими за кліматичну норму та за практичної відсутності опадів на території півдня країни (іноді й менше 20 %). За таких метеорологічних умов величина поверхневого стоку різко знизилася, що визвало обміління та пересихання річок й, навіть, заплав річок крайніх південних регіонів території.

Критична гідрологічна ситуація склалася у липні та серпні на р. Південний Буг біля Підгір'я та на його притоці р. Синюха з середньою місячною витратою води 11-20 % та виявилася нижчою за значення

екологічної витрати води – 69 та 60 %, відповідно, що є критичним для функціонування екосистем річок.

Осінній період (вересень – жовтень) характеризувався на його початку меженними умовами з низькими рівнями води, однак у вересні в окремих частинах території країни пройшли значні дощі (іноді 120-160 % норми). За таких погодних умов, у жовтні на більшості річок України на фоні тривалої низької осінньої межени розпочалось повільне збільшення водності, але в середньому за місяць водність річок у ці місяці 2025 р. залишалася меншою та значно меншою за норму.

Таким чином, осінь 2025 року (станом на жовтень місяць) завершилася збереженням режиму маловоддя, особливо в басейнах Південного Бугу та Дніпра, зокрема суббасейну Нижнього Дніпра.

З метою завчасної оперативної оцінки водності річок у періоди гідрологічної межени на кафедрі гідрології суші ОНУ імені І.І. Мечникова на основі розробленого методу територіальних короткострокових прогнозів середніх декадних витрат води річок Півдня України [2] здійснюється поточне прогнозування витрат води, що дозволяє оцінювати ступінь маловоддя (гідрологічну посуху) річок протягом меженого періоду, а також надавати ймовірність її настання у багаторічному періоді.

В основу прогнозу низьких витрат води меженого періоду річок Півдня України покладено вирішення рівняння водного балансу у вигляді регіональних залежностей стоку води у замикаючому створі як функцію запасів води у руслі. Такі залежності узагальнені для низки гідрологічних постів басейнів річок з урахуванням кліматичних закономірностей розподілу опадів територією за сезонами року [2, 3]. Прогнозні ймовірності настання прогнозних величин витрат води у багаторічному розрізі ($P^0\%$) отримуються з графіків емпіричних розподілів середньомісячних витрат води кожного сезону року.

Картографічна форма представлення прогностичних величин межених модулів стоку води ($л/(с \cdot км^2)$) та прогнозних ймовірностей їх настання у багаторічному розрізі ($P^0\%$) дозволяють здійснювати оцінку водності очікуваної межени річок у будь-якій частині території, незалежно від стану її гідрометеорологічної вивченості.

В роботі виконаний прогноз середньодекадних витрат води та встановлені їх забезпеченості $P^0\%$ в басейнах річок Півдня України (для третьої декади серпня 2025 р.), який показав, що прогнозовані витрати води майже по всіх річках території були близькими або меншими за норму наймаловоднішого місяця за весь ряд гідрологічних спостережень на річках, або за розрахункові екологічні витрати води при ймовірності їх настання 85-99% (рис.2). Такі результати свідчать про можливість попередньої оцінки формування маловоддя чи гідрологічної посухи річок території.

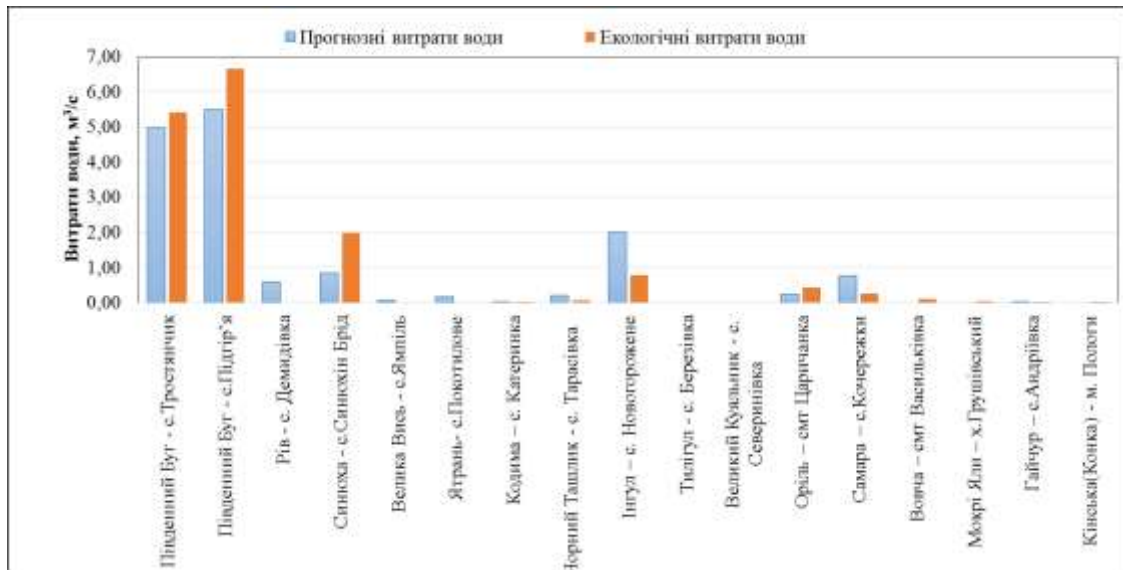


Рисунок 2 – Порівняння прогнозованих середьодокадних витрат води із розрахунковими екологічними витратами води на річках Півдня України.

Висновки. Аналіз гідрометеорологічних умов поточного року показав, що межень літа-осені 2025 року відзначалася тривалістю, глибиною та просторовим поширенням. Річки території Півдня України перебували у межennomу стані майже безперервно з зими та весни до жовтня.

Короткострокові прогнози витрат води у меженний період дають змогу завчасної оцінки маловоддя на річках Півдня України та виявлення загрози обмеженості водних ресурсів для водогосподарських і гідроенергетичних комплексів, питних та промислових водозаборів, інших крупних об'єктів господарювання.

Перелік посилань

1. Положення про порядок оцінки та інформування про маловоддя (гідрологічну посуху) на водних об'єктах суші України. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2020. 13 с.

2. Шакірзанова Ж.Р., Овчарук В.А., Докус А.О., Кущенко Л.В., Тимко О.С. Ймовірно-прогностичний метод для визначення межених витрат води річок Південного Бугу, Причорномор'я та Нижнього Дніпра. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. Вип.57. 2022. С. 251-267. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-19>

3. Шакірзанова Ж.Р., Блага А.О. Прогноз водності річок при дефіциті водних ресурсів на Півдні України. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Кліматичні зміни та сталий розвиток сільського господарства»*, 19 вересня 2025 року, м. Одеса, Україна. Одеса: Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, 2025.С-97-100. DOI: <https://www.doi.org/10.32782/19092025>

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ НА ПРИКЛАДІ РІЧОК ПІВДНЯ УКРАЇНИ

А. М. Куза, канд. геогр. наук, старший викладач

Н. С. Лобода, д-р. геогр. наук, професор

Кафедра гідрології суші

natalie.loboda@gmail.com

В сучасних умовах кліматичних змін спостерігається різке зменшення річкового стоку та посилення інтенсивності випаровування, що особливо характерне для південних областей України. Зростаючі обсяги сільськогосподарських стоків, низька водність та обмежені можливості самоочищення призводять до накопичення біогенних речовин, що підсилює евтрофікацію та погіршує якість води в усій системі лиманів і водоприймачів. Актуальність роботи обумовлена необхідністю оцінки ризиків забруднення річок півдня України для прогнозування екологічного стану водних ресурсів, визначення пріоритетів їх охорони та розробки заходів по відтворенню і збереженню водних артерій Південного регіону.

Метою роботи є оцінка екологічних ризиків забруднення річок Когильник, Сарата і Великий Куяльник біогенними речовинами. Кожна з обраних річок є важливим водним об'єктом для Півдня України.

Річка Когильник формує значну частину водного балансу лиману Сасик, для неї характерна висока вразливість до забруднення через недостатню водність у літній період і потрапляння значної кількості забруднюючих речовин з полів зрошення. Річка Сарата є типовою маловодною степовою річкою, в значній мірі стік котрої залежить від атмосферних опадів, характеризується підвищеною концентрацією нітритів, через сільськогосподарську діяльність і застійними явищами через зменшення стоку. І Когильник і Сарата мають підвищену мінералізацію і відіграють важливу роль в у водному балансі водосховища Сасик [1, 2]. Річка Великий Куяльник – основний водотік, що живить Куяльницький лиман, один із найбільш важливих лікувальних курортів державного значення. Через велику кількість штучних водойм і значне випаровування, річка не здатна забезпечити стабільний поверхневий приплив до лиману [3]. Окрім того, спостерігаються процеси засолення і погіршення стану екосистеми Великого Куяльнику, який є дуже чутливим до забруднення біогенними речовинами, що одразу позначається на стані унікального гідромінерального комплексу Куяльника.

У роботі використані матеріали Державного агентства водних ресурсів України [4] та Єдиної в Україні екологічної системи SaveEcoBot [5]. Було використано період спостережень з 2005 по 2023 рр. Розглядалися наступні хімічні елементи: біохімічне споживання кисню за 5 діб, завислі речовини,

розчинений кисень, сульфати, хлориди, фосфати, азот амонійний, азот нітратний, азот нітритний.

Для первинної оцінки якості річок було використано метод Індексу забрудненості води модифікованого або скорочено ІЗВ. Даний метод відноситься до комплексної оцінки стану водних об'єктів, які допомагають виявити просторово-часові зміни і встановити випадки забруднення річок. Розрахунки виконуються за схемою [6]. Модифікований ІЗВ визначається на основі шести показників, до обов'язкових БСК5 та вмісту розчиненого кисню, додаються ще чотири параметри, які обираються за найбільшим співвідношенням їх концентрації до ГДК. Оскільки дослідження спрямоване на оцінку забруднення біогенними елементами, до розрахунку були включені такі показники: розчинений кисень, біохімічне споживання кисню за п'ять діб, концентрації амонійного азоту, нітритів, нітратів та фосфору. Для річки Великий Куяльник, враховуючи постійне збільшення мінералізації, додано було такі параметри як сульфати і хлориди.

Професором Лободою Н.С. було запропоновано визначення екологічних ризиків для річок України, зокрема Когильник, Сарата, Грузька [7, 8]. Метод оцінки екологічних ризиків показує ступінь деградації водної екосистеми. Цей метод базується на розрахунку ймовірності виникнення екологічного ризику через вплив хімічних речовин. Він дозволяє класифікувати водні об'єкти відповідно до рівня екологічного ризику, визначаючи їх придатність для різноманітних видів використання, таких як забезпечення водопостачання чи потреби сільського господарства. Оцінювання ризику порушення благополуччя водної екосистеми проводилося на основі пробіт-функції *Prob*, яка формується з використанням рівняння [9]

$$Prob = -2,3 + 2,21 \lg \Sigma (C_i / C_{EHi}) \quad (1)$$

де C_i – концентрація i -ї речовини у водному об'єкті, мг/дм³;

C_{EHi} – екологічний норматив i -ї речовини у водному об'єкті, мг/дм³ в даному випадку ГДК).

На основі отриманих *Prob* функцій виконується характеристика погіршення стану водних об'єктів за допомогою ранжованої шкали екологічних ризиків *ER* [10].

За даними моніторингу для річок Когильник, Сарата і Великий Куяльник установлена емпірична ймовірність перевищення ГДК рибогосподарського використання. У верхів'ї річки Сарата найчастіше формуються води III класу якості (“помірно забруднені”) з імовірністю 37,5 %. У нижній течії переважають води IV класу (“забруднені”), ймовірність яких становить 32,6 %. Потрапляння вод до класів V–VII (порушені екологічні параметри) у нижньому створі оцінюється як 8,70 %, 15,2 % та 2,17 % відповідно. Для річки Когильник у верхньому створі

найбільш імовірним є формування вод IV класу (38,8 %), у нижньому – III класу (33,9 %). Загальна частка вод із порушеними екологічними параметрами (IV–VII класи) становить 86,3 % у верхній та 44,7 % у нижній ділянці. Для річки Великий Куяльник у створі с.Руська Слобідка найбільш ймовірно формування III класу “помірно забруднені” (58 %) і IV класу “забруднені”(25 %).

Оцінка ризику забруднення біогенними елементами дала наступні результати (табл.1).

Таблиця 1 – Рівень ризику забруднення річок біогенними елементами

| Створи | Ймовірність екологічного ризику <i>ER</i> (за найбільшою вірогідністю) | | |
|--|--|------|------------------------------|
| | відсоток % | клас | характеристика |
| Верхній ствір р.Когильник - с.Серпневе | 46,1 % | V | критичний рівень забруднення |
| Нижній ствір р.Когильник - с.Новоолексіївка | 33 % | IV | високий рівень забруднення |
| Верхній ствір р.Сарата - с.Міняйлівка | 52,9 % | IV | високий рівень забруднення |
| Нижній ствір р.Сарата - с.Білолісся | 60 % | IV | високий рівень забруднення |
| р.Великий Куяльник, 8.2 км с.Руська Слобідка | 42 % | IV | високий рівень забруднення |

Аналіз показав, що для річки Когильник в нижньому створі ймовірність досягнення доброго стану (II клас) становить 26 %. Для річки Сарата ймовірність досягнення «доброго» стану (клас II) залишається низькою: 17,6 % у верхній та 6,67 % у нижній частині річки. Для річки Великий Куяльник за даними розрахунків отримана доволі висока ймовірність досягнення «доброго» стану на рівні 33 %.

Висновки. Річки Когильник і Сарата перебувають під значним антропогенним впливом, що проявляється у високому вмісті біогенних речовин та формуванні низьких класів якості вод. Це робить їх непридатними для питного та господарсько-побутового використання й обмежує рибогосподарську цінність. У річці Когильник спостерігається часткове зменшення азотного забруднення у нижній течії за рахунок зменшення об’ємів сільськогосподарського навантаження і процесів самоочищення. Забруднені води Сарати і Когильника також погіршують стан лиману Сасик. Річка Великий Куяльник характеризується високим рівнем екологічних ризиків, що негативно впливає на екосистему річки та

погіршує стан Куяльницького лиману. Поліпшення екологічного стану можливе за умови зменшення надходження стічних вод, впровадження екологічно безпечних агротехнологій і створення захисних прибережних смуг.

Перелік посилань

1. Тучковенко Ю.С., Хохлов В.М., Лобода Н.С., Кушнір Д.В., Серга Е.М. *Вплив змін клімату на гідрологічний і гідроекологічний режими лиманів північно-західного Причорномор'я* : монографія / за ред. Ю.С. Тучковенко. Одеса : Одеський державний екологічний університет, 2022. 202 с.
2. Лобода Н.С., Куза А.М., Отченаш Н.Д., Козлов М.О. Аналіз екологічного стану річки Сарата Одеської області. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2024. Вип. 33. С. 18–37.
3. Loboda N.S., Otchenash N.D., Hryb O.M. Description of artificial reservoirs within the catchment area of the Great Kuyalnik River and regulation of their operation at the present time and in future. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 21. DOI: 10.31481/uhmj.21.2018.06.
4. Дані моніторингу та екологічної оцінки водних ресурсів України Державного агентства водних ресурсів України URL : <http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index> (дата звернення 17.10.2023).
5. Дані сайту Єдиної в Україні екологічної системи SaveEcoBot URL : https://www.saveecobot.com/water-maps#13/46.8356/30.0600/water/river-181/water_25188 (дата звернення 10.11.2024).
6. Юрасов С.М. *Методи оцінки якості природних вод*: Конспект лекцій. Одеса: Екологія, 2011. 92 с.
7. Лобода Н.С., Куза А.М. Аналіз екологічного стану річки Сарата Одеської області. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2024. No 33. С. 18-37.
8. Лобода Н.С., Яров Я.С., Куза А.М., Катинська І.В. Комплексна оцінка антропогенних навантажень та наслідків їх впливу на екологічний стан водних об'єктів (на прикладі річки Грузька Кіровоградської області). *Український гідрометеорологічний журнал*. Одеса. 2023. No31. С. 103-121.
9. Finney D. *Probit analysis: a statistical treatment of the sigmoid response curve*. Cambridge University Press, Cambridge, 1952. 256 p.
10. Rybalova O., Artemiev S. Development of a procedure for assessing the ecological risk of the surface water status deterioration. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10-89). 2017. 67-76.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ІНДЕКСНОЇ СЕЗОННОЇ НОРМАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕНДЕНЦІЙ У СЕЗОННОМУ СТОЦІ РІЧОК БАСЕЙНУ ТИСИ В МЕЖАХ УКРАЇНИ

Ю. О. Поздняков, аспірант

В. А. Овчарук, д-р. геогр. наук, професор

Кафедра гідрології суші

valeriya.ovcharuk@gmail.com

Досліджуваний суббасейн Тиси розташований в Закарпатській області України. Він є частиною басейну річки Дунай і найбільшою лівою його притокою, яка протікає в межах України, Угорщини та Сербії, частково по кордону між Україною та Румунією та Угорщиною, а також по кордону між Словаччиною та Угорщиною.

Суббасейн Тиси займає південно-західну частину Українських Карпат та північно-східну частину Середньодунайської низовини по річці Тиса і її притоках. Тут протікає 165 річок з довжиною більше 10 км та розташовано 9 водосховищ (з об'ємом більше 1 млн м³). Поверхневий стік на території України формують Чорна і Біла Тиса, праві притоки – річки Тересва, Тересля, Ріка, Боржава та річки Уж і Латориця.

Карпатські гори впливають на клімат навколишньої території, утворюючи природню перешкоду, що захищає Закарпаття від вторгнення холодних арктичних мас повітря з північного сходу і сходу. Тому зими на досліджуваній території м'які і теплі.

Водний режим на річках суббасейну Тиси залежить від умов сніготанення в зимово-весняний період, а також від кількості опадів, що випали і їх інтенсивності навесні і влітку. Живлення річок тут змішане і в формуванні стоку в різних частинах території роль талих і дощових вод дещо різна. Спостереження за гідрологічним режимом на річках суббасейну Тиси здійснюються на сьогодні по 19 гідрологічних постах [1].

На території України, виходячи із умов формування та особливостей розподілу річного стоку по місяцях і сезонах [2], за типовим внутрішньорічним розподілом стоку виділені 16 районів. Суббасейн Тиси відноситься до 2 з них, де весняний стік (III-V) оцінюється у різні роки по водності від 35-38 % до 50%, літньо-осінній сезон (VI-XI) від 25-40 % до 37-43 %, а зимовий відповідно від 9-12 % до 18-27 %.

За класифікацією Гребеня В.В. [3] суббасейн Тиси у сучасних кліматичних умовах відноситься до Тисо-Латорицької ландшафтно-гідрологічної провінції, де у весняний сезон формується 31 %, літньо-осінній – 45 %, а зимовий 24 % річного стоку, відповідно.

Внутрішньорічний режим стоку річок цього суббасейну характеризується наявністю паводочного періоду з березня по серпень, під

час якого формується від 55 % до 70 % річного стоку. У маловодні роки високі паводки іноді спостерігаються восени й навіть узимку.

У зв'язку з такою складністю режиму стоку річок визначення меж сезонів є досить умовним, тому що паводки, що спостерігаються протягом усього року, ускладнюють виділення меженого періоду.

Практичне значення кількісної оцінки внутрішньорічного розподілу стоку по місяцях та по сезонах необхідне для забезпечення потреб у воді населення та господарства. А також з метою дотримання принципів сталого розвитку з безумовним дотриманням при цьому принципів мінімізації вилучення води з природного кругообігу, досягнення екологічної чистоти водного середовища, запобігання шкідливого впливу водної стихії на сільськогосподарські угіддя, урбанізовані території, промислові й інфраструктурні об'єкти.

У роботі здійснено адаптацію і прикладне використання методу індексної сезонної нормалізації (ІСН), та розраховано центроїди маси стоку для двох періодів для аналізу змін у сезонному розподілі річкового стоку в суббасейні Тиси. Метод ІСН, що базується на нормалізації середньомісячного стоку до річного об'єму, застосовано з метою побудови індексних гідрографів для порівняння сезонного ходу між кліматичним базовим періодом (1961–1990) та сучасним періодом зміни клімату (1991–2020).

В рамках виконаного аналізу за методом ІСН визначено перерозподіл стоку води по місяцях та сезонах. На всіх розглянутих водозборах спостерігається збільшення осінньо-зимового стоку і зменшення весняно-літнього. За результатами індексної сезонної нормалізації встановлено, що для всіх розглянутих річок суббасейну Тиси характерне зростання частки стоку в зимовий та осінній періоди та зменшення у весняно-літній сезон (табл.1).

Таблиця 1 – Зміни у сезонному розподілі річкового стоку в суббасейні Тиси

| Річка (пункт) | Зима (%) | Весна (%) | Літо (%) | Осінь (%) |
|-------------------------|----------|-----------|----------|-----------|
| р.Чорна Тиса -с.Ясиня | +18,98 | -5,15 | -11,24 | +19,29 |
| р.Біла Тиса- с.Луки | +9,05 | -0,27 | -11,44 | +8,24 |
| р.Боржава- с.Довге | +11,20 | -9,56 | -16,52 | +12,30 |
| р.Латориця – с.Підлоззя | +18,08 | -13,09 | -19,41 | +18,76 |
| р.Латориця – м.Чоп | +12,41 | -14,31 | -17,81 | +13,14 |
| р.Уж – м.Ужгород | +13,73 | -16,69 | -6,65 | +19,82 |
| р.Тиса - м.Рахів | +28,96 | -10,24 | -10,09 | +18,41 |

Отже розглядаючи ці данні можна зауважити, що така динаміка свідчить про комплексну тенденцію перерозподілу сезонного стоку –

зменшення весняного водопілля і підвищення ролі осінньо-зимового стоку, характерну для регіонів, що реагують на сучасні кліматичні зміни.

Для більшої візуалізації отриманих результатів на рис. 1 наведено зміни індексу сезонної нормалізації (ІСН) по сезонах для семи річок суббасейну Тиси в межах України. Показані відсоткові відхилення сезонного стоку у сучасному періоді (1991–2020) відносно кліматичної норми (1961–1990).

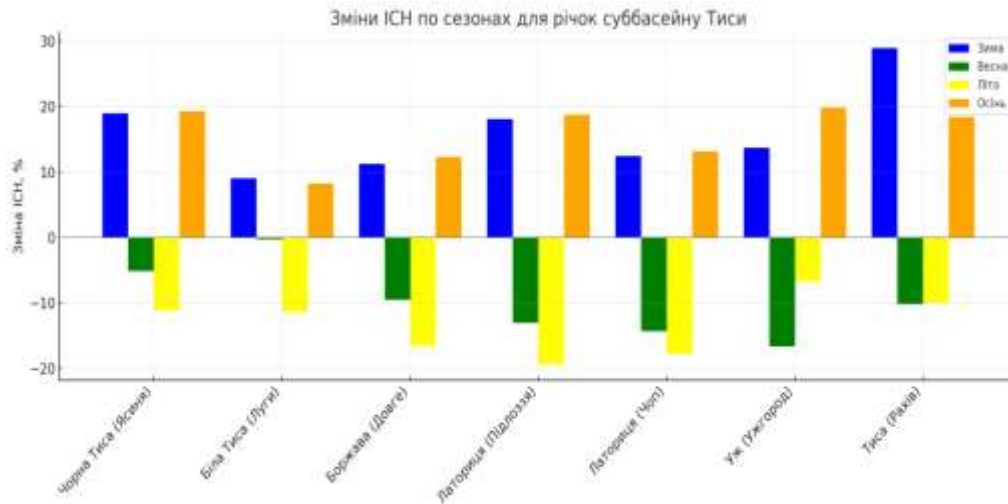


Рисунок 1 – Зміни індексу сезонної нормалізації (ІСН) для річок суббасейну Тиси.

Наступним етапом для кожного водозбору за багаторічний період спостережень побудовані індексні гідрографи які наочно надають змогу проаналізувати трансформацію стоку. На рис.2 представлений індексний гідрограф для р.Тиса- м.Рахів.

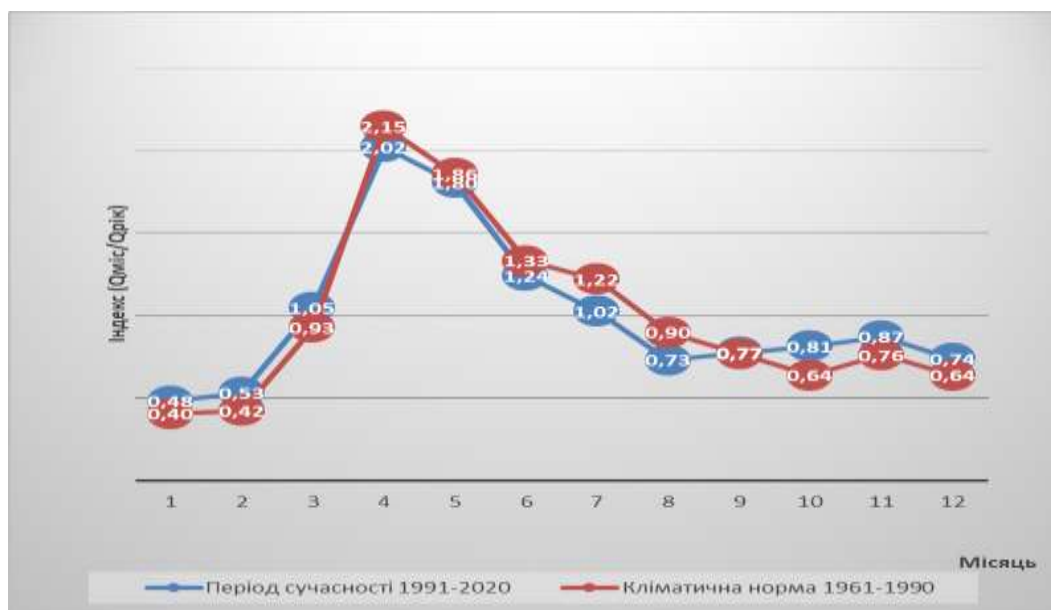


Рисунок 2 – Індексний гідрограф р.Тиса – Рахів.

На прикладі цієї річки аналізуючи індексний гідрограф можна зробити наступні спостереження та висновки:

Гідрограф ІСН для річки Тиса на посту Рахів демонструє характерний весняний максимум, типовий для гірських водозборів, однак при порівнянні двох періодів простежуються помітні відмінності у сезонному розподілі стоку:

Весняний максимум (березень–травень):

- Кліматична норма (1961–1990): ІСН у квітні сягає $\approx 2,2$ — найвищий пік за рік.

- Сучасний період (1991–2020): пік нижчий — $\approx 2,0$, а підйом починається раніше — у березні. Це свідчить про зменшення амплітуди весняного водопілля і зсування його початку на більш ранній термін — можливо, через теплішу весну та менші снігові запаси.

Літній період (червень–серпень):

- ІСН у сучасному періоді нижчий, особливо в червні–липні. Це вказує на зниження літнього стоку, імовірно пов'язане з підвищенням температур і посушливістю.

Осінньо-зимовий період (вересень–лютий):

- У сучасному періоді значення ІСН у січні–лютому та жовтні–грудні вищі, ніж у кліматичній нормі. Це свідчить про збільшення стоку у холодний період, що може бути наслідком частішого випадання дощів замість снігу та зменшення сезонного снігонакопичення.

Таким чином, в цілому весняне водопілля стало менш вираженим і більш раннім; літній стік зменшився, особливо у період активного випаровування; осінньо-зимовий стік зріс, що змінює структуру річного стоку в бік більш рівномірного розподілу

Для кількісного визначення фазових зсувів у сезонному розподілі стоку, в роботі було здійснено розрахунок центроїдів водної маси (центрів ваги річного гідрографа) для кожної річки у двох періодах: 1961–1990 рр. (кліматична норма) та 1991–2020 рр. (сучасний період). Центроїд визначався як середньозважена дата, що характеризує середній момент у році, коли проходить основна маса річного стоку. Обчислення проводилося за методикою NOAA (USA), адаптованою для сезонно-нормалізованих гідрографів.

Метою цієї частини роботи було виявлення зсуву фази максимуму стоку, підтвердження або спростування змін у сезонній структурі річного стоку. У табл.2 наведено отримані результати центроїдів мас перерахованих в дати. Аналіз табл.2 показує, що в більшості річок центроїди залишились стабільними або змістились незначно - у межах 1–2 діб. Це свідчить про локальний характер фазових змін - попри зміну амплітуди стоку, його "середній момент" у році лишається близьким до норми. Такий результат узгоджується частково, але не повністю з ІСН-гідрографами, які вказують на перерозподіл стоку за сезонами, але не

обов'язково зі зміною фазової структури. Зміни компесовані (одночасне зниження у весняно-літньому сезоні компенсується зростанням осінньо-зимового стоку) центр може зміщуватись слабо, навіть якщо форма гідрографа змінюється суттєво.

Таблиця 2 – Значення центроїдів мас перерахованих у дати для сезонного стоку річок суббасейну Тиси

| Річка | 1961–1990 | 1991–2020 | Зміщення |
|---------------------|-----------|-----------|----------|
| Біла Тиса — Луги | 9 червня | 7 червня | –2 дні |
| Чорна Тиса — Ясиня | 7 червня | 8 червня | +1 день |
| Тиса — Рахів | 5 червня | 5 червня | 0 |
| Латориця — Підлоззя | 1 червня | 2 червня | +1 день |
| Уж — Ужгород | 22 травня | 23 травня | +1 день |
| Латориця — Чоп | 20 травня | 19 травня | –1 день |
| Боржава — Довге | 27 травня | 27 травня | 0 |

Висновки:

- використання методу ІСН для аналізу річок різного гідрографічного типу (гірських та рівнинних) у межах української частини басейну Тиси надає можливість кількісно оцінити зміни сезонного стоку у відсотках по місяцях і сезонах, що дало змогу виявити регіональні особливості фазових і амплітудних зсувів;
- застосування методики центроїдних мас стоку для двох періодів і зіставлення з графічними змінами форми гідрографа дозволило оцінити глибину та локальність фазових змін у сезонному стоці річок суббасейну Тиси;
- реалізовано інфографічне представлення змін сезонного розподілу стоку, що є зручним для практичної гідрології, водогосподарського планування та оцінки кліматичних впливів.

Перелік посилань

1. Valeriya Ovcharuk, Maryna Goptsiy. Study of trends in the time series of maximum water discharges in the Tisza basin rivers within Ukraine *Acta Hydrologica Slovaca*, Volume 23, No. 1. 2022. P. 33–42.
2. *Гідрологічні розрахунки* : підручник / Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода, В.А. Овчарук. Одеса: ТЕС, 2014. 484 с.
3. Гребінь В.В. *Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз)*. Київ, 2010. 316 с.
4. Стюарт, І. Т., Каян, Д. Р., & Деттінгер, М. Д. (2005). Changes Toward Earlier Streamflow Timing Across Western North America. *Journal of Climate*, 18(8), 1136–1155. DOI: 10.1175/JCLI3321.1

ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД МАЛИХ РІЧОК УКРАЇНСЬКОГО ПРИДУНАВ'Я

*Д. В. Лутай, аспірант,
Л. В. Кущенко, старший викладач
Н. С. Кічук, канд. геогр. наук, доцент*
Кафедра гідрології суші
liliia_kushchenko@onu.edu.ua

Досліджувані річки розташовані на півдні Одеської області, в межах Ізмаїльського та Болградського районів, у степовій зоні Причорноморської низовини. Територія характеризується посушливим кліматом, високою випаровуваністю, переважанням рівнинних ландшафтів та чорноземів.

Клімат території – помірно континентальний, з недостатнім зволоженням, м'якою зимою та тривалим жарким літом. Основний вплив на зволоження має атмосферна циркуляція. На клімат впливають Азорський і Азіатський максимуми, Ісландський мінімум та середземноморські циклони.

Річки Великий Катлабух Ташбунар та Єніка відіграють важливу роль у формуванні водного балансу озера Катлабух – одного з ключових придунайських озер [1]. Їхній притік забезпечує надходження прісної води до озера, яке часто зазнає дефіциту води через кліматичні умови та недостатній приплив. Стабільність водного режиму річок є важливою для підтримання екосистемних функцій озера, його рибопродуктивності та меліоративного значення.

Основним типом живлення річок є снігове та дощове, що зумовлює різку сезонність стоку. Навесні спостерігається короткочасне підвищення водності внаслідок танення снігу та зливових опадів. У літньо-осінній період водність різко зменшується, а окремі ділянки річок, зокрема Ташбунар і Єніка, можуть пересихати повністю. Обмежене підземне живлення пов'язане зі слабкою водонасиченістю місцевих ґрунтів та рівнинним характером території.

Для оцінки якості води поверхневих водойм використовують індекс забруднення води (ІЗВ). За допомогою цього індексу можна провести порівняння якості води в різних водних об'єктах навіть за наявності різних забруднювальних речовин. Для розрахунку індексу забруднення води необхідна певна кількість показників. Розрахунки проводяться за формулою:

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (1)$$

де: ІЗВ – індекс забруднення води; n – кількість показників, що врахову-

ються в розрахунку; C_i – фактична концентрація i -го показника (мг/дм³); ГДК _{i} – гранично допустима концентрація (мг/дм³).

Для того, щоб порівняти якість вод у різних створах, визначити їх динаміку, використовують в якості критеріїв класи якості води.

До I класу належать води, на які найменше впливає антропогенне навантаження. Значення їх показників забруднення води (ІЗВ) близькі до природних значень даного регіону. Для вод II класу характерні певні зміни порівняно з природними, однак ці зміни не порушують екологічної рівноваги. До III класу належать води, які перебувають під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем. Води IV–VII класів відносять до вод із порушеними екологічними параметрами.

Оцінка якості води за ІЗВ для р. В. Катлабух, р. Єніка, р. Ташбунар виконувалася за такими хімічними показниками як: кисень, феноли, нафтопродукти, азот амонійний, азот нітритний та БСК₅ (табл. 1).

Таблиця 1 – Індекс забруднення вод за період 2000-2018 рр.

| рік | р. Ташбунар | | р. В. Катлабух | | р. Єніка | |
|------|-------------|------------------|----------------|------------------|----------|------------------|
| | ІЗВ | Клас якості води | ІЗВ | Клас якості води | ІЗВ | Клас якості води |
| 2000 | 1,27 | III | 0,68 | II | 0,49 | II |
| 2001 | 0,96 | II | 0,71 | II | 0,76 | II |
| 2002 | 1,71 | III | 1,04 | III | 0,31 | II |
| 2003 | 1,35 | III | 0,66 | II | 0,47 | II |
| 2004 | 1,42 | III | 1,13 | III | 1,14 | III |
| 2005 | 1,27 | III | 1,54 | III | 0,96 | II |
| 2006 | 1,44 | III | 1,23 | III | 1,18 | III |
| 2007 | 1,73 | III | 1,22 | III | 1,32 | III |
| 2008 | 1,57 | III | 1,4 | III | 0,74 | II |
| 2009 | 1,91 | III | 1,49 | III | 1,66 | III |
| 2010 | 1,91 | III | 1,06 | III | 0,98 | II |
| 2011 | 1,32 | III | 0,95 | II | 1,02 | III |
| 2012 | 1,83 | III | 1,7 | III | 1,47 | III |
| 2013 | 1,75 | III | 0,82 | II | 1,53 | III |
| 2014 | 1,48 | III | 1,23 | III | 2,15 | III |
| 2015 | 1,65 | III | 1,21 | III | 2,26 | III |
| 2016 | 1,19 | III | 1,12 | III | 1,48 | III |
| 2017 | 1,56 | III | 1,65 | III | 1,47 | III |
| 2018 | 1,69 | III | 1,51 | III | 2,1 | III |

За результатами розрахунку ІЗВ за період 2000 – 2018 рр. згідно до критерії оцінки якості вод на досліджуваних річках отримано такі результати:

р.Ташбунар – впадає в оз.Катлабух тече в межах Болградського та Ізмаїльського районів, вода помірно забруднена – 95 %, вода чиста – 5 %.

р.В. Катлабух – впадає в озеро Катлабух, тече в межах Болградського та Ізмаїльського районів – вода помірно забруднена 79 %, вода чиста – 21%.

р.Єніка – впадає в оз. Катлабух тече в межах Ізмаїльського району, вода помірно забруднена – 63 %, 37 % – чиста вода.

Найбільше значення ІЗВ за середніми значеннями спостерігалось:

- в р. В. Катлабух, у 2012 році (ІЗВ – 1,83), на високий індекс вплинули показники азот нітритний та феноли (3,98 мг/дм³, 3,9 мкг/дм³ відповідно);

- в р.Ташбунар, у 2009 році (ІЗВ – 1,91), на високий індекс вплинув такий показник як феноли (2,7 мкг/дм³);

- в р.Єніка у 2015 році (ІЗВ – 2,26), на високий індекс вплинув такий показник як феноли (7,00 мкг/дм³).

За результатами проведених розрахунків оцінки якості води за методикою гідрохімічного індексу забруднення води (ІЗВ) встановлено, що найбільш несприятливі гідрохімічні умови спостерігаються у річках Єніка та Ташбунар. Водні маси цих річок характеризуються підвищеним вмістом забруднювальних речовин, зокрема фенолів, нафтопродуктів та сполук азоту, що зумовлює їх віднесення до III класу якості – категорії *помірно забруднених вод*.

Такі показники свідчать про суттєвий антропогенний вплив на водні екосистеми, пов'язаний із господарською діяльністю, меліоративним втручанням, недостатньою очищеністю стічних вод. У поєднанні з кліматичними факторами – посушливістю території, слабким підземним живленням і сезонністю стоку – це призводить до зниження здатності річок до самоочищення та накопичення шкідливих домішок.

Результати підкреслюють необхідність запровадження комплексних природоохоронних заходів, спрямованих на зменшення забруднення, стабілізацію водного режиму та відновлення екологічної рівноваги. Тільки за умов системного підходу можна забезпечити поліпшення якості води та відновлення екосистем малих річок Придунайського регіону.

Перелік посилань

1. Valeriya Ovcharuk, Natalia Kichuk, Dmytro Lutai, Liliia Kushchenko, Maria Myroshnychenko: Hydrochemical regime and water quality of the Danubian lake Katlabukh// *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. 23, No. 1, 2022, p. 109 - 116, doi: 10.31577/ahs-2022-0023.01.0012

2. Кічук Н.С., Шакірзанова Ж.Р., Медведєва Ю.С., Курілова І.В. Формування гідрохімічного режиму та оцінка якості води у Придунайських озерах. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 3(42). С. 56–63.

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЧАСОВИХ РЯДІВ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ РІЧОК УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

М. П. Коваленко, аспірант

В. А. Овчарук, д-р. геогр. наук, професор

Кафедра гідрології суші

valeriya.ovcharuk@gmail.com

В силу паводкового режиму річок Карпат то в одній, то в іншій частинах регіону практично щорічно формуються паводки, які за своїми розмірами наближаються і навіть перевищують історичні. З цієї причини спеціалістами періодично проводиться уточнення ймовірних характеристик виняткової повторюваності. Зазвичай в практиці відчизняних розрахунків окремо оцінюються паводки теплого та холодного періоду року, а також весняного водопілля, тобто тих фаз водного режиму, коли на річках спостерігаються найбільші витрати та рівні води [1]. Тем не менш, окремий інтерес представляє аналіз річних максимумів стоку та їх тенденцій.

В табл. 1 представлені основні характеристики абсолютних максимумів на річках Українських Карпат за період від початку спостережень до 2020 року включно.

Аналізуючи дані представлені в табл.1 можна констатувати, що для більшості карпатських річок характерні великі річні максимуми, зумовлені поєднанням інтенсивних опадів, значних ухилів, та як наслідок, швидкої реакції басейнів на зливові та паводкові події.

Модулі максимальної витрати варіюють від 0,09 до 0,82 м³/с·км², що вказує на дуже різні умови формування паводків залежно від геоморфології та площі водозбору. Більшість випадків річних максимумів стоку припадає на зливові літні паводки (липень 1969, 2008, 1980), та зимово-весняні паводки (березень 2001, лютий 1968).

Як показано в табл.1, річки Українських Карпат представлені двома басейнами – Дунаю та Дністра. Розглянемо кожен з них окремо.

Басейн Дунаю. Найбільші абсолютні максимуми витрат води зафіксовано на великих ділянках Тиси, Ужа і Прута: р.Тиса – м. Мукачеве: 1630 м³/с; р.Уж – м. Ужгород: 1680 м³/с; Прут-м.Чернівці: **5200** м³/с.

Ці річки характеризуються великими паводковими хвилями, що формуються під час поверхневого зливового та підповерхневого контактного паводкового стоку з великих площ.

Якщо аналізувати середні модулі максимального стоку, то тут виділяються інші річки з дуже високими модулями (понад 0,5 м³/с·км²): р.Голятинка – с.Майдан (0,55 м³/с·км²); р.Латориця – с.Підполоззя (0,56 м³/с·км²); р.Прут – м.Яремча (0,52 м³/с·км²); р. Кам'янка – с.Дора (0,82 м³/с·км² – абсолютний максимум)

Таблиця 1 - Гідрологічні характеристики річного максимального стоку на річках Українських Карпат

| Номер з/п | Код поста | Річка - пункт | Площа водозбору ру., F, км ² | Період спостережень | п, ро ків | Абсолютна максимальна витрата води та час проходження | | Максимальна середня витрата води | Модулі абсолютної та середньої максимальної витрати води | |
|---------------------|-----------|------------------------|---|---|-----------|---|-------------------|----------------------------------|--|--|
| | | | | | | М ³ /с | Дата, місяць, рік | | (Q _{макс}) _{сер} М ³ /с км ² | (Q _{макс}) _{абс} М ³ /с км ² |
| Басейн Дунаю | | | | | | | | | | |
| 1 | 44006 | Тиса-м.Рахів | 1070 | 1947-2020 | 74 | 938 | 05.03.2001 | 311 | 0,29 | 0,88 |
| 2 | 44034 | Тересва-смг Усть-Чорна | 572 | 1947-1976, 1978-2020 | 73 | 665 | 05.03.2001 | 173 | 0,3 | 1,16 |
| 3 | 44051 | Ріка-смг Міжгір'я | 550 | 1946-2020 | 75 | 735 | 14.12.1957 | 269 | 0,5 | 1,34 |
| 4 | 44062 | Голятинка-с.Майдан | 86,0 | 1956-1994, 1999-2020 | 61 | 130 | 24.07.1966 | 45,8 | 0,55 | 1,51 |
| 5 | 44079 | Боржава-с.Довге | 408 | 1946-2020 | 75 | 439 | 04.11.1998 | 178 | 0,43 | 1,08 |
| 6 | 44085 | Латориця-с.Підполоззя | 324 | 1946-2020 | 75 | 537 | 14.12.1957 | 181 | 0,56 | 1,66 |
| 7 | 44090 | Латориця-м.Мукачеве | 1360 | 1946-2020 | 75 | 1630 | 23.07.1980 | 509 | 0,37 | 1,20 |
| 8 | 44093 | Латориця-м.Чоп | 2870 | 1925,1928-38, 1956-2020 | 77 | 653 | 27.02.1968 | 251 | 0,09 | 0,23 |
| 9 | 44113 | Уж-с.Заріччє | 1280 | 1946-2020 | 74 | 1210 | 14.12.1957 | 501 | 0,40 | 0,95 |
| 10 | 44116 | Уж-м.Ужгород | 1970 | 1946-2020 | 75 | 1680 | 14.12.1957 | 626 | 0,32 | 0,85 |
| 11 | 42137 | Прут-м.Яремча | 597 | 1950-2020 | 71 | 1530 | 08.06.1969 | 309 | 0,52 | 2,56 |
| 12 | 42138 | Прут-м.Чернівці | 6890 | 1895-1911, 1919-1924, 1926-1935, 1945-2020 | 10 8 | 5200 | 09.06.1969 | 1300 | 0,19 | 0,75 |
| 13 | 42176 | Кам'янка-с.Дора | 18,10 | 1946-2020 | 75 | 86,7 | 30.06.2006 | 14,9 | 0,82 | 4,79 |
| 14 | 42201 | Ільця-с.Ільці | 86,1 | 1960-2020 | 61 | 274 | 23.06.2020 | 44,8 | 0,48 | 3,18 |

Продовження табл.1

| Басейн Дністра | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|------------------------------|------|---|----|-------------|---------------------------|------|-------------|-------------|--|--|--|
| 15 | 81015 | Дністер-с.Стрілки | 384 | 1914,1916-1918,1920,1925-1929,1958-2020 | 73 | 721 | 25.07.2008 | 113 | 0,3 | 1,88 | | | |
| 16 | 81017 | Дністер-м.Самбір | 850 | 1946-2020 | 75 | 1040 | 25.07.2008 | 244 | 0,29 | 1,22 | | | |
| 17 | 81080 | Стрв'яз-с.Луки | 910 | 1957-2020 | 61 | 328 | 21.04.1998 | 92,5 | 0,10 | 0,36 | | | |
| 18 | 81092 | Тисьмениця-м.Дрогобич | 250 | 1940-1943,1945-2020 | 80 | 361 | 27.08.1966 | 101 | 0,40 | 1,44 | | | |
| 19 | 81102 | Стрий-с.Матків | 106 | 1955-2020 | 66 | 133 | 05.11.1998 | 47,1 | 0,45 | 1,25 | | | |
| 20 | 81108 | Стрий-смт Верхне Синьовидне | 2400 | 1929-1940,1951-2020 | 83 | 2610 | 09.06.1969 | 722 | 0,31 | 1,09 | | | |
| 21 | 81120 | Опір-м.Сколе | 733 | 1924-1929,1956-2020 | 70 | 1120 | 25.07.2008 | 304 | 0,43 | 1,53 | | | |
| 22 | 81122 | Славська-смт Славське | 76,3 | 1954-2020 | 67 | 96,8 | 28.08.1968 | 28,1 | 0,39 | 1,27 | | | |
| 23 | 81126 | Головчанка-с.Лухля | 130 | 1955-2020 | 66 | 197 | 08.07.2010 | 57,2 | 0,42 | 1,52 | | | |
| 24 | 81129 | Орава-х.Святослав | 204 | 1945-2020 | 76 | 489 | 08.06.1969 | 67,4 | 0,37 | 2,40 | | | |
| 25 | 81147 | Свіча-с.Зарічне | 1280 | 1953-2020 | 68 | 1970 | 09.06.1969/ 22.07.1974 | 478 | 0,35 | 1,54 | | | |
| 26 | 81151 | Лужанка-м.Гошів | 146 | 1949-1968,1970-2020 | 71 | 478 | 25.07.2008 | 83,5 | 0,60 | 3,27 | | | |
| 27 | 81169 | Лімниця-с.Перевозець | 1490 | 1954-2020 | 67 | 1710 | 25.07.2008 | 439 | 0,29 | 1,15 | | | |
| 28 | 81178 | Луква-с.Боднарів | 185 | 1954-2020 | 67 | 348 | 25.07.2008 | 90,4 | 0,48 | 1,88 | | | |
| 93 | 81199 | Бистриця Солотвинська-с.Гута | 112 | 1949-2020 | 71 | 400 | 23.07.1980 | 78 | 0,72 | 3,57 | | | |

Такі значення характерні для малих гірських водозборів, де паводкова хвиля має короткий час добігання та різкий підйом.

Середні максимальні витрати коливаються в широких межах від 45 до 626 м³/с, залежно від площі водозбору. Аналіз дат найвищих паводків показує, що часто повторюються такі дати:

- **14.12.1957** (потужний зимовий паводок по всьому Закарпаттю),
- **05.03.2001** (катастрофічний паводок на Тисі),
- **23.07.1980** (літні зливові паводки),

що свідчить про регіонально синхронний характер паводків.

Басейн Дністра. Паводки 1969 та 2008 років були найбільш катастрофічними для басейну Дністра. Найбільші абсолютні значення максимальних витрат спостерігаються на великих водозборах:

- р. Свіча – с.Зарічне: 1970 м³/с
- р. Стрий – смт Верхнє Синьовидне: 2610 м³/с
- р.Дністер –м. Самбір: 1040 м³/с

Дуже високі значення модулів середніх максимальних витрат води (>0,50 м³/с·км²) спостережені на таких гідрологічних постах:

- р. Лужанка – м.Гошів (0,60 м³/с·км²)
- р. Бистриця Солотвинська – с.Гута (0,72 м³/с·км²)

В цілому за територією *Українських Карпат* модулі абсолютних максимальних витрат (q_{\max})_{абс} також мають надзвичайно високі для України показники, які характерні для водозборів зі стрімкими схилами та високими інтенсивностями опадів. Максимальні значення (q_{\max})_{сер} досягають 3-5 м³/с·км² :

- до 4,79 м³/с·км² (р.Кам'янка – с.Дора),
- 3,57 м³/с·км² (р.Бистриця Солотвинська – с.Гута),
- 3,27 м³/с·км² (р.Лужанка –м. Гошів).

Порівняльний аналіз дати максимальних подій показав що 09.06.1969 спостерігався історичний паводок у всьому басейні Дністра, а 25.07.2008 – катастрофічні зливи в Карпатах та на Прикарпатті, що призвели до формування катастрофічного паводку в усьому регіоні. Абсолютні максимуми найчастіше припадають на роки з екстремальними регіональними паводками: 1957, 1969, 1980, 1998, 2008, 2020. Малі водозбори реагують різко (0,5–0,82 м³/с·км²), а великі – згладжують паводкові хвилі (0,1–0,3 м³/с·км²). Отже, Карпатський регіон загалом характеризується високою паводковою небезпекою та значною мінливістю стоку.

Задачею подальших досліджень є узагальнення розрахункових характеристик паводків за територією. Первісним етапом для вирішення поставленої задачі стало дослідження редукції абсолютних максимальних та середніх модулів стоку по площі водозборів. Отримані залежності представлені на рис.1 та 2, та свідчать про наявність оберненого зв'язку між досліджуваними величинами.

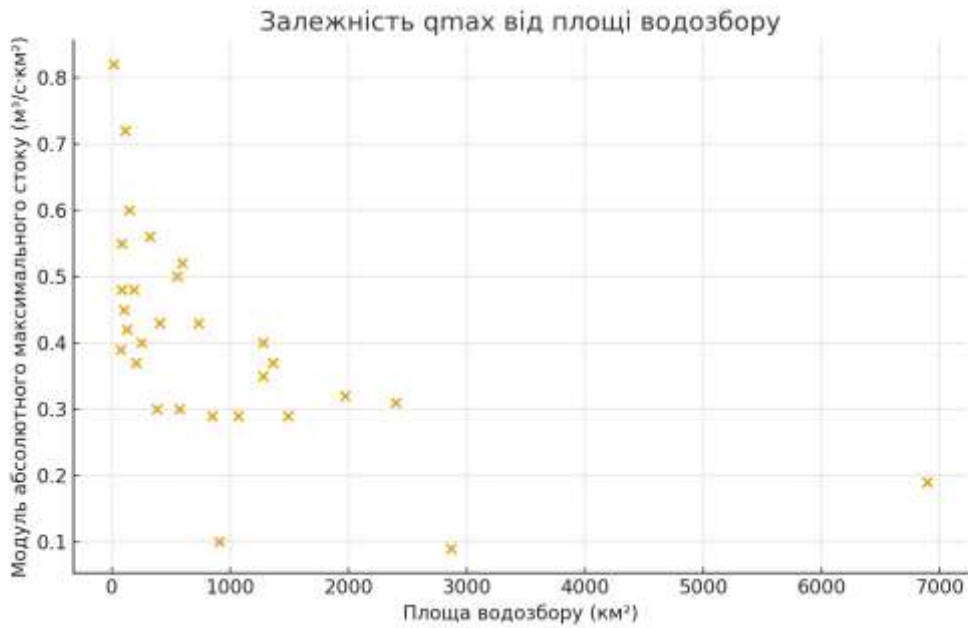


Рисунок 1 – Залежність модулів абсолютних максимальних витрат води від площі водозборів річок Українських Карпат.

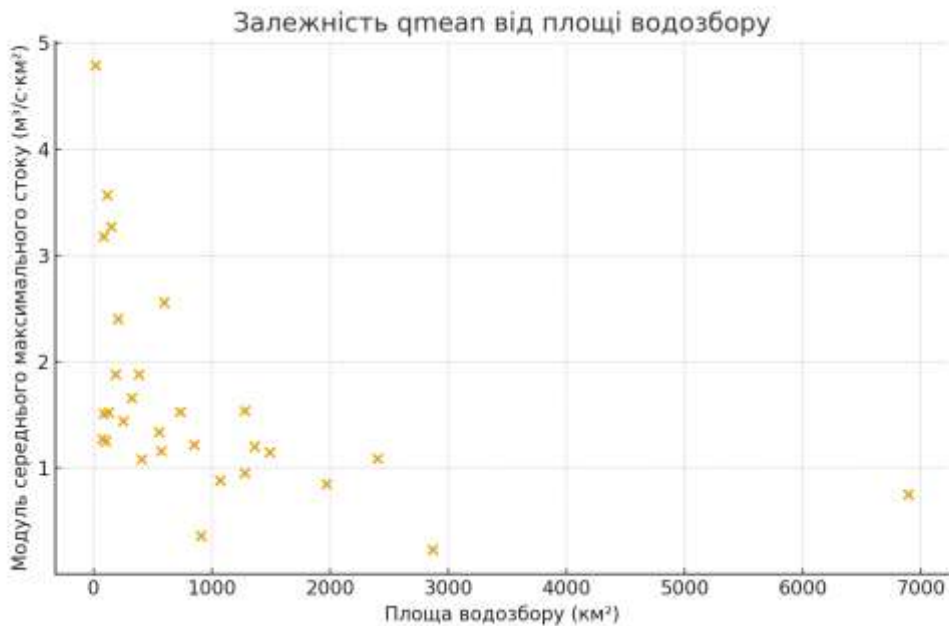


Рисунок 2 – Залежність модулів абсолютних середніх максимальних витрат води від площі водозборів річок Українських Карпат.

Перелік посилань

1. *Екстремальні гідрологічні явища: наводки і посухи на території гірських регіонів України* : монографія/ за ред. Є.Д.Гопченка; Одеськ. держ. екол-ний ун-т. Одеса: ТЕС, 2018. 324 с.

СУЧАСНІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ТАЛО-ДОЩОВОГО СТОКУ РІЧОК

Д. В. Сіваєв, аспірант

Ж. Р. Шакірзанова, д-р геогр. наук, професор

Кафедра гідрології суші

sivaevxxx1d@gmail.com

Актуальність. Сучасна гідрологічна наука переживає етап глибокої трансформації, спричиненої впливом кліматичних змін, зростанням екстремальності гідрометеорологічних умов та підвищенням вимог до точності прогнозів водного стоку. Підвищення температури повітря, зменшення частки снігового живлення, зміщення термінів танення снігу, збільшення кількості зимових відлиг і тало-дощових паводків – усе це суттєво ускладнює процеси формування стоку річок України та світу. У цих умовах математичне моделювання стає ключовим інструментом, що дозволяє науковцям і практикам здійснювати обґрунтовані прогнози водності, оцінювати ймовірність паводків і посух, визначати гідрологічні ризики та розробляти стратегії адаптації.

Математичні моделі, що застосовуються у гідрології, відрізняються за структурою, складністю, просторовою деталізацією та цільовим призначенням [1]. Одні моделі ґрунтуються на статистичних залежностях між гідрологічними та метеорологічними характеристиками, інші - описують фізичні процеси на основі рівнянь маси та енергії. Третя група моделей є інтегрованими комплексами, які охоплюють взаємодію поверхневих і підземних вод, аналіз землекористування, кліматичні сценарії та роботу гідротехнічних споруд. Кожна з моделей займає своє місце у системі гідрологічних прогнозів і використовується для різних масштабів і завдань.

Однією з моделей, яка традиційно застосовується в Україні для прогнозування характеристик весняного водопілля річок, є концептуальна модель «СЛОЙ-2», розроблена М.М. Сусідком та ін. [2]. Вона була створена для довгострокового прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля та ґрунтується на поділі водозбору на окремі територіальні елементи, що мають відмінні умови формування стоку [2]. Кожен елемент характеризується власними показниками снігозапасів, зволоження ґрунту, температурних умов і коефіцієнтів водовіддачі. Основна ідея моделі полягає у тому, що різні частини басейну по-різному реагують на надходження опадів та неодноразовість танення снігу, а їхня сукупна поведінка визначає інтегральний сезонний шар стоку.

Модель використовує температурні коефіцієнти танення снігу, запаси води у сніговому покриві, показники попереднього зволоження та промерзання ґрунтів, а також включає ряд емпіричних параметрів.

Простота структури моделі дозволяє здійснювати розрахунки у різних фізико-географічних умовах рівнинної України, що зробило «СЛОЙ-2» однією з базових моделей для гідрометеорологічних центрів у прогнозуванні весняних водопіль у басейнах Десни, Прип'яті та Дніпра. Попри свою обмежену можливість враховувати паводки змішаного походження та екстремальні тало-дошові процеси, модель і сьогодні є ефективною завдяки здатності забезпечувати надійні сезонні прогнози на 1-3 місяці вперед. Одним з важливих складових прогностичної системи є представлення прогностичних величин шарів стоку водопілля у картографічному вигляді. Прогнозування максимальних витрат води ведеться за прогнозованими шарами стоку при врахуванні морфометричних характеристик водозборів річок.

Суттєвий внесок у розвиток методів прогнозування максимального весняного стоку зроблено Одеською науковою школою теоретичної і прикладної гідрології. Комплекс моделей для різних регіонів України, розроблених під керівництвом Є.Д. Гопченка та Ж.Р. Шакірзанової [3], охоплює статистичні, статистико-динамічні та регресійні підходи до територіального довгострокового прогнозування максимальних витрат та шарів стоку весняного водопілля. Ці моделі використовують розширений набір метеорологічних показників - запаси води у сніговому покриві, температуру повітря, глибину промерзання та вологість ґрунтів. Особливого значення набувають регіональні поправочні коефіцієнти, запропоновані авторами [3], які дозволяють адаптувати середні багаторічні характеристики стоку до сучасних умов клімату

Ці коефіцієнти враховують тенденції останніх десятиліть, зокрема зниження весняного стоку та збільшення частоти тало-дошових паводків, що є наслідком тепліших зим. Завдяки цьому модель територіальних довгострокових прогнозів істотно покращує точність прогнозів максимального стоку весняного водопілля річок та забезпечує універсальність для різних регіонів України – від Полісся до Причорномор'я при картографічному представленні прогностичних величин максимального стоку річок. Крім прогностичних можливостей, ці моделі дозволяють проводити ймовірнісну оцінку гідрологічних ризиків і застосовуються під час гідротехнічного планування та експлуатації водогосподарських споруд при проходженні максимального річкового стоку у весняний, а в останній період й у зимовий сезони року.

Серед сучасних фізично обґрунтованих напіврозподілених моделей у глобальній гідрологічній практиці важливе місце займає модель SWIM (Soil and Water Integrated Model) [4]. Вона розроблена для моделювання процесів формування стоку, водного балансу ґрунтів, ерозійних процесів, транспорту поживних речовин та аналізу сценаріїв зміни клімату. Модель поєднує алгоритми гідрологічного моделювання з моделюванням росту рослинності, випаровування, інфільтрації та перколяції. На основі

цифрової моделі рельєфу SWIM поділяє річковий басейн на суббасейни, що дозволяє враховувати просторову неоднорідність кліматичних, ґрунтових та ландшафтних умов.

Перевага SWIM полягає у можливості застосовувати модель як для локальних басейнів площею 200-500 км², так і для великих річкових систем. Модель забезпечує добове моделювання стоку та широко використовується у дослідженнях впливу кліматичних змін на водний режим річок Європи, зокрема у роботах, присвячених аналізу змін паводкових величин і просторової узгодженості паводків [4]. Для України модель SWIM є перспективним інструментом для оцінки майбутньої водності басейнів Дніпра, Південного Бугу та Дністра.

Однією з найвідоміших і найпопулярніших моделей для гідрологічного моделювання водних екосистем є SWAT модель (Soil and Water Assessment Tool) [5]. Вона розроблена USDA та використовується у всьому світі для моделювання гідрографа водного стоку, оцінки ерозійних процесів, транспорту водорозчинних речовин та впливу землекористування. SWAT є детальною напіврозподіленою моделлю, яка поділяє басейн на суббасейни, а ті - на гідрологічні відповідні одиниці (HRU), що дозволяє враховувати різні типи ґрунтів, рослинності та рельєфу [5].

Модель SWAT має широкий спектр застосувань: від прогнозування паводкових піків до оцінки добових гідрографів стоку, моделювання маловодних періодів та оцінки заходів зі зменшення ризику ерозії. В Україні SWAT застосовується як науковими установами, так і екологічними організаціями, зокрема для моделювання стоку в басейнах Південного Бугу та Верхнього Дністра.

Для оперативного прогнозування паводків на великих територіях особливо цінною є Європейська система попередження про повені (EFAS), що працює у рамках Copernicus Emergency Management Service [6]. EFAS поєднує метеорологічні ансамблеві прогнози, супутникові дані та гідрологічні моделі, зокрема LISFLOOD, для створення ймовірнісних сценаріїв розвитку паводкової ситуації на горизонт 3-10 днів. Система дозволяє отримувати карти ризиків, повідомлення про можливі повені та дані для рятувальних служб [6]. Для України EFAS є важливим інструментом інтеграції у європейську систему управління паводковими ризиками, особливо у контексті директиви 2007/60/ЄС.

Окреме місце у світовій практиці займають моделі сімейства MIKE, розроблені Данським гідравлічним інститутом (DHI) [7]. Найбільш відома з них - MIKE 11, одномірна гідродинамічна модель, що використовує рівняння Сен-Венана для моделювання неусталених потоків у річкових руслах. MIKE дозволяє моделювати роботу водосховищ, шлюзів, ГЕС, урбанізованих ділянок річок і створювати прогнози паводків у реальному часі. Новіші моделі, такі як MIKE 21 та MIKE SHE, розширюють

можливості до двовимірного та тривимірного моделювання, що дозволяє відтворювати складні паводкові процеси на заплавах, враховувати підземний стік та взаємодію поверхневих та ґрунтових вод [7].

Висновки. Узагальнюючи, можна стверджувати, що сучасні математичні моделі є незамінним інструментом для прогнозування гідрологічних процесів в умовах змінного клімату. Концептуальні моделі, такі як «СЛОЙ-2» та регіональні моделі територіальних довгострокових прогнозів максимального стоку весняного водопілля річок, зберігають провідну роль у сезонних довгострокових прогнозах завдяки простоті та адаптованості до українських умов. Фізично обґрунтовані моделі SWIM, SWAT і MIKE забезпечують високу точність і гнучкість, дозволяючи моделювати як повені, так і маловодні періоди та складні просторові процеси у великих басейнах. Системи типу EFAS доповнюють їх, забезпечуючи оперативне прогнозування та раннє попередження.

Комплексне застосування різних моделей, у поєднанні з кліматичними сценаріями, супутниковими даними та ГІС-технологіями, є найбільш ефективним шляхом підвищення точності прогнозів та формування сучасної системи управління водними ресурсами України.

Перелік посилань

1. World Meteorological Organization (WMO). (2017). *WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals (WMO-No. 1203)*. Geneva: World Meteorological Organization. URL: <https://library.wmo.int/idurl/4/55797>
2. Сусідко М.М. Математичне моделювання процесів формування стоку як основа прогностичних систем. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Наук. Збірник Київського національного університету ім.Тараса Шевченка, том 1. 2000. С.32-40.
3. Zhannetta Shakirzanova, Anhelina Dokus. Territorial long-term forecasting of hydrological characteristics of spring floods of lowland rivers, Editor(s): Sughosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh, Ecological Significance of River Ecosystems, Elsevier, Chapter17. 2022, Pages 3250350. DOI: <https://doi.org/10.1016/B97800032308504502.0002000>
4. Krysanova, V., & Wechsung, F. (Eds.). (2016). *SWIM (Soil and Water Integrated Model): Model documentation and user manual*. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK). URL: <https://www.pik-potsdam.de/en/institute/departments/computational-hydrology/models/swim>
5. United States Department of Agriculture (USDA). (2022). *SWAT: Soil and Water Assessment Tool — Theoretical Documentation, Version 2022*. Agricultural Research Service (ARS). URL: https://swat.tamu.edu/media/1230/swat_theoretical_manual_2022.pdf
6. European Commission, Joint Research Centre (JRC). (2021). *EFAS Technical Report: The European Flood Awareness System – System Overview and Operational Setup*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/12511>
7. Danish Hydraulic Institute (DHI). (2023). *MIKE 11 User Manual*. Hørsholm: DHI Water & Environment. URL: <https://manuals.mikepoweredbydhi.help>

ВИЗНАЧЕННЯ СЕЗОННИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКУ В БАСЕЙНІ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ

Д. П. Скороход, аспірант
Ж. Р. Шакірзанова, д-р геогр. наук, професор
Кафедра гідрології суші
skorokhodd95@gmail.com

Водна доступність є базовою передумовою життя та економічної діяльності, тому коло потенційних користувачів **сезонного стоку річок** охоплює більшість ключових економічних секторів. У багатьох великих річкових басейнах дефіцит носить сезонний та багаторічний характер із вираженою мінливістю. З іншого боку екстремальні паводки, що все частіше виникають у умовах зміни клімату, призводять до матеріальних збитках при затопленні заплавної території, які використовуються у виробництві чи житті населення.

Водний режим річки Південний Буг, басейн якої розташований в трьох географічних зонах – лісової (широколистяних лісів), визначається кліматичними, гідрологічними, орографічними і гідрографічними особливостями території [1]. Досліджуваний басейн знаходиться в різних кліматичних і орографічних умовах, тому процеси формування стоку по території мають певні відмінності.

Літня і зимова межінь в басейні річки Південний Буг переважно характеризується стійкістю, маловодістю і значною тривалістю; осінні підйоми рівнів води спостерігаються після зливових дощів; часто межінь порушується невеликими дощовими паводками; весною на річках, за наявності снігового покриву взимку, спостерігається виражене весняне водопілля (рис. 1).

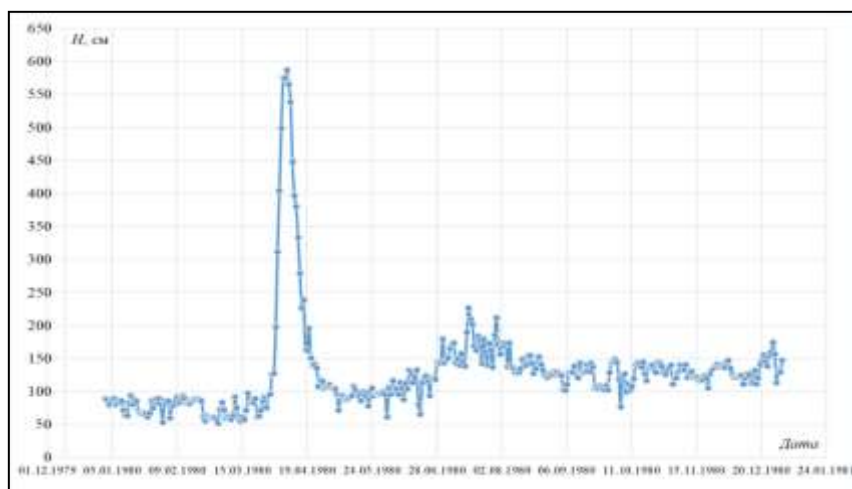


Рисунок 1 – Хід рівнів води в басейні р. Південний Буг – с. Тростяничик.

Теоретичною основою визначення сезонних характеристик стоку в басейні річки є рівняння водного балансу коли потрібно знати об'єм води, який надійшов до басейну (X), об'єм втрат дощової або тало-дощової води (P) і як результат - загальний об'єм води у замикаючому створі річки (Y) [1]

$$Y = X - P, \quad (1)$$

де $(X - P)$ може замінятися на величину q - загальний об'єм припливу води до руслової мережі.

Надходження води на поверхню ґрунту відбувається за рахунок випадіння опадів чи танення снігу за розрахункову одиницю часу. Точність визначення середнього шару рідких та твердих опадів визначається щільністю і рівномірністю розподілу пунктів їх виміру. В залежності від цього використовують різні методи для визначення середнього шару опадів.

Втрати дощових та талих вод визначаються головним чином втратами води на інфільтрацію та випаровування. Величина втрат на випаровування під час дощу чи танення снігу невелика, однак під час між паводками вона суттєво впливає на ступінь вологості ґрунтів. Найбільш важливою і складною для розрахунків є складова втрат води на інфільтрацію, яка залежить від початкової вологості (глибини промерзання) ґрунту та інтенсивності надходження талої або дощової води. Для визначення цієї складової в оперативній практиці використовують криві інфільтрації (якщо дані про опади є за кожні 1-3 години) або залежності втрат води від загальної вологості ґрунту, кількості опадів, їх тривалості та ін.

Стік води у річкових басейнах є складний процес, який потребує урахування стікання води по схилах, далі по ярах і руслах річок. Під час стікання по схилах частина води затримується у безстічних пониззях, особливо у басейнах з плоским рельєфом. Ця складова втрат води може бути оцінена по кривих розподілу поверхневих ємностей на басейні.

Тривалість стікання води по схилах і руслу залежить від характеру та довжини схилів і русла, їх ухилів, змінюється у широких межах (від декілька годин - для малих гірських басейнів до десятків діб - на великих рівнинних річках). Стік води, яка потрапила до водозбору за одиницю часу відбувається за деякий час, який є максимальним часом добігання припливу води в річкову мережу. Математичне описання цього процесу можна представити у вигляді кривої добігання по схилах та руслу.

В такому разі у розгорнутому вигляді рівняння водного балансу поверхні водозбору і річкової мережі стоку за час Δt (рік, сезон, місяць) є

$$\sum_{t_0}^{t_0+t} Q \Delta t = W_C + W_{ПОВ} - P_T + W_{t_0} + \sum_{t_0}^{t_0+t} Q_{ПДЗ} \Delta t + \sum_{t_0}^{t_0+t} Q_D \Delta t, \quad (2)$$

де $\sum_{t_0}^{t_0+t} Q \Delta t$ - об'єм стоку за час від дати t_0 до дати $t_0 + t$;

W_C - запаси води у сніговому покриві;

$W_{ПОВ}$ - запаси води на поверхні водозбору;

P_T - втрати талого стоку за час Δt ;

W_{t_0} - запаси води у русловій мережі в момент часу t_0 ;

$\sum_{t_0}^{t_0+t} Q_{ПДЗ} \Delta t$ - об'єм стоку підземних вод за час Δt ;

$\sum_{t_0}^{t_0+t} Q_D \Delta t$ - об'єм стоку дощових вод за час Δt .

Якщо розглядати рівняння водного балансу на початок сніготанення, а Δt буде визначатися тривалістю весняного водопілля, то

$$\sum_{t_0}^{t_0+t} Q \Delta t = W_C - P_T + \sum_{t_0}^{t_0+t} Q_{ПДЗ} \Delta t + \sum_{t_0}^{t_0+t} Q_D \Delta t. \quad (3)$$

У цьому випадку, коли танення снігу ще не почалося, $W_{ПОВ}=0$, а запаси води у русловій мережі W_{t_0} дуже малі, тобто ними можна знехтувати. Рівняння (3) є основою сезонного весняного стоку річок.

Якщо розглядати рівняння водного балансу на дату після сходу снігу $W_C=0$ і поверхневого стоку вже немає $W_{ПОВ}=0$, то

$$\sum_{t_0}^{t_0+t} Q \Delta t = W_{t_0} + \sum_{t_0}^{t_0+t} Q_{ПДЗ} \Delta t + \sum_{t_0}^{t_0+t} Q_D \Delta t. \quad (4)$$

Рівняння (4) є теоретичною сезонного меженого стоку річок.

У посушливий період, коли опадів практично немає, а підземна складова стоку мало змінюється за часом, стік води у замикаючому створі можна представити як функцію тільки запасів води у руслі W_{t_0} , яка вміщує в собі і підземний приплив у вигляді

$$\sum_{t_0}^{t_0+t} Q \Delta t = f(W_{t_0}). \quad (5)$$

Така залежність виражає формування стоку меженного періоду тільки за рахунок виснаження руслових запасів води в річках.

Враховуючи сезонність формування стоку річок в керівних документах Всесвітньої метеорологічної організації [2] поставлено питання сезонного гідрологічного прогнозування стоку річок.

Термін «Сезонне гідрологічне прогнозування» використовується в [2] для позначення методів і систем прогнозу майбутніх гідрологічних змінних річкового стоку та його статистичних характеристик. Сезонне гідрологічне прогнозування, як елемент короткострокових та довгострокових прогнозів, є прогнозами водності річок від кількох тижнів до місяця, сезону, залежно від розміру басейну, тривалості збереження початкових гідрологічних умов і часу відгуку водозбору на вхід та впливу інших факторів, а також строки метеорологічних прогнозів опадів.

Сезонні гідрологічні прогнози базуються на двох складових: початкових гідрологічних умовах на момент прогнозу та оцінках майбутньої кліматичної мінливості. До початкових вихідних даних включають снігові накопичення, попередній стік, запаси ґрунтової вологи, підземні води. Так, інформація про накопичення снігу та сезонність опадів суттєво підвищують передбачуваність річкового стоку на кілька місяців уперед. Кліматична мінливість визначається змінами опадів, температури та інших атмосферних параметрів, що прогнозуються за історичними даними, кліматичними моделями або індексами кліматичної та океанічної циркуляції. Внесок цих складових у передбачуваність гідрологічного явища неоднорідний у просторі та часі і залежить від фізико-географічних характеристик водозбору та часу та сезону складання самого прогнозу водності.

Таким чином, визначення сезонних характеристик стоку в басейні р.Південний Буг дозволить більш детально врахувати його при аналізі річного стоку та внутрішньорічному розподілі, при просторових і часових змінах стоку у водному балансі водозбору.

Перелік посилань

1. *Екстремальні гідрологічні явища на річках Півдня України: розрахунки і прогнози* : монографія / за ред. В.А. Овчарук та Ж.Р. Шакірзанової. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2024. 674 с. URL: <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/13144/>

2. Guidelines on Seasonal Hydrological Prediction WMO-No. 1274, 2021 edition, World Meteorological Organization, 2021. 77 p. URL: <https://library.wmo.int/idurl/4/57915>

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАВОДКІВ НА РІЧКАХ ЗАКАРПАТТЯ

А. В. Колеснік, аспірант
Ж. Р. Шакірзанова, д-р геогр. наук, професор
Кафедра гідрології суші
lovelybull2016@gmail.com

На річках Закарпаття характерним є формування паводків змішаного походження в холодний і теплий періоди року. Вони часто супроводжуються значними й тривалими затопленнями територій, іноді з катастрофічними наслідками. З метою попередження про небезпечні гідрологічні явища актуальною задачею є гідрологічне прогнозування максимальних рівнів та витрат води в періоди проходження паводків на річках.

Об'єктом дослідження є річка Тиса та її притоки, які характеризуються формуванням максимального стоку від танення снігу і випадіння дощових опадів у зимово-весняний період. У формуванні клімату території, яка розглядається велику роль відіграють Карпати, що займають південно-західну частину України, де створюється свій гірський клімат, що пов'язаний з випадінням сильних опадів. Слід зазначити, що сильні опади в басейні р.Тиса відзначаються великою тривалістю та інтенсивністю випадання. Такі дощі супроводжуються швидким формуванням катастрофічних річкових паводків, селів та повеней [1].

Метою даної роботи є аналіз методичних підходів та математичних моделей для прогнозування максимальних рівнів та витрат води паводків та обґрунтування методики короткострокового прогнозування паводкового стоку річок Закарпаття.

Результати досліджень. В Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України (УкрГМІ) розроблені й доведені до практичного використання математичні моделі дощового та сніго-дощового стоку гірських річок як структурні складові басейнових прогностичних систем (в басейні Тиси – система «Тиса», в басейні р.Латориця – підсистема «LATORICA», 2011) [2].

Такі прогностичні системи призначені для короткотермінового прогнозування перебігу стоку (витрат/рівнів води) під час дощових і сніго-дощових паводків та довготермінового прогнозування характеристик весняної повені.

Як методичні засади до складу цих систем підключені математичні підмоделі типу “опади-стік” і “сніготанення-стік” [2], що включають чотири складові різного генетичного походження при формуванні паводку, а саме поверхневий стік, підповерхневий стік, стік за рахунок виснаження

запасів води, що накопичилися в русловій мережі перед поточним паводком та ґрунтовий стік.

В цих концептуальних моделях з зосередженими параметрами враховуються фізичні уявлення щодо гідрологічних і метеорологічних процесів, які призводять до водоутворення та перебігу стоку води: поверхневе затримання дощової та талої води, випаровування, інфільтрація, перерозподіл стоку в підповерхневому шарі ґрунту. У моделі сніго-дощового стоку імітуються також процеси снігонакопичення, сніготанення, промерзання та відтавання ґрунту, зміни зволоженості водозбору.

Басейнові прогностичні системи у вигляді програмних прогностичних комплексів впроваджені в оперативну діяльність Закарпатського обласного центру з гідрометеорології для оперативного прогнозування паводкового стоку річок території.

Однією з потужних прогностичних систем в оперативній практиці європейських країн є моделюючий комплекс нового покоління MIKE 11 [3], який рекомендовано ВМО [4] для застосування всім національним гідрометеорологічним службам як найуспішніший моделювальний гідрологічний комплекс.

MIKE 11 це професійний інженерний програмний пакет для моделювання течії, якості води і перенесення частинок в естуаріях, річках, водосховищах, іригаційних системах, каналах та інших водних об'єктах [3]. Модель має модульну структуру, яка складається з наступних базових модулів: гідрологічного, гідродинамічного, адвекції-дисперсії та транспорту зв'язаних наносів, якості води, транспорту незв'язаних наносів. Кожен з цих модулів має додаткові більш детальні модулі.

Це інструмент динамічного одновимірного моделювання для детального аналізу, проектування, регулювання, управління і експлуатації простих і комплексних систем річок і каналів. Ядром моделюючої системи MIKE 11 є гідродинамічний модуль. Він включає в себе модуль прориву гребель і формує основу для інших модулів: прогноз паводків, модуль адвекції-дисперсії, модуль якості води і переносу незв'язаних наносів.

Для території України, зокрема гірських річок Закарпаття (річок Тиса, Ріка, Боржава), автором роботи [5] виконано адаптацію гідрологічної моделі NAM RR MIKE 11 до розрахункового та прогнозного моделювання як середньодобових, так і для максимальних витрат води. Від наявності і повноти вихідних даних до моделі (гідрометеорологічних характеристик та чинників антропогенної діяльності та їх впливу на річковий стік) залежить й якість калібрування модуля NAM. Ще одним кроком при адаптації моделі MIKE 11 автором [5] здійснено й прогнозне гідрологічне моделювання за даними мезомасштабної моделі короткострокового прогнозу погоди WRF NMM та одержано задовільні результати.

В основу розробки методики прогнозування максимальних рівнів води паводків авторами даної роботи покладено метод відповідних рівнів для р.Тиса з урахуванням даних автоматичних постів за різних умов формування і накладання паводкових хвиль вздовж річки та її приток [6].

Фізичною основою методу прогнозу витрат і рівнів води на ділянках річок є рівняння Сен – Венана, які відображають основні закономірності переміщення річкових хвиль в одновірному наближенні. Суть метода полягає у встановленні емпіричного зв'язку між відповідними рівнями (витратами) води, що спостерігались у верхньому і нижньому створах. Завчасність прогнозу рівна різниці строків настання таких рівнів (витрат) у вказаних створах.

Таким чином, для попередження про негативні наслідки при проходженні максимальних рівнів води паводків гірських річок Закарпаття, які викликаються випадінням сильних опадів або таненням снігу виконується як при використанні сучасних прогностичних математичних моделей, так й при використанні методу відповідних витрат чи рівнів води.

Перелік посилань

1. Шакірманова Ж.Р., Колеснік А.В. Формування паводкового режиму річок Закарпаття в сучасних кліматичних умовах. Кліматичні зміни та сільське господарство. *Виклики для аграрної науки та освіти* : збірник матеріалів VI Міжнародної наук.-практ. конф., 15 березня. Київ, 2023 р. С. 150-152. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/11481>
2. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. *Карпати – паводконебезпечний регіон України*. Комплексна басейнова система прогнозування паводків у Закарпатті: методична та технологічна база її складових. Київ, 2010. 93 с.
3. Mike 11. A Modelling System for Rivers and Channels. Reference Manual //MIKE by DHI Software 2007, 516 p.
4. Guide to Hydrological Practices. Volume II. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. Sixth edition. WMO-No. 168, 2009.
5. Горбачова Л.О. Адаптація гідрологічної моделі «опаді-стік» MIKE11 до гірських річок. *Наукові Праці УКРНДГМІ*, 2012, Вип. 263. С. 152-164.
6. Колеснік Андрій, Шакірманова Жаннетта. Сучасні прогностичні моделі максимальних рівнів води паводків гірських річок Закарпаття. *Матеріали науково-практичної конференції, присвяченій Всесвітньому метеорологічному дню «На варті кліматичних дій» та Всесвітньому дню водних ресурсів «Вода для миру» 22-23 березня 2024 року*, Київ, Україна. С. 44-46.



Підсекція
ЕКОЛОГІЯ



КУРС «СТАЛИЙ РОЗВИТОК ТА УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПІД ЧАС КРИЗИ» ЯК РЕЗУЛЬТАТ РЕАЛІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНОГО ПРОЄКТУ TRANSLEARN

***А. В. Чугай А.В., д-р техн. наук, професор,
А. В. Колісник, канд. геогр. наук, доцент,
О. І. Чернякова, старший викладач
Кафедра екології та охорони довкілля
env_prot@onu.edu.ua***

З вересня 2023 р. кафедрою екології та охорони довкілля реалізовувався проєкт за програмою Erasmus+ «Transformational Learning Network for Resilience – Enabling Ukrainian higher education to ensure a sustainable and robust reconstruction of (post-war) Ukraine» (TransLearnN, NA DAAD Project Number: 2023-1-DE01-KA220-HEED-000157119). Головним координатором проєкту є Університет сталого розвитку м. Еберсвальде (Німеччина). На даний час проєкт знаходиться на стадії завершення.

Одним з робочих пакетів проєкту було розробка трьох освітніх курсів для студентів українських ЗВО з подальшим їх впровадженням у навчальні плани українських університетів і, якщо буде зацікавленість, у програми європейських партнерів проєкту (Німеччина, Польща, Литва, Чехія). До складу українських університетів-партнерів входило 7 ЗВО України:

- Національний транспортний університет (м. Київ);
- Харківський національний автомобільно-дорожній університет;
- Державний університет «Житомирська політехніка»;
- Національний лісотехнічний університет України (м. Львів);
- Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;
- Національний університет кораблебудування імені адм. Макарова (м. Миколаїв);
- Приазовський державний технічний університет (м. Маріуполь).

Згідно з планом реалізації проєкту було розроблено три освітні курси, які були апробовані відповідно на трьох весняно-літніх школах: «Стратегічний адаптивний менеджмент для сталого відновлення та реконструкції», «Сталий розвиток та управління ризиками під час кризи», «Сталі бізнес-моделі». Фактично кожен з українських університетів-партнерів розробляв в межах кожного курсу одну тему. Розробка теми включала підготовку лекційного матеріалу, завдання для виконання практичної роботи, презентаційного матеріалу, формування тестових питань, переліку використаних літературних джерел двома мовами – українською і англійською.

Всі розроблені матеріали розміщувались на платформі Moodle Університету сталого розвитку м. Еберсвальде (<https://ukrdigital.hnee.de/>). Це дозволило здобувачам освіти з різних ЗВО України пройти он-лайн

навчання по окремим курсам, і у разі успішного проходження отримати відповідний сертифікат. Фактично такий підхід суттєво розширив можливості опанування курсів, оскільки під час апробації на весняно-літніх школах від кожного ЗВО України були присутні лише по 2 здобувачі освіти.

Від ОНУ імені І.І. Мечникова курси розроблялись сумісно викладачами кафедри екології та охорони довкілля та кафедри економіки та підприємницької діяльності.

Нами розроблено тему в межах курсу «Сталий розвиток та управління ризиками під час кризи» (рис. 1). В цілому курс включає такі основні складові:

1. Вступ. Визначення поняття "ризика". Класифікація ризиків. Управління ризиками сталого розвитку в умовах невизначеності.
2. Управління екологічними ризиками.
3. Екологічні ризики від техногенної діяльності.
4. Енергетичні параметри ризиків.
5. Застосування ризик-орієнтованого підходу для побудови моделей виникнення та розвитку надзвичайних ситуацій.
6. Адаптація до зміни клімату в умовах кризових ситуацій.
7. Відновлення та розвиток людського потенціалу України в умовах кризи [1].

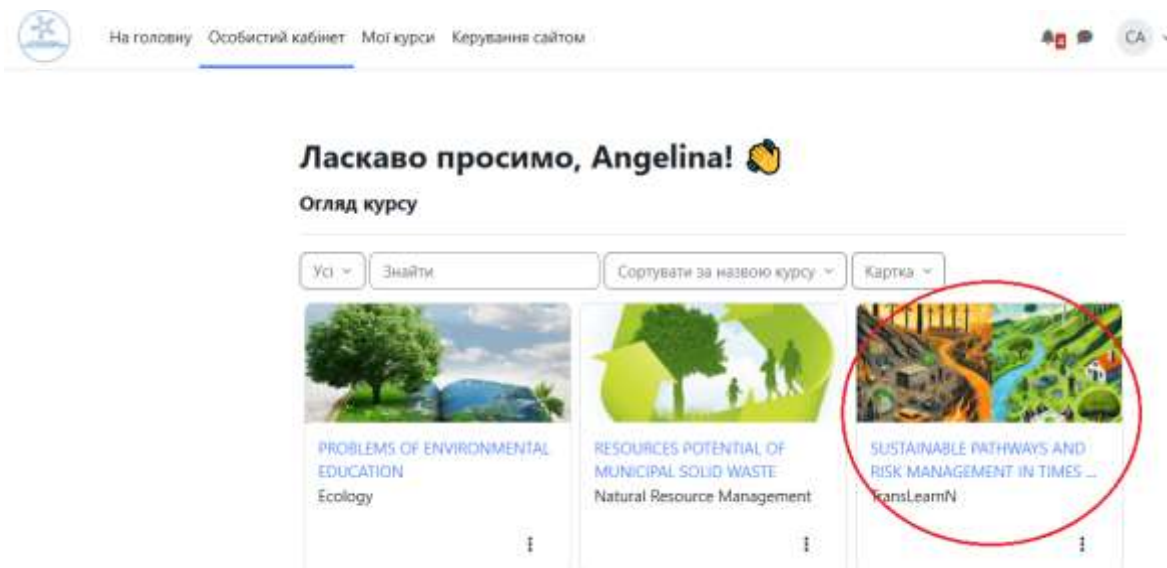


Рисунок 1 – Курс на платформі Moodle Університету сталого розвитку м. Еберсвальде

Викладачами кафедри екології та охорони довкілля в межах цього курсу розроблялася тема «Екологічні ризики від техногенної діяльності». Лекційний матеріал включав основні ключові питання визначення екологічного ризику внаслідок техногенного впливу, а саме:

- визначення поняття «екологічний ризик»;
- огляд діяльності міжнародних організацій щодо аналізу і оцінки ризиків;
- визначення терміну «оцінка ризику»;
- аналіз законодавчої та нормативної бази України з питань оцінки екологічних ризиків;
- методичні підходи до оцінки екологічних ризиків забруднення складових довкілля, а також погіршення здоров'я населення внаслідок забруднення навколишнього середовища.

Практична частина включала розгляд та застосування методики оцінки неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення повітря.

Лекційний матеріал викладався широкій аудиторії в режимі он-лайн, практична складова розглядалася в оф-лайн режимі.

В цілому даний курс був успішно апробований під час весняної школи, яка проходила у м. Ліберець (Чехія) на базі Технічного університету м. Ліберець у квітні 2025 р. Крім того, на платформі Moodle його опанували 68 здобувачів освіти. Це свідчить про зацікавленість з боку здобувачів освіти у вивченні питань, пов'язаних з механізмами управління ризиками, оцінкою екологічних ризиків, пошуку механізмів відновлення довкілля з метою забезпечення сталого розвитку країни. І враховуючи подальшу необхідність відновлення нашої країни у повоєнний період, даний курс є досить актуальним при підготовці фахівців зі спеціальностей «Екологія» і «Технології захисту навколишнього середовища».

Як зазначалось вище, за умовами проєкту всі розроблені курси мають бути впроваджені в навчальний процес всіх українських ЗВО, які приймали участь у даному проєкті. За результатами перегляду та оновлення освітніх програм у 2025 р. два курси – «Стратегічний адаптивний менеджмент для сталого відновлення та реконструкції» і «Сталі бізнес-моделі» – включені до переліку вибіркових освітніх компонентів підготовки магістрів зі спеціальності Е2 Екологія за ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища».

Курс «Сталий розвиток та управління ризиками під час кризи» введено як обов'язковий освітній компонент в межах цієї ж ОПП. У попередні роки при підготовці магістрів за ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища» викладалася обов'язкова дисципліна «Стратегія сталого розвитку». Тому розроблений в межах проєкту курс буде оновлений з урахуванням досвіду викладання у попередні роки і результатів реалізації проєкту TransLearnN.

Перелік посилань

1. Sustainable Pathways and Risk Management in Times of Crises. URL: <https://ukrdigital.hnee.de/course/view.php?id=35> (дата звернення: 22.11.2025).

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ ПЛАСТИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ТЕРИТОРІЇ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Т. А. Сафранов, д-р геол.-мінер. наук, професор

Т. І. Полушкін, аспірант

Кафедра екології та охорони довкілля

safranov@ukr.net

Зростаючі обсяги твердих побутових відходів (ТПВ) є однією із складових прогресуючого антропогенного навантаження, що створює загрозу екологічній безпеці та здоров'ю населення регіонів України. Обсяги утворення та накопичення ТПВ продовжують зростати, незважаючи на скорочення населення країни протягом останніх 20 років. Основним способом поводження з ТПВ залишається їх вивезення та розміщення на полігонах і чисельних сміттєзвалищах, що негативно впливає на природні компоненти довкілля, зокрема на геологічне середовище, ґрунтовий покрив, поверхневі водні об'єкти, повітряний басейн та біоту. З іншого боку, ТПВ мають значний потенціал як джерело вторинних матеріальних і енергетичних ресурсів. Проблема утилізації ресурсоцінних компонентів ТПВ в Україні стає все більш актуальною, оскільки обсяги ТПВ постійно зростають, а рівень їх утилізації залишається на низькому рівні. Тому розробка та впровадження ефективної системи управління та поводження з ресурсоцінними компонентами ТПВ є ключовою основою для забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку регіонів України. На прикладі Одеської області це показано в наших роботах [1, 2].

Структура ТПВ є ключовим чинником для розвитку системи управління та поводження з ними, оскільки саме їх морфологічний склад визначає вимоги до їх збирання та утилізації. Значення цього показника суттєво зростає при виборі моделей переробки ТПВ. Однак в Україні до цього часу не проводилися систематичні дослідження складу ТПВ. Єдиними джерелами статистичних даних є окремі дослідження, проведені операторами ТПВ та відповідними асоціаціями в різний час та в різних регіонах. Результати таких досліджень значно відрізняються. Наприклад, згідно з Шостим національним повідомленням України з питань зміни клімату, до складу ТПВ входять 9-13% відходів пластикових матеріалів ВПМ [3], тоді як інші дані [4] свідчать про вміст ВПМ у межах 8,7-16,6% (середнє значення – 12,9%) по п'яти містах України.

За даними [5, 6] в регіонах України основними компонентами ВПМ є поліетилен (PE), поліетилентерефталат (PETE), полівінілхлорид (V), поліпропілен (PP) та полістирол (PS), а рівень переробки ВПМ складає 35%. На сьогодні в Україні діє приблизно 100 підприємств, що займаються

утилізацією ВПМ. Частина з них – це підприємства з тривалим досвідом роботи, які паралельно використовують вторинну сировину, інші – новостворені компанії, спеціалізовані винятково на її переробці.

Територія Одеської області, яка характеризується високим рівнем антропогенного навантаження, характеризується накопиченням значних обсягів різноманітних ВПМ, джерелами генерації яких є житлово-комунальне господарство, промислові та сільськогосподарські підприємства, будівельні об'єкти, а також ВПМ пакування [7].

Щороку на території Одеської області лише у складі потоку ТПВ накопичується 83291,93 т ВПМ, у т.ч. 28211,27 т відходи поліетилентерефталату (тара для напоїв), поліетилен низької щільності (плівка, пакети), 24911,87 т інші види ВПМ [8]. Основна частка утворення ТПВ, а відповідно і ВПМ в їх складі припадає на територію Одеської промислово-міської агломерації та прилеглі райони, де зосереджена основна частка населення, а також існують можливості для створення ефективної системи управління та поводження з ТПВ, зокрема з ВПМ [8].

З урахування ліквідності більшої частини ВПМ, щороку з загального потоку ТПВ Одеської області можна отримати вторинну сировину на суму приблизно 0,8 млн. грн., але для цього необхідно створити ефективну систему відокремлення їх від загального потоку ТПВ [2, 7].

Одним з домінуючих серед різноманітних ВПМ є відходи поліетилентерефталату (ПЕТФ), які займають друге місце після відходів поліетиленових відходів. Властивості ПЕТФ зумовлюють його істотну роль як у складі пластикових матеріалів, так і їх відходах. У структурі ВПМ на них припадає 20,4-25% від їх загальної кількості. Незважаючи на ресурсну цінність відходів ПЕТФ, вони потрапляють на численні звалища і полігони ТПВ. Для удосконалення поводження з ПЕТФ, пропонується: 1) розташувати спеціальні ПЕТФ-контейнери біля супермаркетів, установ освіти, ТРЦ тощо; 2) працювати з об'єднаннями співвласників багатоквартирних будинків і створити локальні пункти збору ВПМ, зокрема відходами ПЕТФ, у дворах; 3) оголошувати дані щодо збору ВПМ, у т.ч. ПЕТФ, щоб мешканці цих будинків могли бачити результати своїх зусиль та розуміти користь від сортування і роздільного збору. Реальним поштовхом для підняття рівня сортування і роздільного збору ВПМ, зокрема ПЕТФ-пляшок, має бути впровадження в регіонах України по зразку в країнах ЄС, депозитарної системи збору ПЕТФ-пляшок, як частини відповідальності виробника тари [9, 10].

Іншим домінуючим компонентом ВПМ є поліетилен. Джерелами поліетиленових відходів:

- 1) упаковка (поліетиленові пакети, пляшки, та плівка для промислових і побутових товарів);
- 2) будівельні матеріали – (труби для водопостачання та водовідведення тощо);

3) промислові відходи (обрізки плівок, виробничі браковані матеріали та інші поліетиленові відходи);

4) побутові предмети (іграшки, меблі та інші вироби із поліетилену).

Конкретні цифри щодо обсягу відходів поліетилену в Україні відсутні, але відомо, що в країні діють близько 100 підприємств, які займаються переробкою різних видів ВПМ, включаючи поліетиленові відходи. Обсяг відходів та рівень їх переробки залежать від багатьох факторів, таких як обсяг споживання та ефективності системи управління відходами в цілому. Головний мінус цього полімерного матеріалу в тому, що розкладання поліетилену триває до 1000 років. Поліетиленові відходи з легкістю розносяться зі звалищ вітром, потрапляє у поверхневі водні об'єкти. Вони можуть засмічувати водостічні каналізації, викликати загальне забруднення урбанізованих та незаселених територій. Результати досліджень показали, що майже чверть поверхні світового океану займає поліетиленові відходи. Крім того, на його виробництво витрачається понад 4% усієї нафти, що видобувається у світі. Тому відходи поліетилену у потоці ТПВ потребують ефективних методів утилізації.

На підставі проведених нами досліджень можна зробити такі основні висновки:

1) система поводження з ТПВ в Одеській області та інших регіонах України повинна ґрунтуватися на принципах циркулярної економіки та Директиві ЄС 2008/98 «Про відходи», що задекларована у «Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року»;

2) щороку з загального потоку ТПВ можна отримати вторинну сировину на суму майже 0,8 млн. грн.; при цьому не урахувалися ВПМ, джерелами яких є промислові, аграрні та будівельні підприємства Одеської області;

3) відокремлення і наступна утилізація основних ресурсоцінних компонентів ТПВ, зокрема відходів поліетилентерефталату і поліетилену, з загального потоку ТПВ Одеської області сприятиме зменшенню техногенного навантаження на природні складові довкілля і поліпшенню екологічної ситуації;

4) у разі удосконалення існуючої системи збирання та переробки ресурсоцінних компонентів ВМП, що утворюються на території Одеської області, істотна їх частка може бути перероблена на існуючих підприємствах Одеської промислово-міської агломерації;

5) можливості ефективного використання ресурсоцінних складових ВПМ обмежується низкою причин, у разі усунення яких можна удосконалити існуючу систему управління та поводження з ними, що дозволить зменшити рівень техногенного навантаження на природні складові довкілля і отримати соціально-економічну вигоду;

6) у разі удосконалення існуючої системи збирання та переробки відходів пластикових матеріалів, що утворюються на території Одеської

області, істотна їх частка може бути перероблена на існуючих підприємствах Одеської промислово-міської агломерації.

Перелік посилань

1. Сафранов Т.А., Приходько В.Ю., Яновський Д.Ю. Ресурсоцінний потенціал потоку твердих побутових відходів Одеської області. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. №32. С. 144 – 155.
2. Приходько В.Ю., Сафранов Т.А. *Ресурсоцінна складова твердих побутових відходів окремих регіонів України*: монографія. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2024. 101 с.
3. Шосте національне повідомлення України з питань зміни клімату. URL: <https://uabio.org/wpcontent/uploads/2020/01/position-paper-uabio-22-ua.pdf> (дата звернення 08.11.2025) .
4. Семко П.П. Реалії співробітництва бізнесу та органів місцевого самоврядування в галузі поводження з твердими побутовими відходами в Україні та напрями покращення ситуації. URL: <http://greenchamber.org.ua/files/files/2019/TBO/BUSINESS%20REALITIES.pdf>(дата звернення 08.11.2025).
5. Лаптева Ю. Ринок вторинного поліетилену в Україні. Презентації доповідей Waste Management – 2019. URL: <https://drive.google.com/file/d/1zE7Y9FwTJHqnsr142cDWpco3awMjab/view?usp=sharing> (дата звернення 08.11.2025).
6. Мартиненко А. Ієрархія поводження з відходами. Презентація доповідей Waste Management – 2019. URL: https://drive.google.com/file/d/1yfHOetdNuj9a62SkQi1dvOn_4qH2VEnx/view?usp=sharin(дата звернення 08.11.2025).
7. Сафранов Т.А., Данкевич В.І., Полушкін Т.І. Особливості управління та поводження з відходами пластикових матеріалів на території Одеської області. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування»*. 2024. Вип.2. С. 75 – 82.
8. Регіональний план управління з відходами в Одеській області до 2030 року. URL: <https://ecology.od.gov.ua/regionalnyj-plan-upravlinnya-vidhodamy-v-odeskij-oblasti-do-2030-roku/>(дата звернення 08.11.2025).
9. Полушкін Т.І., Сафранов Т.А. Можливості використання окремих видів відходів пластикових матеріалів у регіонах України. *Екологічні науки*. 2025. № 3(60). С. 173 – 177.
10. Полушкін Т.І., Сафранов Т.А. Поводження з відходами поліетилентерефталату в регіонах України. *Тези Міжнародна науково-практична конференція «Трансформаційні підходи до сталого розвитку: екологічна освіта, наука та природоохоронні практики для відбудови України»*. Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2025. С. 94 – 96.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ТА ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ УТВОРЕННЯ І ЗАХОРОНЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

В. Ю. Приходько, канд. геогр. наук, доцент
Т. А. Сафранов, д-р. геол.-мінер.наук, професор
Кафедра екології та охорони довкілля
yks26@ua.fm

Екологічні наслідки зростання темпів накопичення побутових відходів (ПВ) в довкіллі вимагають оцінки поточної ситуації із утворенням та захороненням відходів. На сьогодні основним способом поводження з ПВ в Україні є захоронення: 89,9% зібраних ПВ були захоронені на 5,6 тис. полігонах і сміттєзвалищах загальною площею понад 8,4 тис. га [1]. Очікується, що такий спосіб поводження з ПВ буде основним на тривалу перспективу, тому дослідження регіональних особливостей утворення та захоронення ПВ є актуальною науковою задачею.

Генерація ПВ залежить від багатьох факторів, але насамперед це кількість населення та рівень соціально-економічного розвитку країни. В статті [2] нами визначена стійка кореляція між величиною валового внутрішнього продукту та утворенням (захороненням) відходів в Україні. У 2021 р. в Україні збиралося 1,244 м³/люд або 254 кг/люд, але утворювалося відходів щонайменше на 20% більше. З початком повномасштабного вторгнення РФ в Україну в 2022 р., об'єм зібраних відходів впав на 13,7%, а маса – на 10,7%, причому найбільш інтенсивно цей процес відбувся у східних областях. Проте в наступні роки відбувається збільшення утворення відходів від рівня 2022 р.: на 13,4% у 2023 р. та на 21,4% у 2024 р. Проте це на 7,5% нижче за рівень 2021 р.

Дослідження динаміки маси та об'єму зібраних відходів за період 2011-2021 рр. показало, що маса збільшилася на 9,8%, а об'єм – на 5,6%. За періоди до/після 2018 р., норми надання послуг з вивезення ТПВ по обласних центрах України зросли на 12%. Також визначено, що з часом ПВ стали щільнішими – так, за період 2018-2021 рр., обсяги зменшилися на 4,38%, проте маса збільшилася на 3,52%.

Показники утворення відходів є основою для визначення відповідних індикаторів, зокрема, питомого збирання відходів (м³/люд., кг/люд. за рік). Так, у 2021 р. питоме збирання ТПВ склало 1,244 м³/люд або 254 кг/люд (0,696 кг/люд за добу). Рівень охоплення населення послугами з централізованого збирання відходів становить 80%, тому утворення відходів є вищим щонайменше на 20%.

Кількісні показники захоронення ПВ – обсяг, маса заборонених та накопчених відходів, кількість та площа звалищ, класифікація тощо – є вихідними даними для розрахунку відповідних індикаторів, що

дозволяють охарактеризувати ситуацію із захороненням відходів та провести міжрегіональні порівняння. Нами розроблена система індикаторів техногенного навантаження, що створюється місцями захоронення ПВ [3]. Виділено чотири групи індикаторів: інтегральні, точкові, часові та специфічні. До інтегральних індикаторів, що описують позицію місць захоронення до території регіону, відносяться: модуль техногенного навантаження від місць захоронення відходів; відносна площа полігонів; щільність місць захоронення ПВ. До точкових індикаторів відносимо такі показники: питоме захоронення на полігонах ПВ – (м^3 , т на 1 га території полігону); середня площа одного полігону. Часові індикатори: інтенсивність накопичення відходів в місцях захоронення ТПВ, в т.ч. відносно національного рівня та динаміка зміни середньої площі одного полігону. До специфічних показників відноситься питоме захоронення ТПВ на несанкціонованих звалищах та коефіцієнт впливу несанкціонованих звалищ відносно полігонів ТПВ. Розглянемо більш детально окремі індикатори.

Модуль техногенного навантаження від місць захоронення ТПВ – загальна маса захоронених відходів станом на певний рік на 1 км^2 площі. *Відносна площа полігонів* – це відсоток площі регіону, зайнятий полігонами. Близьким до модулю техногенного навантаження є питомий *обсяг накопичених відходів* на 1 км^2 площі регіону. *Щільність місць захоронення* – це кількість полігонів на 1 км^2 площі регіону [3].

В табл. 1 наведені результати розрахунку інтегральних індикаторів за 2021 та 2024 рр.

Таблиця 1 – Інтегральні індикатори техногенного навантаження від місць захоронення відходів

| Рік | Модуль техногенного навантаження, т/ км^2 | Відносна площа полігонів, % | Щільність місць захоронення, шт./ км^2 |
|------|--|-----------------------------|---|
| 2021 | 451,78 | 0,0158 | 0,011 |
| 2024 | 495,05 | 0,0170 | 0,011 |

Отже, в Україні в середньому на 1 км^2 площі припадає 450-500 т захоронення ПВ. Самі офіційні місця захоронення відходів займають не більше 0,02% площі території. Принаймні один полігон припадає на кожні 100 км^2 . Динаміка зміни модулю техногенного навантаження свідчить про загальну тенденцію до накопичення відходів у місцях їх видалення.

На рис. 1 представлені результати визначення індикаторів техногенного навантаження від місць захоронення ПВ на основі вихідних даних за 2024 р. [1]. Зауважимо, що складна ситуація з відходами склалася

у Сумській, Харківській, Донецькій та Київській областях. Також необхідний аналіз вихідних даних (Рівненська область).

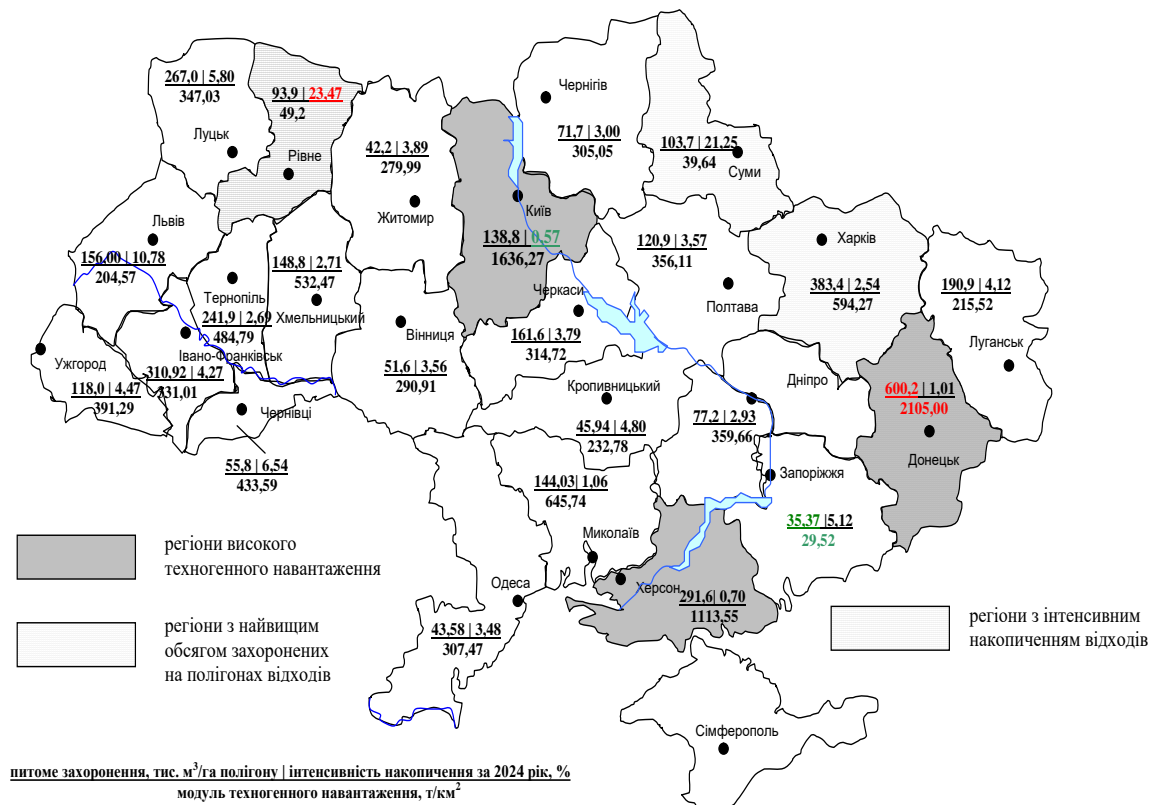


Рисунок 1 – Індикатори заховання ПВ в регіонах України, станом на за 2024 р.

Отже, за допомогою розробленої системи індикаторів можна дослідити, порівняти і охарактеризувати ситуацію із утворенням і захованням ПВ в регіонах України.

Перелік посилань

1. Звіт про стан сфери управління побутовими відходами в Україні за 2023 рік. URL: <https://mtu.gov.ua/content/upravlinnya-pobutovimi-vidhodami.html/>
2. Приходько В.Ю., Сафранов Т.А. Дослідження просторово-часових особливостей утворення твердих побутових відходів в регіонах України. *Екологічна безпека та природокористування*. 2025. № 1(53). С.69–81.
3. Приходько В., Сафранов Т. Оцінка техногенного навантаження від місць заховання твердих побутових відходів з використанням просторово-часових індикаторів. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2025. № 62. С. 452–461.

ДЕГРАДАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ ЯК ЕКОЛОГІЧНИЙ ЧИННИК ДЕСТАБІЛІЗАЦІЇ ПРОДОВОЛЬЧИХ СИСТЕМ

А. О. Ільїна, PhD з наук про Землю, старший викладач
Кафедра екології та охорони довкілля
ilina_ann@ukr.net

Деградація земель є одним із ключових екологічних викликів ХХІ століття, що безпосередньо впливає на стійкість глобальних і національних продовольчих систем. Порушення ґрунтового покриву, виснаження родючості, ерозійні процеси та опустелювання призводять до зниження продуктивності агроландшафтів, скорочення доступних ресурсів для сільського господарства та загострення соціально-економічних ризиків для населення. У контексті кліматичних змін, інтенсивного сільського господарства та технологічного навантаження на природні території проблема деградації земель, що у свою чергу призводить до дестабілізації продовольчих систем, набуває системного характеру. Тому, визначення шляхів зниження ризиків і підвищення стійкості аграрного сектору є важливою науковою та практичною задачею.

Деградація земель – процес погіршення природних властивостей ґрунту та ландшафтів у результаті природних або антропогенних факторів. Вона включає водну та вітрову ерозію, ущільнення ґрунтів, засолення, закислення, забруднення важкими металами і пестицидами, порушення втрата гумусу, зниження потенційної продуктивності ґрунту тощо. Через інтенсифікацію сільського господарства дедалі більше фактів вказує на те, що ступінь та серйозність деградації земель зростають – ґрунти піддаються ерозії, запаси поживних речовин виснажуються, засолення збільшується) [1].

Інтенсифікація сільського господарства, надмірне використання орних земель, недотримання сівозмін, широке застосування агрохімікатів та механізація призводять до прискорених деградаційних процесів. Аналіз просторового розподілу антропогенної деградації земель свідчить про її глобальний характер та значну інтенсивність у різних кліматичних зонах (табл.1) [2].

Таблиця 1 – Масштаби антропогенної деградації земель, 2015 рік, млн га

| Деградація | Загальне | Посушливі ґрунти | Зони з гумідним кліматом |
|------------|----------|------------------|--------------------------|
| Всього | 1660 | 733 | 927 |
| Сильна | 850 | 418 | 432 |
| Незначна | 810 | 315 | 495 |

Як видно з табл. 1, загальна площа деградованих територій у світі становить 1660 млн га, з яких майже порівну припадає на засушливі (733 млн га) та гумідні регіони (927 млн га). Висока частка сильно деградованих земель (850 млн га, або понад 50 % від загального обсягу) вказує на глибокі порушення екосистемних функцій ґрунтів і потребу у пріоритетних відновлювальних заходах. Водночас значні площі із незначною деградацією (810 млн га) демонструють потенціал для превентивного управління, спрямованого на недопущення подальшої втрати продуктивності.

За даними міжнародних організацій, понад 25% світових земель перебувають у стані тієї чи іншої форми деградації. В Україні цей показник у деяких регіонах сягає 40–60%, насамперед через інтенсивну оранку та порушення режимів землекористування.

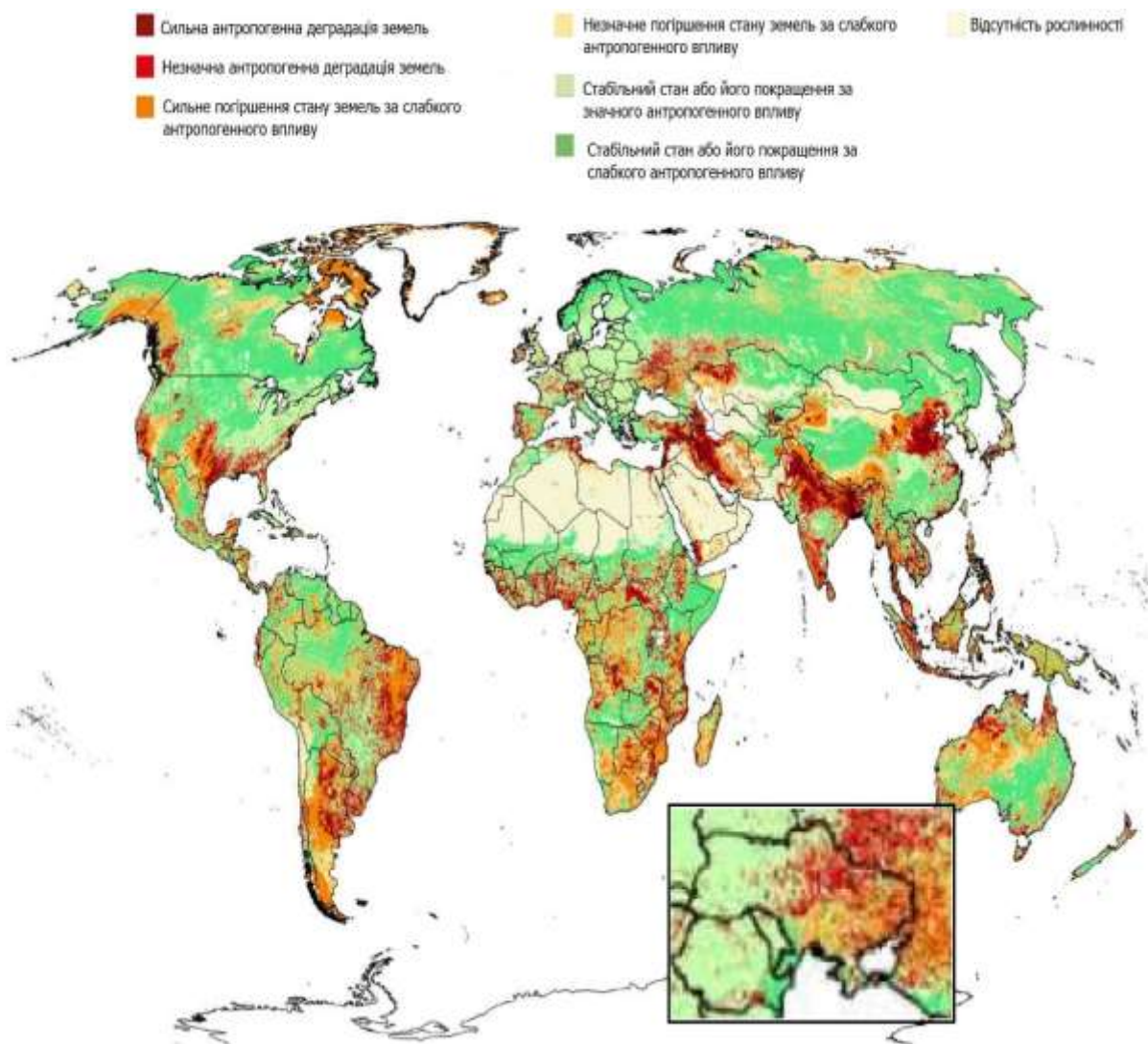


Рисунок 1 – Категорії деградації земель в залежності від ступеня антропогенного впливу, 2015 рік [2]

Як видно з рис. 1, ґрунти з сильною антропогенною деградацією зосереджені у густонаселених аграрних регіонах Азії, Східної та Південної Африки, Південної Америки та частини Північної Америки. Це пов'язано з веденням інтенсивного сільськогосподарського господарства, надмірного випасу, нераціонального зрошення та швидкої урбанізації у цих регіонах. Водночас можна сказати, що у світі залишаються значні площі земель зі стабільним або поліпшеним станом, зокрема в Північній Європі, Канаді, частині Південної Америки та Австралії. Це вказує на ефективні практики землекористування, зниження ерозійних процесів і підвищення екосистемної стійкості завдяки адаптивним природоохоронним заходам.

Значна частина території України належить до степової та лісостепової природних зон, які вразливі до деградаційних процесів. На рис. 1 видно, що на території України спостерігається різний стан ґрунтів – від стабільного стану до територій з вираженою антропогенною деградацією. Сильна антропогенна деградація спостерігається переважно у Степовій зоні (Південь і Південний Схід України), а саме це території Одеської, Миколаївської, Херсонської, Запорізької областей, а також частини Дніпропетровської та Донецької областей. Основні причини деградації ґрунтів на цій території є вітрова та водна ерозія, деградація чорноземів через інтенсивне землеробство, засолення та вторинне осушення у зрошуваних районах, переущільнення ґрунтів тощо. Зона з сильним погіршенням при слабкому антропогенному тиску охоплює частину Причорномор'я, деякі райони південного Правобережжя, що зумовлено погіршення водного балансу, посухи, зміна зволоження у поєднанні зі слабким або середнім рівнем антропогенного навантаження. Закарпаття та частина Полісся характеризуються незначним погіршенням стану ґрунтів – слабка деградація при мінімальному антропогенному впливі. Стабільний або покращений стан земель спостерігається у Поліссі та у гірських районах Карпат. Ці зони характеризуються відносно помірним землекористуванням, високою природною стійкістю екосистем та сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами.

Високі темпи деградації у поєднанні з масштабами залучення земель до аграрного виробництва створюють загрозу продовольчій безпеці всіх країн. Швидкозростаюче населення світу створює безпрецедентний попит на сільське господарство. У табл. 2 наведено інформацію про зростання населення по континентах у найближчі десятиліття на основі середнього варіанту прогнозу Організації Об'єднаних Націй. З таблиці видно, що зростання населення відбувається набагато швидше в бідніших країнах, що розвиваються, де не тільки голод, бідність та недоїдання є ендемічними, але й тиск на землю та деградація ґрунтів є максимальними [3]. Національна дослідницька рада Сполучених Штатів підрахувала, що протягом другої половини 20-го століття продуктивні землі втрачалися на рівні 70 000 км² на рік.

Таблиця 2 – Населення світу та континентів згідно із середньо-варіантною проєкцією, млн [3]

| Регіони | Роки | | | |
|-------------------|------|------|------|-------|
| | 2015 | 2030 | 2050 | 2100 |
| Світ | 7349 | 8501 | 9725 | 11213 |
| Африка | 1186 | 1679 | 2478 | 4387 |
| Азія | 4393 | 4923 | 5267 | 4889 |
| Європа | 738 | 734 | 707 | 646 |
| Латинська Америка | 634 | 721 | 784 | 721 |
| Північна Америка | 358 | 396 | 433 | 500 |
| Океанія | 39 | 47 | 57 | 71 |

У світі понад 20% оброблюваних площ, 30% лісів та 10% луків страждають від різного ступеня деградації, що негативно впливає на повноцінне існування близько 1,5 мільярда людей [4]. Дослідження, проведене Гентським університетом у Бельгії у 2009 році на тему «Сценарії виробництва та вплив деградації ґрунтів на довгострокову продовольчу безпеку в Китаї», показало, що продовольчі культури в Китаї можуть зазнати дев'ятивідсоткової втрати продуктивності до 2030 року, якщо деградація земель продовжуватиметься нинішніми темпами. Очікується, що втрати продуктивності зростуть до 30 % до 2050 року, якщо ґрунт деградуватиме вдвічі швидше, ніж зараз [5].

У звіті, підготовленому Центром продовольства і харчування Varilla, оцінюється, що скорочення та перетворення сільськогосподарських угідь може призвести до скорочення площі оброблюваних земель на 8-20% до 2050 року. Сукупний вплив зміни клімату, деградації земель, втрат сільськогосподарських угідь, дефіциту води та видових заражень може спричинити дефіцит продовольства в діапазоні 5-25 відсотків до 2050 року.

Враховуючи тривалий і складний процес ґрунтоутворення, запобігання є найкращим варіантом для пом'якшення деградації земель, а стале управління земельними ресурсами має бути прийняте як важлива глобальна стратегія боротьби з деградацією земель. Управління земельними ресурсами має величезний потенціал для допомоги та підтримки дрібних і маргінальних фермерів, зменшення бідності та голоду, запобігання ерозії, пом'якшення втрати біорізноманіття та ризику зміни клімату, покращення управління водними ресурсами та підвищення продовольчої безпеки. Оцінка деградації земель у посушливих районах, проведена ФАО в Китаї, Філіппінах, Тунісі, Південній Африці, Нідерландах та Аргентині у період з 2006 по 2010 роки, показала, що

світова економіка може втратити 23 трильйони доларів до 2050 року через деградацію земель. Негайне прийняття превентивних заходів коштуватиме лише 4,6 трильйона доларів США. Тому глобальна співпраця щодо впровадження сталого управління земельними ресурсами є надзвичайно важливою та має бути пріоритетною [6].

На жаль, сільське господарство займає досить низьке місце в національних пріоритетах багатьох країн. Швидка індустріалізація вважається мантрою розвитку. Тому актуальним є впровадження комплексних стратегій охорони ґрунтів, спрямованих на попередження, пом'якшення та відновлення деградованих територій, з урахуванням регіонально специфічних чинників та екологічних обмежень. Останні дослідження підкреслюють необхідність розробки регіонально адаптованих стратегій збереження та відновлення земельних ресурсів у контексті глобальної продовольчої безпеки та сталого природокористування.

Перелік посилань

1. Вознесенська Н.С., Дейнеко Л. В., Сичевський М. П., Кушніренко О.М. Сучасні моделі соціально-економічного прогресу і сталий розвиток продовольчої безпеки. *Продовольчі ресурси*. 2022. № 18. С. 193 – 206.
2. Food and Agriculture Organization. The State of Food and Agriculture. (2025). URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/94383693-fc35-4c93-8e71-87cfb7941916/content/state-of-food-and-agriculture-2025/dietary-risks-causing-diseases.html#gsc.tab=0> (дата звернення: 21.11.2025).
3. United Nations. (2015). World Population Prospects, The 2015 Revision. URL: https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf (дата звернення: 21.11.2025).
4. Bai Z. G., Dent D.L., Olsson L., Schaepman M. E. Global assessment of land degradation and improvement. 1. Identification by remotesensing. Report 2008/01, ISRIC – World Soil Information: Wageningen. 2008. URL: https://files.isric.org/public/documents/isric_report_2008_01.pdf (дата звернення: 21.11.2025).
5. Ye L., Ranst E.V. Production scenarios and the effect of soil degradation on long-term food security in China. ELSEVIER. *Global Environmental Change*. 2009. # 19(4). P. 464–481.
6. Food and Agriculture Organization. (2016). Land Degradation Assessment in Dry land. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/eecebb2f-bcd2-4771-a0d6-81ca8a068a65/content> (дата звернення: 21.11.2025).

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЄКТІВ ЕФЕКТИВНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ В НИЖНЬОДНІСТРОВСЬКОМУ НПП

А. В. Колісник, канд. геогр. наук, доцент

В. І. Трахтенберг, аспірант

Кафедра екології та охорони довкілля

kolisnyk.a.v@gmail.com

Відомо, що на території Одеської області функціонує Нижньодністровський національний природний парк (НПП), в межах якого знаходяться водно-болотні угіддя міжнародного значення. Вони є частиною природно-заповідного фонду (ПЗФ) та екологічної мережі України. Важливою задачею є планування та впровадження заходів щодо ефективного природокористування в НПП, так як це є основою підтримки ландшафтного і біологічного різноманіття даного природно-територіального комплексу.

Нижньодністровський національний природний парк охоплює територію в 21,369 га. До нього входять дельта р. Дністер, рукави, заплавні озера та Дністровський лиман. Флора складається з плаваючої рослинності, очерету та заплавної лісу, що підтримує різні види рослин, які перебувають під загрозою зникнення. Це важливий район для водяних птахів у всі сезони, з міжнародно важливою чисельністю розмноження *Egretta alba* та *Plegadis falcinellus*, а також зимуючими тут понад 50 000 птахів [1].

За інформацією із офіційних джерел [2, 3] парк створено з метою зберегти, відтворити та раціонально використовувати унікальні природні багатства пониззя Дністра, що мають надважливе наукове, естетичне та оздоровче значення. Основними завданнями парку є: – забезпечення охорони його території з усіма природними об'єктами; – збереження цінних природних комплексів та історико-культурних об'єктів, що знаходяться на його території; – створення умов для організованого туризму та інших видів рекреаційної діяльності в природних умовах з додержанням режиму охорони заповідних комплексів та об'єктів; – проведення науково-дослідних робіт, у тому числі з вивчення природних комплексів та їх зміни в умовах рекреаційного використання, розробка наукових рекомендацій з питань охорони навколишнього природного середовища та раціонального використання природних ресурсів; – збереження генофонду рідкісних, занесених до Червоної книги України та типових рослин, тварин, риб та птахів; – вивчення змін екосистем під дією природних і антропогенних факторів; – підтримання загального екологічного балансу в регіоні; – проведення екологічної освітньо-виховної роботи.

Однією із задач науково-дослідного відділу парку є питання планування та здійснення раціонального природокористування шляхом попередження та припинення порушень природоохоронного законодавства, а також забезпечення дотримання режиму охорони територій НПП.

Для залучення міжнародного досвіду з управління природоохоронними територіями перспективною є співпраця з міжнародними організаціями. Міжнародні проекти для національних природних парків включають відновлення та реформування природоохоронних територій, які постраждали від воєнних дій.

Одним з фінансових інструментів ЄС, спрямованим на захист довкілля та кліматичні дії є Програма LIFE від ЄС [4], яка сприяє відновленню та реформуванню природоохоронних територій в Україні. Експерти Програми разом із представниками департаменту природно-заповідного фонду профільного міністерства розробили вже три проекти організації територій для НПП: «Черемоський», «Вижвицький», «Гоцульщина»[5]. Міжнародні експерти проекту відкриті до співпраці.

Тому, для всіх інших НПП, в т.ч. для Нижньодністрівського є перспективним такий вид співпраці. За результатами спільної роботи з представниками міжнародної Програми LIFE слід очікувати, як показав досвід вищезгаданих трьох НПП, розроблений проект організації території. Він є обов'язковим документом для функціонування установи природно-заповідного фонду. Він описуватиме поточну ситуацію, визначатиме стратегічні цілі для збереження пріоритетних природних цінностей на найближчі 10 років. У документі також будуть визначені стратегічні завдання з розвитку установи у сфері моніторингу навколишнього середовища, охорони природи, рекреації та екоосвіти тощо. У цьому документі будуть описані чіткі та конкретні кроки для виконання стратегічних завдань і досягнення стратегічних цілей щодо природоохоронних цінностей.

Проекти організації території НПП розробляються відповідно до українського законодавства, однак орієнтуються на найкращі світові методики охорони природи, зібрані в *The Conservation Standards*[6]. Тому розроблені документи дещо відрізняються від проектів, якими установи ПЗФ користувалися раніше:

1. Буде використано підхід збереження природних біотопів, а не окремих видів. Оцінено стан пріоритетних природних цінностей, загрози, які існують для них, і першопричини, що формують загрози.

2. Визначатимуться стратегічні цілі щодо стану пріоритетних природних цінностей, а також чіткі та конкретні результати, послідовність їх досягнення. Важливо, що в документі також визначено засоби, ресурси та заходи, необхідні для досягнення цих результатів. Розроблено

детальний 5-річний план заходів з очікуваним результатом, відповідальними виконавцями та потребою у фінансуванні з різних джерел.

3. План повинен бути адаптивним, саме тому у проєкті організації території наявний розділ про моніторинг виконання цього плану та відповідної адаптації. Передбачено три етапи моніторингу: 1) Моніторинг виконання заходів з 5-річного плану. Проводиться щорічно. 2) Моніторинг досягнення результатів. Проводиться залежно від термінів, передбачених для конкретних результатів. 3) Моніторинг досягнення стратегічних цілей. Проводиться за результатами впровадження проєкту організації території.

Такий план реалізації проєкту організації, в т.ч. ефективного природокористування в межах території Нижньодністровського НПП допоміг би адміністрації парку результативніше шукати фінансування, адже потенційні партнери чітко бачитимуть потреби та прогнозовані результати фінансування.

Крім того, раціональне використання, збереження і відтворення унікальних природних багатств пониззя Дністра з використанням найкращих світових методик охорони природи – це завдання, реалізації якого необхідно досягти.

Перелік посилань

1. Сафранов Т.А., Чугай А.В., Ільїна В.Г. Екосистемні послуги водно-болотних угідь Одеської області. *Вісник Уманського національного університету*. 2023. Вип.1. С. 84 – 93.

2. Офіційний сайт Нижньодністровського національного природного парку. URL: <http://nnpp.com.ua/> (дата звернення: 20.11.2025).

3. Природно-заповідний фонд України: Нижньодністровський національний природний парк. URL: <https://wownature.in.ua/parky-i-zapovidnyky/nyzhnodnistrovskiyi-natsionalnyy-prirodnyy-park/> (дата звернення: 20.11.2025).

4. Національний портал міжнародного науково-технічного співробітництва. Програма LIFE. URL: <https://ms.nauka.gov.ua/portal/life/> (дата звернення: 20.11.2025).

5. Проєкти організації території національних природних парків URL: <https://ukraine.fzs.org/proyekty-organizaciyi-terytoriyi-dlya-trohnacjonalnyh-prirodnyh-parkiv-podano-do-mindovkilliya/> (дата звернення: 20.11.2025).

6. The Open Standards for the Practice of Conservation: Стандарти збереження - запровадження принципів і практик для ефективної охорони, Партнерство заходів із охорони природи - керівництво практикою збереження, Мережа тренерів з охорони природи - зміцнення стратегій і практики збереження природи через коучинг. URL: <https://www.conservationstandards.org/> (дата звернення: 20.11.2025).

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ВОДИ

С. М. Юрасов, канд. техн. наук, доцент

В. В. Терземан, аспірант

Кафедра екології та охорони довкілля

urasen54@gmail.com

Дослідження зосереджене на аналізі сучасних наукових праць щодо прогнозування якості води з метою визначення актуальних тенденцій, основних проблем і викликів, а також оцінки можливостей упровадження передових підходів у сучасних умовах України.

Мета. Узагальнити сучасні наукові підходи до прогнозування якості води, виокремити ключові напрямки розвитку, визначити переваги й недоліки основних груп методів та оцінити перспективи їх ефективного застосування в Україні. Об'єкт дослідження - процес прогнозування якості вод у сучасних наукових роботах. Предмет дослідження - підходи, методи, моделі та інструменти, що використовуються у світі для прогнозування якості води. Методи – використано адаптовану методологію систематичного огляду PRISMA, а також методи візуального та порівняльного аналізу.

Якість водних ресурсів є визначальним фактором екологічної безпеки, сталого розвитку та здоров'я населення. Під впливом кліматичних змін, інтенсифікації антропогенного навантаження, урбанізації та агровиробництва спостерігається стабільне погіршення стану поверхневих і підземних вод.

У таких умовах прогнозування якості вод стає важливим інструментом превентивної екологічної політики, що відповідає вимогам Водної рамкової директиви ЄС 2000/60/ЄС [1] щодо забезпечення доступу до чистої води та належної санітарії. У багатьох країнах світу (Україна, США, Канада, Китай, Японія, держави ЄС) законодавство передбачає обов'язковість прогнозування якості вод для оцінки стану водних ресурсів та планування їх використання. Водночас нормативні акти не визначають конкретних методів прогнозування, що стимулює розвиток наукових підходів і технологій, які сьогодні формують основу для практичного застосування моделей у водному менеджменті.

У сучасних дослідженнях застосовується широкий спектр методів і інструментів для прогнозування якості води. Стрімкий розвиток цифрових технологій спричинив появу численних моделей, що істотно різняться за принципами роботи та рівнем деталізації.

Визначення актуальних тенденцій у цій сфері ускладнене через велику кількість підходів, серед яких чимало авторських методик, що зустрічаються лише в окремих публікаціях і практично не піддаються

статистичній ідентифікації. Для структурованого аналізу всі виявлені методи були умовно поділені автором на групи за основним принципом роботи, типом інструментарію чи програмного забезпечення.

До таких груп належать: AI/ML, статистичні моделі, фізико-гідрологічні моделі, ГІС-методи, дистанційне зондування, IoT та біосенсори, гібридні моделі, моделі нечіткої логіки.

Для аналізу тенденцій розвитку методів прогнозування якості води було використано базу Springer Nature Link. Пошук за ключовими словами “Water quality forecast” та “Water quality prediction” за 2020-2025 рр. проводився з фільтрами Research Article та сортуванням за релевантністю. Для кожного року було експортовано по 1000 публікацій у форматі CSV, що загалом сформувало вибірку з 6000 статей. На наступному етапі здійснено автоматизований підрахунок кількості публікацій, у назвах яких виявлені ключові слова, що відповідають різним групам методів прогнозування. На основі отриманих результатів створено підсумкову таблицю (табл. 1), у якій відображено кількість статей з відповідними ключовими словами для кожного року в межах 2020-2025 рр.

Таблиця 1 - Розподіл наукових публікацій за ключовими словами, що відображають групи методів прогнозування якості води (2020-2025)

| Група методів | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| AI/ML | 304 | 375 | 407 | 469 | 553 | 589 |
| Statistical methods | 63 | 67 | 70 | 83 | 64 | 59 |
| Process-basedmodel | 8 | 11 | 14 | 16 | 16 | 9 |
| GIS | 18 | 13 | 18 | 20 | 15 | 17 |
| Remote sensing | 73 | 94 | 85 | 94 | 117 | 112 |
| IoT and biosensors | 17 | 31 | 40 | 50 | 35 | 48 |
| Hybrid | 58 | 77 | 100 | 97 | 148 | 147 |
| Fuzzylogic | 20 | 30 | 33 | 26 | 23 | 20 |

На основі таблиці було створено графік, що відображає зміну частоти використання ключових слів, пов'язаних із різними групами методів прогнозування якості води, у публікаціях за 2020-2025 рр (рис. 1).

Аналіз графіку показав, що провідним і найбільш динамічним напрямом у прогнозуванні якості води залишаються методи на основі штучного інтелекту та машинного навчання. У 2020-2025 рр. З помітним, хоча й менш інтенсивним зростанням виділяються гібридні моделі, що поєднують декілька підходів.

В Україні використання методів прогнозування якості води перебуває

на стадії поступового розвитку та наближення до європейських стандартів управління водними ресурсами. Існує значний розрив між теоретичними можливостями сучасних моделей та їх реальною імплементацією у національну систему моніторингу, що пов'язано з технологічними та інституційними обмеженнями. Для оцінки потенціалу впровадження сучасних методів в українських умовах була сформована узагальнена таблиця (табл. 2), де наведено найпоширеніші підходи, їхні переваги та недоліки, а також відповідні прогностні горизонти їх застосування.

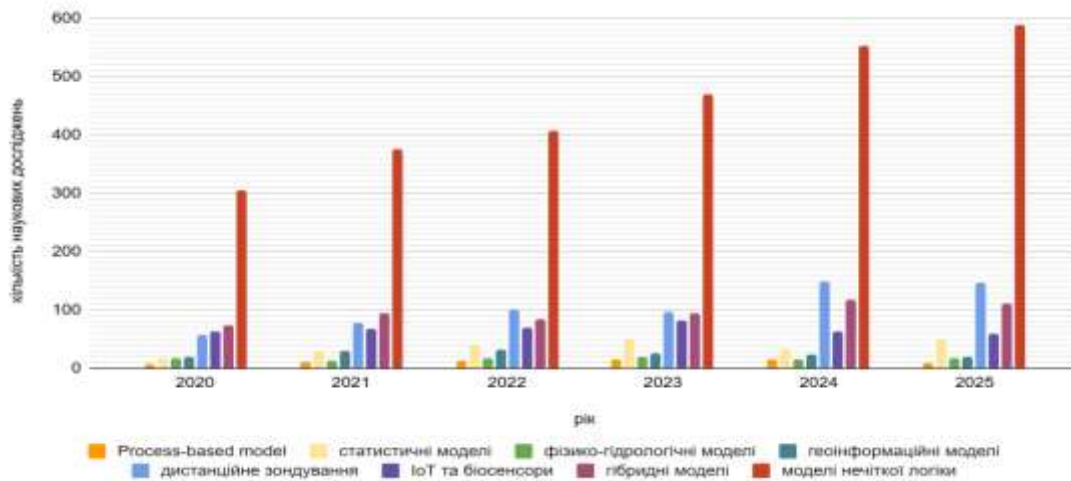


Рисунок 1 – Динаміка поширення груп методів за ключовими словами в наукових публікаціях з прогнозу якості вод за період з 2020 по 2025 рр.

Методи штучного інтелекту та машинного навчання вже поступово впроваджуються в українській практиці моніторингу та прогнозування якості води. Їхньою перевагою, особливо у воєнний час, є можливість роботи без прямого доступу до водойм, на основі історичних або дистанційних даних. Основне обмеження цих методів — «ефект чорної скриньки», що ускладнює інтерпретацію прогнозів. Використання пояснювального ШІ (XAI), зокрема SHAP і LIME, дозволяє підвищити прозорість моделей[2], однак в Україні ці підходи поки застосовуються дуже обмежено, і випадків їх використання для прогнозування якості води не виявлено.

Методи дистанційного зондування (RS) показують високу ефективність у контролі стану поверхневих вод, особливо за умов обмеженого або небезпечного польового моніторингу. Дані Sentinel, Landsat та MODIS дають змогу оцінювати стан водойм, температуру, цвітіння водоростей та зміни водної поверхні. Під час війни RS є найбільш доступним інструментом, а після війни їх інтеграція з наземними вимірюваннями може стати основою для сучасної системи моніторингу та прогнозування.

Таблиця 2 – Узагальнена таблиця найпоширеніших сучасних методів прогнозування якості води

| Група методів | Переваги | Недоліки |
|-----------------------------|---|--|
| AI, ML | Висока точність при достатньому обсязі даних; здатність враховувати нелінійні залежності; можливість онлайн-оновлення. | Вимагає великого масиву якісних даних; обмежене пояснення процесів; складність адаптації до інших водойм. |
| Дистанційне зондування (RS) | Велике охоплення території; доступність даних; придатний для важкодоступних регіонів. | Обмежена роздільна здатність; залежність від погодних умов; потрібна калібровка з польовими даними. |
| Гібридні моделі | Підвищена точність; здатні враховувати як просторові, так і часові закономірності; підвищена стійкість до неповних або шумних даних; можливість інтеграції з кліматичними сценаріями. | Висока складність реалізації та калібрування; велике навантаження на обчислювальні ресурси; потреба в експертному налаштуванні всіх компонентів (статистична, фізико-гідрологічна, машинне навчання) |

Гібридні моделі в Україні поки що перебувають на етапі експериментальних досліджень, а їх розвиток обмежений нестачею даних та нестабільністю моніторингових мереж. Водночас у післявоєнний період вони мають великий потенціал, оскільки здатні підвищувати точність прогнозів, враховувати кліматичні та антропогенні зміни й поєднувати різні типи даних.

Перелік посилань

1. Council Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj/eng>.

2. Randika K. Makumbura, Lakindu Mampitiya. Advancing water quality assessment and prediction using machine learning models, coupled with explainable artificial intelligence (XAI) techniques like shapley additive explanations (SHAP) for interpreting the black-box nature. *Results in Engineering*. 2024. Vol. 23. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102831>

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ЗМЕНШЕННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПИЛУ У МОРСЬКИХ ПОРТАХ

С. М. Юрасов, канд. техн. наук, доцент

М. В. Балаклеїнко, аспірант

Кафедра екології та охорони довкілля

urasen54@gmail.com

Лінії зв'язку на морі залишаються основним засобом транспортування вантажів. Наразі у світі є близько 4000 портів в 170 країнах. Не всі з них призначені для операцій з сипучими вантажами, але водночас світові торгові та судноплавні компанії експлуатують близько 13000 вантажних судна. Серед сипучих вантажів найпоширенішими є зерно, вугілля, цемент та залізна руда. Ці товари відносяться до категорії сухих сипучих вантажів, які становлять понад 50% усіх завантажених товарів [1].

Кожна операція з вантажем вимагає його переміщення між місцем зберігання на березі та судном. Незалежно від типу обладнання, що використовується при цієї операції, завжди утворюється пил навколо зони завантаження (або розвантаження) сипучого вантажу. При несприятливих метеоумовах кількість пилу у повітрі може бути небезпечною для людини.

Переривання вантажних операцій не є рентабельним, оскільки це стосується торгівлі, яка вимагає економічної ефективності в кожному процесі, включаючи операції з вантажами в морських портах. Єдиний вихід – це прийняття заходів щодо зниження кількості пилу у повітрі робочої зони. Судноплавні компанії віддаватимуть перевагу рішенням, які вимагають мінімальних витрат, щоб пропонувати конкурентоспроможні ціни на свої товари.

Підхід до зменшення кількості пилу у повітрі починається з розуміння того, що у всьому світі вже існують багато портів зі своєю інфраструктурою та обладнанням. Торгові та судноплавні потоки не зупиняються і, будь-яке переривання процесу перевантаження вантажів матиме суттєвий вплив на ціни та ланцюги поставок. Тут можна сформулювати два основні напрямки запобігання розповсюдження пилу: по-перше, модернізувати існуючу інфраструктуру, обладнання та процедури поводження з вантажами; по-друге, створити нові вимоги для майбутніх проєктів, які слід впроваджувати на стадії будівництва.

Перша частина реалізовується легше, оскільки використовується вже існуюче обладнання і його модернізація пов'язана з меншими витратами коштів і часу. Наприклад, розпилення крапель рідини водяними гарматами навколо зони завантаження є ефективним способом боротьби із запиленням, відносно простим і швидким в установці. Дослідження Д. Простанського [2] про контроль пилу в вугільних шахтах показує, що за його методом можливе зменшення концентрації вугільного пилу на 87%.

Вартість цього способу наступна. За даними Міністерства фінансів України, в Одеській області для суб'єктів господарювання ціна на воду становить $1 \text{ м}^3 = 14,244 \text{ грн}$, а на електроенергію – $1 \text{ кВт} = 686,23 \text{ грн}$. При довжині зони завантаження 100 м, і для покриття цієї зони потрібно дві водяні гармати типу DB-45 Surge. За даними виробничої компанії BossTek, середнє споживання води однією водяною гарматою становить $12 \text{ м}^3/\text{год}$ і $0,015 \text{ кВт}$ електроенергії. Одна година завантаження під розпиленням води коштує

$$2 * (12 * 14,244 + 0,015 * 686,23) = 181,22 \text{ грн.}$$

За даними Адміністрації морських портів України, у 2021 році через Морський торговельний порт Одеса було перевантажено 12,84 мільйона тон сипучих вантажів. Продуктивність порталного крана становить до 500 тон/год. Для перевантаження 12,84 мільйона тон за допомогою двох порталних кранів потрібно

$$12\,840\,000 / (2 * 500) = 12\,840 \text{ (год.)}$$

Таким чином, сумарна вартість використання двох водяних гармат для придушення пилу протягом року складе

$$181,22 * 12840 = 2\,326\,864,8 \text{ (грн./рік)} \approx 2,33 \text{ (млн. грн./рік)}$$

Отримана вартість не є постійною і має тенденцію до зростання. Тут також треба додати заробітну плату додаткового персоналу для обслуговування обладнання. Цей результат може бути використаний для розрахунку доцільності встановлення нового обладнання, створеного для зменшення кількості пилу.

Для зменшення розповсюдження пилу вітром також використовуються огорожі для зменшення його швидкості. Однак, це рішення є короткостроковим, оскільки огорожі мають обмежені розміри і не можуть бути встановлені всюди, так як перевантажувальне обладнання потребує свободи рухів.

Використання додаткового обладнання (водяних гармат, огорож тощо) в існуючих портах спрямоване на боротьбу з наслідками, а не з причинами. Причиною ж є те, що більшість частин інфраструктури та обладнання не створені для зменшення поширення пилу. Наприклад, під час роботи конвеєрних систем відкритого типу, різних типів кранів, екскаваторів та фронтальних навантажувачів з різними видами ковшів або захоплюючих пристроїв і шнекових конвеєрів у повітря виділяється значна кількість пилу. Дане устаткування використовується, у тому числі, при розвантажуванні залізничних вагонів, якими транспортується зерно.

Відповідно до дослідження [3] під час приймання зерна із залізничного транспорту концентрація пилу у повітрі, що відходить від устаткування складає 1,3 мг/дм³. Під вплив пилу такої концентрації потрапляють всі, хто знаходяться на майданчику розвантаження, а також поблизу нього, в залежності від погодних умов.

За даними Адміністрації морських портів України, у 2021 році через Морський торговельний порт Одеса було перевантажено 6,491 млн тон зерна. На перевантаження зерна було витрачено робочого часу

$$6\,491\,000/(2*500)=6\,491 \text{ (год.)}$$

Тобто, обслуговуючий персонал протягом 6 491 години, залежно від місця знаходження перебував у зоні підвищеної концентрації пилу. Це, у свою чергу, веде до додаткових виплат працівникам, пов'язаних із роботою із підвищеною небезпекою. Крім того, дослідження [4] говорить про вплив зернового пилу на здоров'я легень, що збільшує витрати портових підприємств (або ж державних коштів) на лікування працівників від захворювань, спричинених пилом. Тобто, відсутність боротьби із розповсюдженням пилу в портах може спричинити довготривалі та дороговартісні наслідки.

Другий напрямок діяльності по зменшенню кількості пилу в повітрі на стадії проектування розрахований на довгострокову перспективу. У такому випадку при будівництві нового порту, об'єктів і обладнання можливо створити безпечне середовище для працівників і мешканців. Одним з способів підвищення ефективності реалізації цього напрямку є розробка відповідного методичного забезпечення розрахунків поширення пилу у повітрі.

Перелік посилань

1. Grote M., Mazurek N., Gräbsch C., Zeilinger J., Le Floch S., Wahrendorf D.-S., Höfer T. Dry bulk cargo shipping – An overlooked threat to the marine environment? *Marine Pollution Bulletin*. 2016. № 110(1). P. 511 – 519. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.066>
2. Prostański D. Use of Air-and-Water Spraying Systems for Improving Dust Control in Mines. *Sustainable Mining*. 2013. № 12(2). P. 29 – 34.
3. Зацеркляний М.М. Утворення пилу на підприємствах галузі хлібопродуктів і зменшення пиловиділення. *Техногенно-екологічна безпека*. 2018. № 3(1). С. 16 – 20.
4. Margaret R., Becklake M.D. Grain dust and lung health: Not just a nuisance dust. *Can Respir J*. 2007. № 14 (7). P. 423 – 425. <https://doi.org/10.1155/2007/931094>

ЯКІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЧОРНОМОРСЬКОГО БАСЕЙНУ ПІД ВПЛИВОМ АНТРОПОГЕННИХ ЧИННИКІВ

С. М. Юрасов, канд. техн. наук, доцент

М. Ю. Монченко, аспірант

кафедра екології та охорони довкілля

urasen54@gmail.com

Чорноморський басейн, оточений територіями шести країн, є унікальною та вразливою екосистемою. Якість атмосферного повітря в цьому регіоні відіграє критичну роль не лише для здоров'я мільйонів жителів прибережних районів, а й для стану самого моря. На жаль, під впливом інтенсивної господарської діяльності та перманентних військових дій, тобто антропогенних чинників, відбувається значне забруднення повітряного басейну, що має каскадні негативні наслідки [1-3]. За рік повномасштабної війни «задокументовано понад 2300 злочинів проти природи. Розмір збитків сягає майже 1,9 трильйона гривень» [1].

Забруднення атмосферного повітря в регіоні Чорноморського басейну має комплексний характер і походить із різних секторів людської діяльності.

Основними джерелами забруднень повітря є:

1. Енергетичні та промислові комплекси, до яких відносять:

- Викиди ТЕС та промислових підприємств: спалювання викопного палива (вугілля, мазут) на теплових електростанціях та виробничих об'єктах є значним джерелом діоксиду сірки (SO_2), оксидів азоту (NO_x), сажі, завислих речовин (пилу) та важких металів. Наприклад, значні викиди можуть надходити від великих промислових зон, зокрема в причорноморських містах [4].

- молдавська державна районна електростанція (МДРЕС), наприклад, згадується як основне джерело забруднення довкілля в Біляївському районі України, з викидами пилу з шлаковідвалу понад 41,6 тис. тон на рік [4].

2. Транспортна інфраструктура.

- Автотранспорт: зростання кількості автомобілів, їхній значний вік та низька якість пального спричиняють високу концентрацію оксиду вуглецю (CO), оксидів азоту (NO_x), вуглеводнів та свинцю (за наявності його в паливі) у повітрі прибережних міст.

- Морський транспорт та порти: судна, особливо ті, що використовують важке паливо, викидають значні обсяги SO_2 , NO_x та сажі. Порти, як важливі транспортні вузли, також додають забруднення через інтенсивну діяльність [5].

3. Сільське господарство.

- Використання агрохімікатів: випаровування та перенесення вітром пестицидів і фармпрепаратів у повітря, а згодом їхнє осадження.

- Тваринництво: викиди аміаку (NH_3) та метану (CH_4) [4].

Забруднення атмосферного повітря Чорноморського басейну призводить до зростання концентрацій низки небезпечних речовин, серед яких (табл. 1):

Таблиця 1 – Забруднення атмосферного повітря Чорноморського басейну

| Забруднююча речовина | Джерело | Вплив на здоров'я | Вплив на екосистему |
|--------------------------|--|--|--|
| Діоксид сірки (SO_2) | Спалювання вугілля, важке паливо | Респіраторні захворювання, кислотні дощі | Окислення ґрунтів і вод, погіршення стану рослинності |
| Оксиди азоту (NO_x) | Транспорт, ТЕС | Проблеми дихальних шляхів, смог | Утворення приземного озону, кислотні дощі, евтрофікація моря |
| Завислі речовини та сажа | Промисловість, транспорт, шлаковідвали | Серцево-судинні та респіраторні захворювання | Забруднення поверхні моря та ґрунтів, вплив на клімат |
| Формальдегід | Викиди промисловості, транспорт | Подразнення, алергії, канцероген | Токсичний вплив на рослинний світ |

Важливість проблеми якості атмосферного повітря полягає не лише у прямому впливі на сушу, але й у так званому атмосферному випаданні (осадженні) забруднюючих речовин безпосередньо в акваторію моря. Це становить значний внесок у загальне забруднення Чорного моря з такими наслідками, як:

- *Евтрофікація*: викиди оксидів азоту в повітря, а також фосфатів та нітратів, що осаджуються, слугують додатковими поживними речовинами для морських водоростей. Це призводить до цвітіння моря, виснаження кисню у воді та загибелі морської фауни.

- *Токсичне забруднення*: важкі метали (наприклад, ртуть, свинець), що потрапляють в атмосферу, можуть осідати в морі, накопичуючись у донних відкладеннях та харчових ланцюгах морських організмів.

- *Кислотні дощі*: SO_2 та NO_x трансформуються в атмосфері в сірчану та азотну кислоти, які випадають у вигляді кислотних дощів, змінюючи pH морської води та ґрунтів.

Проведений теоретичний аналіз якості атмосферного повітря Чорноморського басейну дозволив окреслити наступні шляхи вирішення вищезазначеної проблеми. Поліпшення якості атмосферного повітря в

Чорноморському басейні вимагає комплексних та скоординованих дій усіх прибережних держав:

1. *Модернізація енергетики*: перехід на більш чисті джерела енергії та впровадження ефективних технологій очищення викидів на ТЕС (сіркоочищення, азотоочищення).

2. *Регулювання транспорту*: введення жорсткіших екологічних стандартів для автомобільного та морського транспорту (наприклад, стандартів ІМО для судноплавства), стимулювання використання електротранспорту та громадського транспорту.

3. *Посилення моніторингу*: розвиток єдиної транскордонної системи моніторингу якості атмосферного повітря та атмосферного випадання забруднювачів для об'єктивної оцінки ситуації.

4. *Міжнародна співпраця*: посилення співпраці в рамках Конвенції про охорону Чорного моря від забруднення та інших міжнародних угод для синхронізації екологічної політики та обміну досвідом.

Висновок. Забезпечення чистого повітря над Чорним морем є спільним викликом та відповідальністю усіх країн басейну. Тільки скоординовані дії можуть зупинити погіршення екологічного стану та зберегти цю унікальну екосистему для майбутніх поколінь.

Перелік посилань

1. Куцах Р., Лисак Г. А. Перспективи розвитку екоосвіти в Україні. *Студентська молодь і науковий прогрес: тези доп. Міжнар. студ. наук. форуму*, Львів, 2023. С. 15.

2. Монченко М.Ю., Юрасов С.М. Проблеми моніторингу стану атмосферного повітря. *Екологія – філософія існування людства, Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених*. Київ: НУБіП України, 2025. С. 116–119.

3. Muhittin G.O., Serra S., Elif P., Burcak K. Impacts of Russia-Ukraine War on air pollution over the Black Sea Region due to changes in maritime transport. *Atmospheric Pollution Research*. 2025. № 16 (10). <https://doi.org/10.1016/j.apr.2025.102613>

4. Щорічна доповідь про стан навколишнього природного середовища Одеської області у 2024 році. URL: <https://ecology.od.gov.ua/wp-content/uploads/2025/09/region-dopov-pro-stand-nps.pdf> (дата звернення: 21.11.2025).

5. Melnyk O.M., Bulgakov M.P., Kucherenko V.Yu. State and Dynamics of Environmental Impact from Shipping in the Black Sea Region: Trends, Challenges, and Technological Responses. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна*. 2025. № 2(93). С. 156–162. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.21>

ВПЛИВ НЕСПРИЯТЛИВИХ БІОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ (НА ПРИКЛАДІ М. ЛЬВІВ)

Н. В. Грабко, старший викладач
Кафедра екології та охорони довкілля
grabkonatalyavikt@gmail.com

Близько 35 % дорослого населення відчувають метеотропні реакції, що проявляється у вигляді погіршення самопочуття, головного болю, втомлюваності, болю у суглобах чи м'язах, перепадів артеріального тиску та іншими незручними або хворобливими проявами.

Для характеристики впливу біокліматичних (біометеорологічних) умов на людину застосовується близько 50 біокліматичних індексів, до яких можна віднести й такий показник як ваговий вміст кисню у повітрі.

Відносна частка кисню в повітрі у різних місцевостях залишається переважно сталою, а його вміст може декілька змінюватися під впливом зовнішніх факторів (прихід атмосферних фронтів, коливання атмосферного тиску або вологості повітря, потрапляння у повітря забруднюючих домішок і т.ін.). Самопочуття людини визначається не концентрацією кисню в повітрі (часткою кисню відносно загального газового складу повітря), а саме його ваговим вмістом в одиниці об'єму (парціальним тиском).

Для визначення вмісту кисню в повітрі застосовують формулу Клапейрона у редакції, запропонованій В.Ф. Овчаровою [1]:

$$\rho_0 = 0,232 \cdot m \frac{(P-e)}{KT}, \quad (1)$$

де ρ_0 - ваговий вміст кисню в атмосферному повітрі, г/м³;

P - атмосферний тиск, Па;

e - парціальний тиск водяної пари в атмосферному повітрі, Па;

m - дорівнює 28,98 г/моль - середня молярна маса сухого повітря;

T - абсолютна температура повітря, К; $T = 273,15 + t^\circ$;

K - молярна газова стала, $K = 8,31$ Дж/(моль · К);

0,232 - масова доля кисню в сухому повітрі.

Внаслідок низького вмісту кисню в повітрі формується таке явище як гіпоксична гіпоксія, проявами якої можуть стати збільшення серцебиття й дихання, задишка, слабкість, запаморочення й сплутаність свідомості. Тривала гіпоксія може сприяти зниженню захисних функцій організму, сприяти виникненню набряків, тривала гіпоксія може викликати зміни у мозку, серці й легенях. Високий вміст кисню в повітрі може супроводжуватися онімінням пальців рук та ніг, здриганнями м'язів повік та обличчя, відчуттям занепокоєння.

Фізіологічно, людський організм легше адаптується до зменшення вмісту кисню в повітрі, чим до збільшення.

Відомості щодо нормального вмісту кисню в повітрі досить уривчасті. Вважається, що найбільш комфортними для людини є значення показника в діапазоні 280-300 г/м³ [1-2] (інколи нижню межу діапазону зменшують до 275 г/м³). До критичних значень відносять 200-230 г/м³ [2].

За показником вагового вмісту кисню в повітрі розроблена медична класифікація погоди, згідно з якою [2] Нікберг І.І. виділив такі типи погоди: сприятлива (коливання ρ_0 не перебільшує 5 г/м³); помірно несприятлива (зниження ρ_0 на 5-10 г/м³ за умови його вмісту менш за 275-280 г/м³); несприятлива (падіння ρ_0 до 270 г/м³ й менше або його зменшення більш, ніж на 15 г/м³).

Також за ваговим вмістом кисню в повітрі можна оцінювати ступінь біотропності погоди – за відхиленням вмісту кисню від середньої кліматичної норми для певної доби або за міждобою мінливістю. Такий підхід запропонував І.Г. Гранберг [1], який виділив чотири ступені біотропності (типу погоди): індиферентна, слабка, помірна та різка.

Умови несприятливої погоди (за класифікацією Нікберга І.І.) і умови різкої погоди (Гранберг І.Г.) характеризують найбільш небажані погодні стани, за яких виникає найбільша ймовірність хворобливих станів організму людини. А повторюваність таких умов буде представляти собою ризик виникнення несприятливих умов, обумовлених впливом біокліматичних (біометеорологічних) факторів.

Для характеристики біокліматичних умов м. Львів за формулою (1) було розраховано ρ_0 у період з 1 травня по 30 вересня (теплий період року) 2015, 2020 і 2025 років для строків 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 і 21 години кожної доби. Як вихідні дані використані матеріали метеорологічних спостережень у цей час в м. Львів за температурою повітря, атмосферним тиском і відносною вологістю. Перерахунок відносної вологості у парціальний тиск водяної пари здійснений за допомогою формул Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation Всесвітньої метеорологічної організації.

Для розрахованих значень ρ_0 були визначені основні статистичні характеристики (кількість значень, середнє, мінімальне і максимальне значення) кожного з 5 місяців теплого періоду року, представлених в табл. 1.

Аналіз табл. 1 показав, що за теплий сезон 2015, 2020 і 2025 років було розраховано по 1224 значення. Середні значення ρ_0 в різні місяці різних років знаходяться в діапазоні значень 265,3-276,0 г/м³ і у відповідні місяці різних років дуже мало відрізняються одне від одного. Така ж сама тенденція спостерігається для мінімальних (знаходяться в діапазоні 250,6-260,3 г/м³) і максимальних (в діапазоні 280,2-290,5 г/м³) значень ρ_0 .

Таблиця 1 – Розрахунки статистичних характеристик ρ_0 у Львові

| Період | Статистичний показник | 2015 | 2020 | 2025 |
|-------------|-----------------------|-------|-------|-------|
| Травень | n | 248 | 248 | 248 |
| | $\rho_{0\text{сер.}}$ | 273,1 | 275,8 | 276,0 |
| | Min | 260,3 | 258,8 | 259,5 |
| | Max | 286,7 | 290,5 | 288,1 |
| Червень | n | 240 | 240 | 240 |
| | $\rho_{0\text{сер.}}$ | 269,3 | 265,4 | 268,5 |
| | Min | 256,1 | 253,8 | 256,8 |
| | Max | 281,3 | 282,3 | 283,6 |
| Липень | n | 248 | 248 | 248 |
| | $\rho_{0\text{сер.}}$ | 266,0 | 266,6 | 265,3 |
| | Min | 251,9 | 254,7 | 250,6 |
| | Max | 280,2 | 280,9 | 282,5 |
| Серпень | n | 248 | 248 | 248 |
| | $\rho_{0\text{сер.}}$ | 265,5 | 265,3 | 267,9 |
| | Min | 254,3 | 253,8 | 256,8 |
| | Max | 280,2 | 277,1 | 282,6 |
| Вересень | n | 240 | 240 | 240 |
| | $\rho_{0\text{сер.}}$ | 271,0 | 271,3 | 271,2 |
| | Min | 253,1 | 258,4 | 257,7 |
| | Max | 288,3 | 287,4 | 286,7 |
| Весь період | n | 1224 | 1224 | 1224 |
| | $\rho_{0\text{сер.}}$ | 269,0 | 268,9 | 269,8 |
| | Min | 252,0 | 253,8 | 250,6 |
| | Max | 288,3 | 290,5 | 288,1 |

Це дозволяє зробити висновок, що в середньому у кожен з місяців теплої періоду усіх років спостерігаються умови, що характеризуються ваговим вмістом кисню в повітрі нижче за норму (діапазон оптимальних значень). І лише максимальні значення вказують, що оптимальні за ρ_0 випадки все ж спостерігаються.

Далі оцінювалася повторюваність погодних умов, пов'язаних із низьким вмістом кисню в повітрі, з яким можуть бути пов'язані небажані для організму ефекти. Фактично оцінювалися ризики погодних умов, протягом яких ці ефекти можуть виникати, з використанням критерію І.І. Нікберга (рис. 1 - 2) і критеріїв І.Г. Гранберга (рис. 3 - 4).

На рис. 1 показаний сезонний хід повторюваності (ризиків) несприятливої погоди ($\rho_0 < 270 \text{ г/м}^3$ і додатково введений критерій $\rho_0 < 260 \text{ г/м}^3$) по місяцях, особливо виражений для ρ_0 менших за 270 г/м^3 . Протягом теплої сезону року (рис. 2) ризик несприятливої погоди складав 54,1-61,1 %, а ще більш несприятливих умов ($\rho_0 < 260 \text{ г/м}^3$) – 6,9-9,2 %.

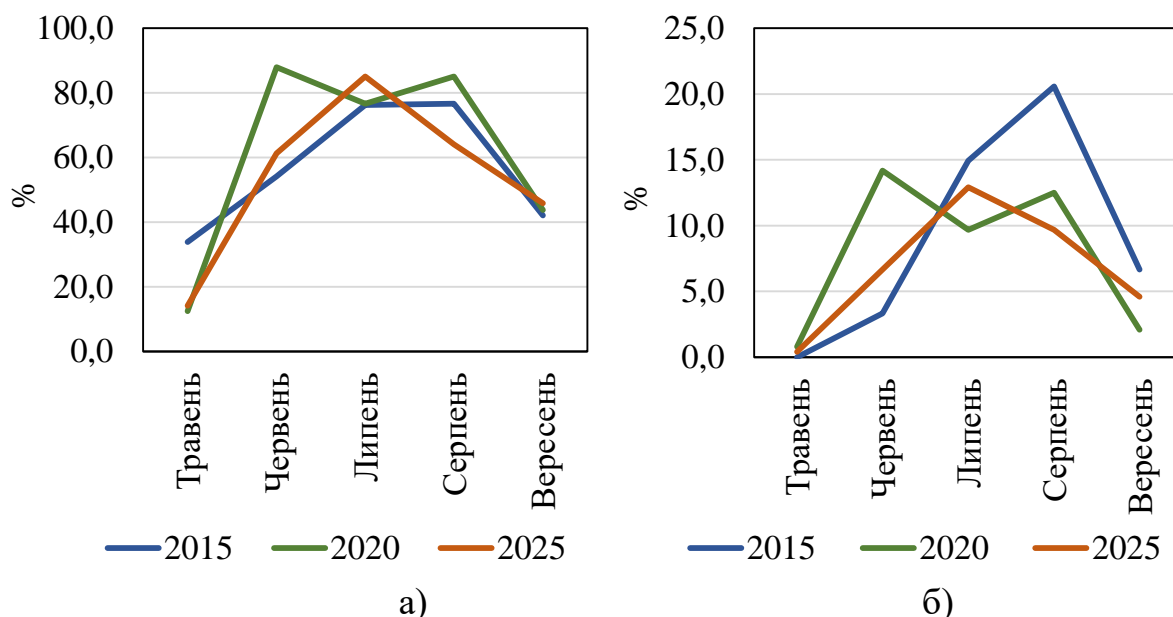


Рисунок 1 – Повторюваність (ризик) випадків несприятливої погоди при ρ_0 менш за 270 г/м^3 (а) і менш за 260 г/м^3 (б) по місяцях теплого періоду року, м. Львів

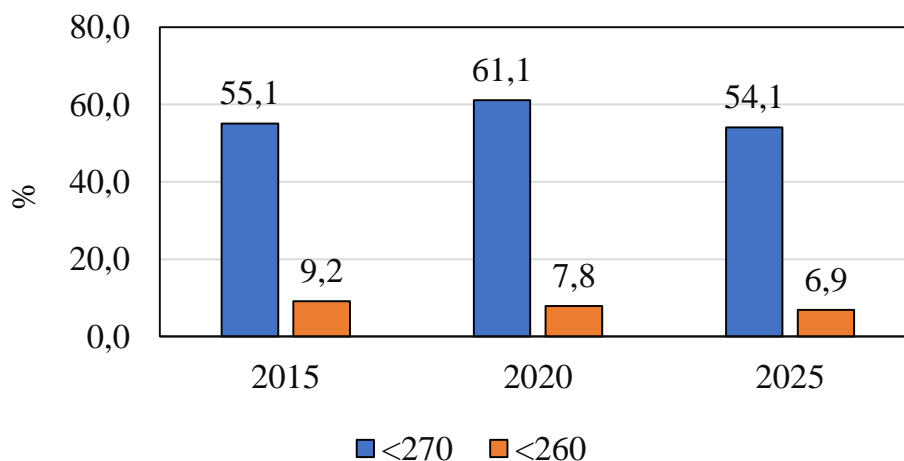


Рисунок 2 – Повторюваність (ризик) випадків несприятливої погоди за ρ_0 протягом всього теплого періоду року, м. Львів

На рис. 3 показані результати оцінки повторюваності (ризиків) виникнення різкої погоди за місяцями згідно з критеріями І.Ф. Гранберга – за мінливістю ρ_0 протягом доби ($> 12 \text{ г/м}^3$) і за відхиленням ρ_0 від кліматичної норми ($> 12 \text{ г/м}^3$). На рис. 4 ці ризики оцінені по роках для теплого періоду в цілому. Сезонний хід ризиків, пов'язаних із добовою мінливістю ρ_0 (рис. 3.а) виражений досить слабо, особливо у 2020 році. Для ризиків, обумовлених відхиленням ρ_0 від кліматичної норми (рис. 3.б), він ще менш помітний. Протягом всього періоду (рис. 4) ризики, пов'язані з міждобовою мінливістю ρ_0 , складають 34,6-37,3 %, а обумовлені відхиленням від кліматичної норми – 3,5-5,3 %.

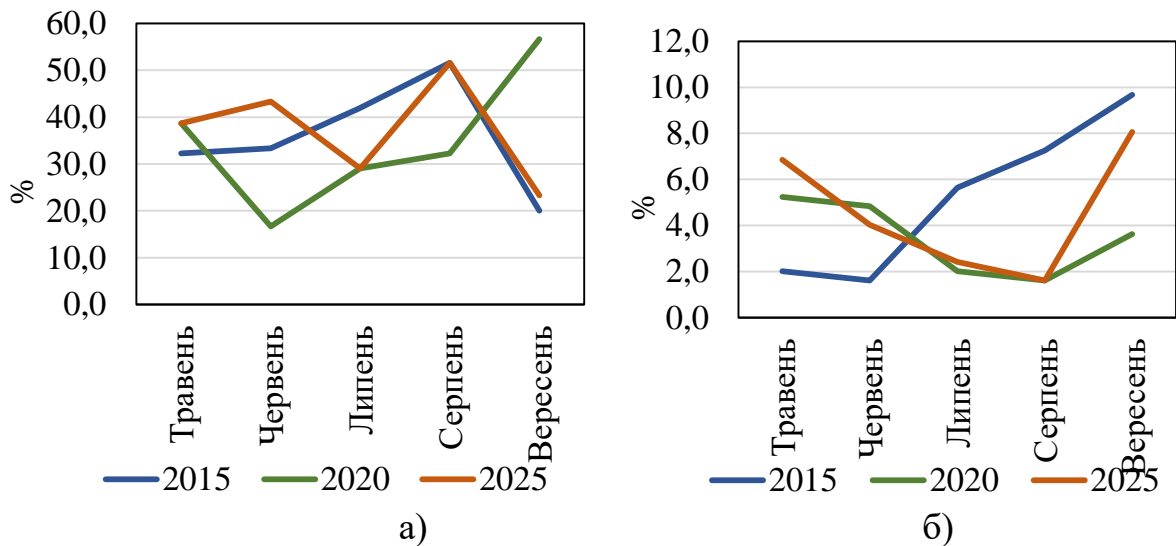


Рисунок 3 – Повторюваність (ризик) виникнення умов різкої погоди за міждобовою мінливістю (а) і відхиленням від кліматичної норми (б) по місяцях теплового періоду року, м. Львів

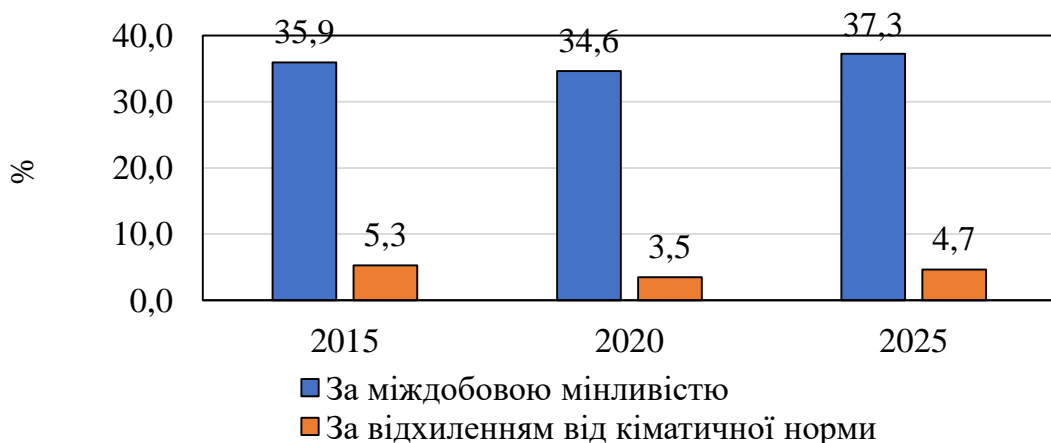


Рисунок 4 – Повторюваність (ризик) виникнення умов різкої погоди за ρ_0 протягом всього теплового періоду року, м. Львів

Отримані результати не показали досить очевидних сезонних залежностей і вимагають перевірки і уточнення на більш великих вибірках даних.

Перелік посилань

1. Грабко Н.В., Скалозуб М.Ю. Біокліматичні умови Одеського регіону (на прикладі вагового вмісту кисню в повітрі). *Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування: матеріали Міжнародної наукової конференції за участю молодих науковців*. Одеса: ОДЕКУ, 2024. С. 91 – 95.

2. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. *Прикладна кліматологія: Конспект лекцій*. Одеса: Вид-во "ТЭС", 2005. 131 с.

СУЧАСНИЙ ДОСВІД УКРАЇНИ ТА СТРАТЕГІЇ АДАПТАЦІЇ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА В КОНТЕКСТІ ЗМІН КЛІМАТУ

М. Г. Сербов, д-р екон. наук, професор,

В. В. Гулеватий, аспірант

В. В. Лавренов, аспірант

Кафедра екології та охорони довкілля

env_prot@onu.edu.ua

Зміна клімату є однією з найважливіших екологічних проблем сучасності, яка істотно впливає на стан водних екосистем в Україні та світі. Водні екосистеми відіграють важливу роль у підтримці біорізноманіття, забезпеченні прісноводними ресурсами та регулюванні клімату, часто вони є ключовим елементом родючості ґрунту, визначають необхідність та склад меліоративних заходів. Варто зазначити, що нині водні ресурси та землі водного фонду України перебувають не тільки під тиском кліматичних змін, антропогенним впливом всього комплексу господарської діяльності людини, але й зазнають значних негативних наслідків воєнних дій. Руйнування інфраструктури, хімічне забруднення, неконтрольовані викиди підприємствами токсичних речовин і фізичне пошкодження інфраструктури водних об'єктів через бойові дії посилюють вразливість екосистеми.

Вплив кліматичних змін та наслідків війни нині та в майбутньому створює комплексні екологічні виклики, що потребують негайного реагування на державному рівні. За таких умов критично важливим для збереження водних ресурсів та забезпечення екологічної стабільності регіону стає всебічний аналіз ситуації, що враховує як природні, так і антропогенні чинники.

Метою дослідження є визначення впливу кліматичних змін на водні екосистеми України, а також розробка адаптаційних стратегій їхнього збереження. Під час дослідження був проведений аналіз літературних джерел, індексованих у базах PubMed і Google Scholar, а також первинний порівняльний аналіз екологічного стану водних об'єктів у різних регіонах країни. Основну увагу зосереджено на змінах показників гідрологічних, біологічних та хімічних параметрів водних екосистем.

Результати дослідження продемонстрували, що зміни клімату призводять до деградації водних екосистем через підвищення температури, зміну режиму опадів, підвищення евтрофікації та втрату біорізноманіття.

Дані свідчать про значне зниження рівня води у басейнах річок України, погіршення її якості та порушення гідрологічного балансу.

Попри значну кількість робіт, присвячених кліматичним змінам та екологічним проблемам, що їх супроводжують, низка питань ще залишаються відкритими. Зокрема, недостатньо інформації щодо інтеграції даних про гідрологічні та біохімічні показники змін у водній екосистемі. Недостатньою мірою вивчені питання впливу екстремальних погодних умов на водний режим. Також майже відсутні комплексні дослідження зв'язку між кліматом та посиленням забруднення водойм та впливом змін водних екосистем на сільське господарство, туризм, рибальство. Потребує суттєвого вдосконалення і оновлення й нормативно-правова база України, оскільки діюче законодавство нашої країни частіше за все не враховує необхідність застосування адаптаційних заходів, пов'язаних зі зміною клімату.

Однією з основних стратегій збереження водних ресурсів є відновлення природних річищ, що передбачає не тільки їхню ренатуралізацію та ліквідацію малоефективних інженерних споруд, але й відновлення природних заплав та водно болотних угідь, що виконують функцію збереження води та підтримки біорізноманіття [1,2]. Відновлення екологічного балансу в річкових системах сприяє стабілізації гідрологічного режиму й полегшує адаптацію водних екосистем до змін клімату.

Створення екологічних коридорів також є важливим елементом. Розширення мережі природоохоронних зон, зокрема уздовж річкових долин створить умови для міграції видів і сприятиме підтримці генетичної різноманітності екосистеми, отже знизить ризик вимирання певних популяцій через зміни в природному середовищі [3]. Критичною також є система управління водними ресурсами. Вона передбачає інтегрований підхід до моніторингу та управління водозборами з урахуванням потреб як природних екосистем, так і сільського господарства [1,4].

Зміна клімату впливає на водні ресурси України та призводить до зниження біорізноманіття екосистеми та погіршення параметрів якості води.

Враховуючи, що вплив зміни клімату, в першу чергу, відображається на зниженні біорізноманіття екосистеми та погіршення параметрів якості води, адаптаційні стратегії для збереження водних екосистем набувають дедалі більшої важливості. Однією з таких стратегій є відновлення

природних річищ, що дає змогу покращити природний гідрологічний режим [2,5]. Створення екологічних коридорів сприяє міграції видів, знижуючи ризики для популяцій гідробіонтів. Важливою є також розробка та впровадження сталого управління водними ресурсами, що передбачає інтеграцію наукових підходів у практику охорони водних екосистем та мінімізацію негативного антропогенного впливу. Проте на сьогодні існують значні виклики, пов'язані з глобальними змінами клімату, посухами та стихійними явищами, що виникають все частіше. З огляду на це, не втрачають актуальності питання розробки та впровадження довгострокових стратегій з управління водними ресурсами та відновлення природних екосистем на рівні національної політики. Співпраця між урядовими та науковими установами, бізнесом і громадськими організаціями сприятиме досягненню сталого розвитку водного господарства України в кризових умовах сьогодення.

Перелік посилань

1. Адаменко Я. Про можливість прогнозування катастрофічних паводків. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2021. Т. 12, № 1. С. 7 – 21. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1\(23\)-7-21](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1(23)-7-21)
2. Didovets I., Krysanova V., Hattermann F.F., del Rocío Rivas López M., Snizhko S., Schmied H.M. Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2020. Vol. 32. 100761. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100761>
3. Лиховид П.В., Вожегова Р.А., Грановська Л.М., Ушкаренко В.О., Чабан В.О., Кузнецов С.І., Біднина І.О. Математичне прогнозування еколого-кліматичної ситуації в Україні в контексті глобального потепління. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 53–61. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.28.9>
4. Mykhailenko V.I., Safranov T.A. Estimation of input of unintentionally produced persistent organic pollutants into the air basin of the Odessa industrial- and urban agglomeration. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22, № 9. P. 21 – 31. <https://doi.org/10.12911/22998993/141479>
5. Груздєва О.В., Крячков Д.О., Смотраєв Р.В. Імітаційне моделювання в управлінні водними ресурсами. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2023. Т. 31, № 3. С. 530 – 551. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i3.287777>



Підсекція

МЕТЕОРОЛОГІЯ І КЛІМАТОЛОГІЯ



ДИНАМІКА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ОПАДІВ ТЕПЛОГО ПЕРІОДУ В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ

Г. О. Боровська, канд. геогр. наук, доцент
Кафедра метеорології та кліматології
halyna.borovska@onu.edu.ua

Екстремальні опади — це різке та інтенсивне випадання великої кількості води з хмар за короткий проміжок часу, що може спричинити підтоплення, особливо в урбанізованих районах. Причинами цього явища є глобальне потепління, яке підвищує вологість повітря та температуру поверхні води (наприклад, Чорного моря), що сприяє утворенню інтенсивних злив та смуг дощу, типових для тропіків, а також урбанізація, яка посилює ефект підтоплення через непроникні поверхні, як-от асфальт і бетон.

В дослідженні використовувалися дані добових сум опадів за результатами спостережень за період 2000–2025 роки (з квітня то жовтень) на 11 метеорологічних станціях Одеської області.

Для виявлення змін у екстремальних значеннях широко застосовують спеціальні кліматичні індекси, що рекомендовані Всесвітньою програмою з дослідження клімату (The World Climate Research Programme, WCRP). Як правило, кліматичні індекси розраховуються за добовими середніми та екстремальними даними.

Аналіз екстремальних опадів виконувався із залученням методу абсолютного порогового значення (Індекс R20mm, R30mm). Сенс методу полягає в тому, що вибирається деяке значення суми опадів (у мм) за добу, наприклад, 30 мм, яке вважається пороговим. При цьому всі випадки добових сум опадів перевищують зазначене значення, що приймаються за екстремальні.

В даному дослідженні використовувався поріг 30 мм за добу, що було застосовано відповідно до рекомендації Гідрометслужби України (1994 р.) та Положення про порядок складання та доведення попереджень, оперативних інформацій, оповіщень, донесень про виникнення і розвиток небезпечних та стихійних метеорологічних явищ I, II та III рівнів небезпечності (2019 р.).

Застосування для аналізу як пороговий – величини індексу R30mm показало таку картину. На рис. 1 наведено інформацію про кількість випадків добової суми опадів більших за 30 мм по місяцях теплового періоду. Тут не враховані інтенсивність та тривалість опадів.

Проводячи аналіз рисунку видно, що кількість випадків опадів, що відповідають індексу R30mm суттєво зростають у літньо-осінній період (VI–IX місяці). Це відповідає сезонній активності атмосферних процесів.

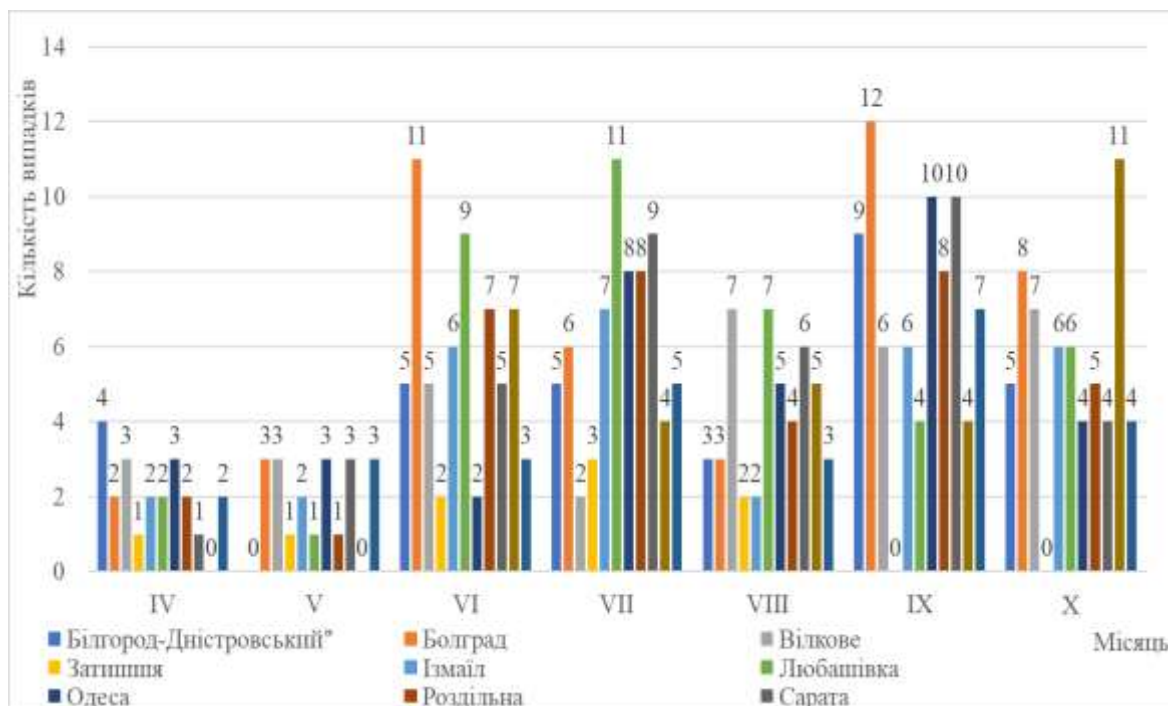


Рисунок 1 – Сезонний розподіл кількості опадів, що перевищили індекс R30mm на Одещині

Аналіз сезонної динаміки кількості випадків інтенсивних опадів на метеорологічних станціях Одеської області показав виразну просторово-часову нерівномірність їх розподілу. Найменша кількість випадків спостерігається у весняні місяці (квітень–травень), що свідчить про низьку грозову та циклонічну активність у цей період. Починаючи з червня, кількість випадків різко зростає, досягаючи максимуму у вересні, який є найбільш опадонасиченим місяцем для більшості станцій. Найвищі значення кількості екстремальних опадів характерні для Болграда – 45 випадків, Любашівки – 40 випадків та Сарати – 38 випадків, що може бути пов'язано з особливостями місцевих циркуляційних умов та орографії. Чорноморськ, Білгород-Дністровський та Ізмаїл, навпаки, відзначаються мінімальною частотою сильних опадів, 27, 31, 31 випадки відповідно.

Для Болграда характерні максимальні значення в червні та вересі, відповідно 11 та 12 випадків. В Сараті високі показники повторюваності в липні, вересі та жовтні - відповідно 9, 10, 11. В Любашівці також влітку (червень-липень) значна кількість опадів екстремального характеру – 9-11.

Ізмаїл, Роздільна, Одеса – не мають різких піків, але послідовно показують 4–8 випадків у літньо-осінній період

У цілому отримані результати підтверджують домінування літньо-осіннього максимуму інтенсивних опадів на півдні України та значну локальну мінливість їх проявів.

Опрацьовані дані щодо кількості випадків інтенсивних добових опадів на метеорологічних станціях Одеської області дозволили встановити чіткі

закономірності їх просторово-часового розподілу. Найменша повторюваність сильних опадів характерна для весняних місяців (квітень–травень), що пояснюється переважанням відносно стабільних баричних умов та недостатнім прогрівом підстильної поверхні. Починаючи з червня, спостерігається інтенсивне зростання кількості випадків, що корелює з активізацією конвективних процесів, збільшенням вологості повітря та формуванням нестійкої стратифікації атмосфери.

Пік повторюваності припадає на вересень, коли серед усіх станцій фіксуються максимальні значення. Це може бути пов'язано з поєднанням високої температури поверхні Чорного моря, значної кількості залишкової літньої вологи в атмосфері та частішими вторгненнями прохолодних повітряних мас, що сприяє розвитку глибокої конвекції. Помітні територіальні відмінності: Болград, Любашівка та Сарата характеризуються найвищими показниками протягом усього теплового періоду, тоді як Вилкове та Затишся — найнижчими. Це свідчить про істотну роль локальних факторів, таких як орографія, віддаленість від морського узбережжя, типи підстильної поверхні та особливості мезомасштабної циркуляції.

Сезонні коливання кількості випадків інтенсивних опадів є наслідком комплексу атмосферних та геофізичних чинників.

Весна (IV–V): мінімум опадів. Атмосфера залишається відносно стабільною після зимового періоду. Недостатній прогрів поверхні землі та морської акваторії обмежує розвиток глибокої конвекції. Домінування антициклональних режимів.

Літо (VI–VIII): зростання кількості випадків. Сильний прогрів поверхні, висока вологість і нестійка стратифікація атмосфери. Активізація локальних та регіональних конвективних процесів. Посилення впливу бризової циркуляції поблизу узбережжя.

Осінь Вересень: максимум повторюваності. Найвища температура поверхні Чорного моря, яке слугує джерелом тепла й вологи. Зіткнення теплих морських повітряних мас із холоднішими повітряними вторгненнями з півночі та заходу. Жовтень: зберігається висока активність. Охолодження атмосфери поступово зменшує конвективні процеси. Однак опади носять фронтальний характер.

Наступний етап дослідження – з'ясувати, як часто на Одещині бувають опади, що можуть призвести до катастрофічних наслідків для різних сфер людської діяльності, комунальної сфери, іноді до людських жертв. Для вирішення цієї задачі обрано поріг понад 50 мм. Просторово-часовий розподіл опадів понад 500 мм за добу наведено в табл.1.

Загалом, за період 2000-2025 рр. (квітень-жовтень) на Одещині відбулось 82 випадки екстремальних опадів з понад 50 мм за добу. Найбільша повторюваність припадає на липень та вересень – по 21 випадку. Ці опади в більшості випадків спостерігалися після тривалого

бездошового періоду над Одещиною і обумовлені інтенсивним розвитком внутрішньомасової конвекції, впливом підстильної поверхні та розвитком циклонічної діяльності на Середземним та Чорним морями. Такий розподіл екстремальних опадів відповідає клімату Причорномор'я: максимум інтенсивних дощів припадає на середину літа–початок осені, коли проходять активні циклони та лінії конвергенції.

Таблиця 1 - Кількість випадків екстремальних опадів понад 50 мм за добу

| Метеорологічна станція | Місяці | | | | | | | Разом |
|------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | |
| Білгород-Дністровський | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3 | 2 | 9 |
| Болград | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 3 | 3 | 10 |
| Вилкове | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 3 | 8 |
| Затишшя | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 0 | 0 | 9 |
| Ізмаїл | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 |
| Любашівка | 0 | 0 | 2 | 5 | 1 | 0 | 0 | 8 |
| Одеса | 0 | 3 | 0 | 3 | 2 | 3 | 2 | 13 |
| Роздільна | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 4 | 0 | 8 |
| Сарата | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 6 |
| Сербка | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 3 | 1 | 7 |
| Чорноморськ | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 4 |
| Разом | 1 | 5 | 11 | 21 | 10 | 21 | 13 | 82 |

Весною такі опади малоімовірні – всього 6 випадків, 5 з яких були зафіксовані в Одесі.

Найбільша кількість екстремальних опадів з кількістю більше 50 мм за добу спостерігається у прибережних та південних районах (Одеса - 13, Болград - 10, Білгород-Дністровському – 9 випадків), в Затишші – 9 випадків, в Вилковому, Любашівці та роздільній – по 8, а в Ізмаїлі та Чорноморську лише по 4 рази. На станціях Вилкове, Затишшя, Сербка рідко фіксуються значення понад 60–70 мм.

За період дослідження на метеорологічних станціях Одеської області було зафіксовано опади, добова сума яких перевищувала в 2, іноді в 3 рази місячну норму. Наведемо деякі: на станції Білгород-Дністровський 135 мм у квітні 2016 року, на станції Любашівка в липні 2008 року – 131 мм; в

Одесі 112,9 мм (2016, IX); Сараті 118,8 мм (2001, IX); в Ізмаїлі 106,3 мм (2002, VIII); в Болграді 102,9 мм (2016, X), в Одесі 94 мм (2025, IX).

Також на Одещині спостерігається збільшення випадків екстремальних опадів після 2012 року. Почастішала кількість добової суми опадів понад 60–80 мм, які фіксуються в серпні–вересні–жовтні. Тобто пік максимальних опадів змістився на осінь, це узгоджується з тенденціями посилення короткочасних злив внаслідок кліматичних змін.

Існують два типи опадів: стратифіковані опади, які є безперервними та рівномірними за інтенсивністю та короткі, інтенсивні зливові дощі, типові для гроз. Як свідчить проведений аналіз критеріїв індексу R30mm опади на Одещині можуть досягти за кілька годин, іноді за десятки хвилин. Згідно з [1] опади характеризують інтенсивністю та тривалістю: «*дуже сильний дощ*», «*сильна злива*», «*надзвичайна злива*», «*тривалі дощі*». За цим поділом наведемо деякі випадки екстремальних опадів.

Дуже сильний дощ. 23.07.2008 р., Любашівка, 131мм, 4 години 42 хвилини;

13.09.2008 р., Вилкове, 57мм, 7 годин 24 хвилини;

21.09.2008 р., Білгород-Дністровський, 98мм, 11 годин 42 хвилини;

Роздільна, 53мм, 4 години; Одеса 54мм 12 годин;

07.07. 2023 р., Любашівка, 54 мм 5 годин 58 хвилин.

Сильна злива: 19.06.2008 р., Ізмаїл, 43мм, 30 хвилин;

15-16.09.2008 р., Вилкове, 38мм 1 година.

Надзвичайна злива 07.07. 2020 р., Ізмаїл, 56 мм, 48 хвилин;

14.06.2020 р., Вилкове, 82 мм, 55 хвилин.

Тривалі дощі: 19-20.09.2016 р., Білгород-Дністровський, 136 мм, 24 години;

Одеса, 113 мм, 22 години, 10 хвилин;

11-12.10.2016 р., Болград, 104 мм, 22 години, 10 хвилин;

12-13.10.2016 р., Одеса, 107 мм, 23 години 45 хвилин.

Перелік посилань

1 Положення про порядок складання та доведення попереджень, оперативних інформацій, оповіщень, донесень про виникнення і розвиток небезпечних та стихійних метеорологічних явищ I, II та III рівнів небезпечності (2019 р).

2. Прокоф'єв О.М., Гончарова Л.Д. Статистичні характеристики добових сум атмосферних опадів на території Одеської області в умовах змін глобального клімату. *Вісник ОНУ. Сер.: Геофізичні та геологічні науки.* 2021 Т.26. вип.1 (38). С.67 – 80. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2021.1\(38\).234649](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2021.1(38).234649) .

3. Мартазинова В. Ф., Щеглов А. А. Характер екстремальних осадков начала XXI столетия на территории Украины. *Український гідрометеорологічний журнал.* 2018. № 22. С. 36-45.

ОСОБЛИВОСТІ ТА ДИНАМІКА ПОЛІВ ТИСКУ В АНТАРКТИЦІ

Є. А. Галич, канд. геогр. наук, доцент
Кафедра метеорології та кліматології
galich_eli@ukr.net

Актуальність дослідження визначається необхідністю постійного моніторингу метеорологічного режиму Південної полярної області та його динаміки в світі сучасних тенденцій змін клімату. Дослідження метеорологічного режиму Антарктиди та його динаміки в світлі сучасних кліматичних змін, починаючи з середини минулого століття, проводяться вченими багатьох країн під егідою Всесвітньої метеорологічної організації [1-3].

Дослідження гідрометеорологічного режиму Антарктиди і його впливу на циркуляцію атмосфери, проводяться вченими багатьох країн під егідою Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО). У ці дослідження активно включилися і українські вчені, після того як Україна отримала у володіння антарктичну науково-дослідницьку станцію Академік Вернадський, яка розташовується в районі Антарктичного півострова.

Мета роботи є дослідження особливостей статистичної структури та багаторічної динаміки атмосферного тиску на станціях Антарктиди.

Результати досліджень та їх аналіз. В якості вихідних даних для дослідження використано середньомісячні значення атмосферного тиску на станціях Антарктичного континенту Дейвіс, Сьова, Кейсі, Мак-Мердо, Восток, Амундсен Скотт та Академік Вернадський за період 1947-2024 рр., отримані з бази даних Британського Антарктичного центру.

Також при дослідженні особливостей великомасштабних циркуляційних процесів були використані дані масиву Era-intherim за 1959-2024 роки середньомісячних значень приземного атмосферного тиску, шаг сітки $2,5 \times 2,5^\circ$ ізобаричних поверхонь АТ-850 та АТ-500.

Розглянемо особливості полів середніх значень приземного атмосферного тиску для центральних місяців сезонів східного сектору Антарктиди. Поля середніх значень геопотенційних висот у всі місяці року є системами ліній, практично паралельних колам широт з градієнтом геопотенціалу, спрямованим від Південного полюса до екватора. На рис. 1 представлено поле середніх значень атмосферного тиску для липня. Як видно над більшою частиною регіону формується західний перенос, який посилюється у зимовий період за рахунок збільшення температурних контрастів між екватором і полюсом. Також добре відмічається пояс низького тиску навколо Антарктиди, з кліматичними циклонічними центрами над морями Ларсена, Співдружності та Росса.

У тепле півріччя зона великих меридіональних градієнтів звужується і простягається, між паралелями 40 і 60 півд.ш., рис. 2.

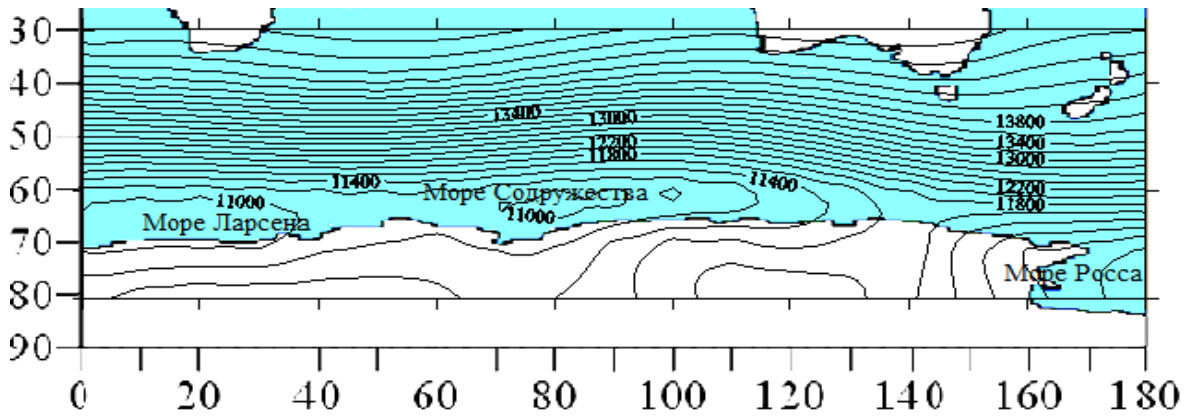


Рисунок 1 – Поле середніх значень атмосферного тиску в липні АТ-850

Зональна структура середніх полів геопотенційних висот порушується в субтропічній зоні південної півкулі: проявляються області високого тиску, які є південними краями Індійського, Південно-Атлантичного та Південно-Тихоокеанського максимумів.

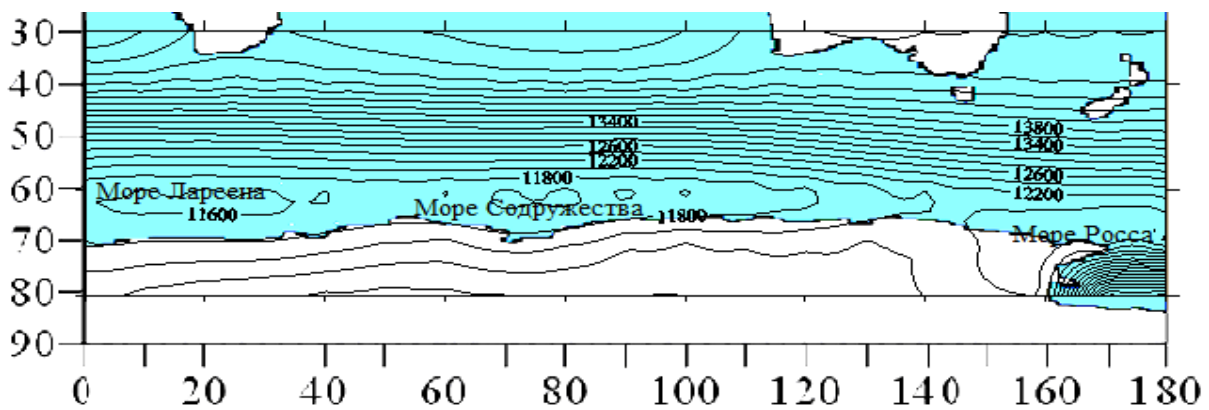


Рисунок 2 – Поле середніх значень атмосферного тиску в січні АТ-850

Також необхідно відзначити добре виражені три кліматичні центри дії атмосфери зниженого тиску: над морем Співдружності, який поєднується з центром над морем Ларсена, формуючи суцільну смугу зниженого тиску і третій центр з найбільшими градієнтами над морем Росса, що розташовується на південь від інших.

Структура середніх полів ізобаричних поверхонь на всіх висотах, що розглядаються, відображає той факт, що в тропосфері і нижній стратосфері південної півкулі в усі місяці року переважає західно-східний перенос, який стає більш інтенсивним в холодне півріччя.

Подалі розглянемо поля мінливості рис. 3. Найбільша мінливість геопотенціалу спостерігається вздовж 50-70° півд.ш., відбиваючи переважаючі траєкторії циклонічних вихорів, які переміщуються із заходу на схід під дією західно-східного перенесення.

Поля мінливості геопотенційних висот у всі місяці року мають подібну структуру на всіх поверхнях, що розглядаються. На північ від 40-45° півд.ш. ізолінії середніх квадратичних відхилень розташовані майже зонально зі зменшенням мінливості у бік тропічних широт.

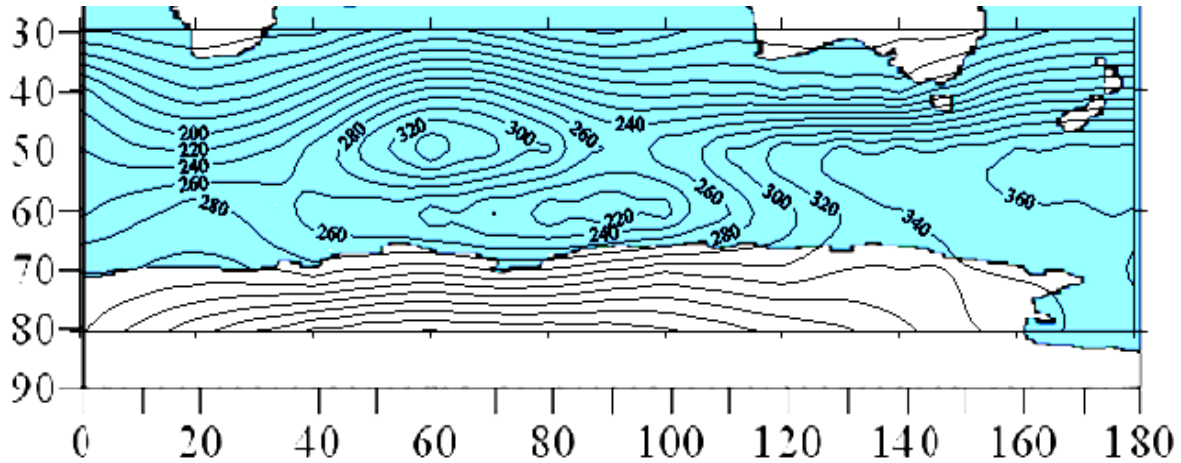


Рисунок 3 – Поле мінливості атмосферного тиску в січні АТ-850

У місяці літа утворюється пояс максимальних значень із низкою центрів. Вісь поясу максимумів нахилена від 50° півд.ш. на заході області до 60-70° півд.ш. на сході поблизу моря Росса.

Друга зона великих значень середніх квадратичних відхилень розташовується над сусідніми до узбережжя частинами південного континенту. Між цими зонами максимуму розташовується вузька смуга порівняно менших значень середньоквадратичних відхилень.

Північна зона максимуму мінливості обумовлена треками полярнофронтних циклонічних утворень, а південна – циклонами на антарктичному фронті. У зимові місяці спостерігається збільшення значень середньоквадратичних відхилень і розширення зони максимальної мінливості, що може бути обумовлено інтенсифікацією циклонічної діяльності в регіоні Південної полярної області.

Більшість метеорологічних величин являють собою нестационарні випадкові процеси. Багаторічні змінення характеру кліматоутворюючих факторів приводить до виникнення трендів, а також великомасштабних коливань. Для виявлення трендів та великомасштабних коливань проводиться процедура згладжування часових рядів.

У згладжених часових рядах атмосферного тиску на всіх станціях має місце добре виражені гармоніки з 2-5-річними періодами із змінною за часом амплітудою. Крім того, мають місце добре виражені тренди у бік зменшення інтенсивності коливань, особливо на станціях Мак-Мердо (рис.4).

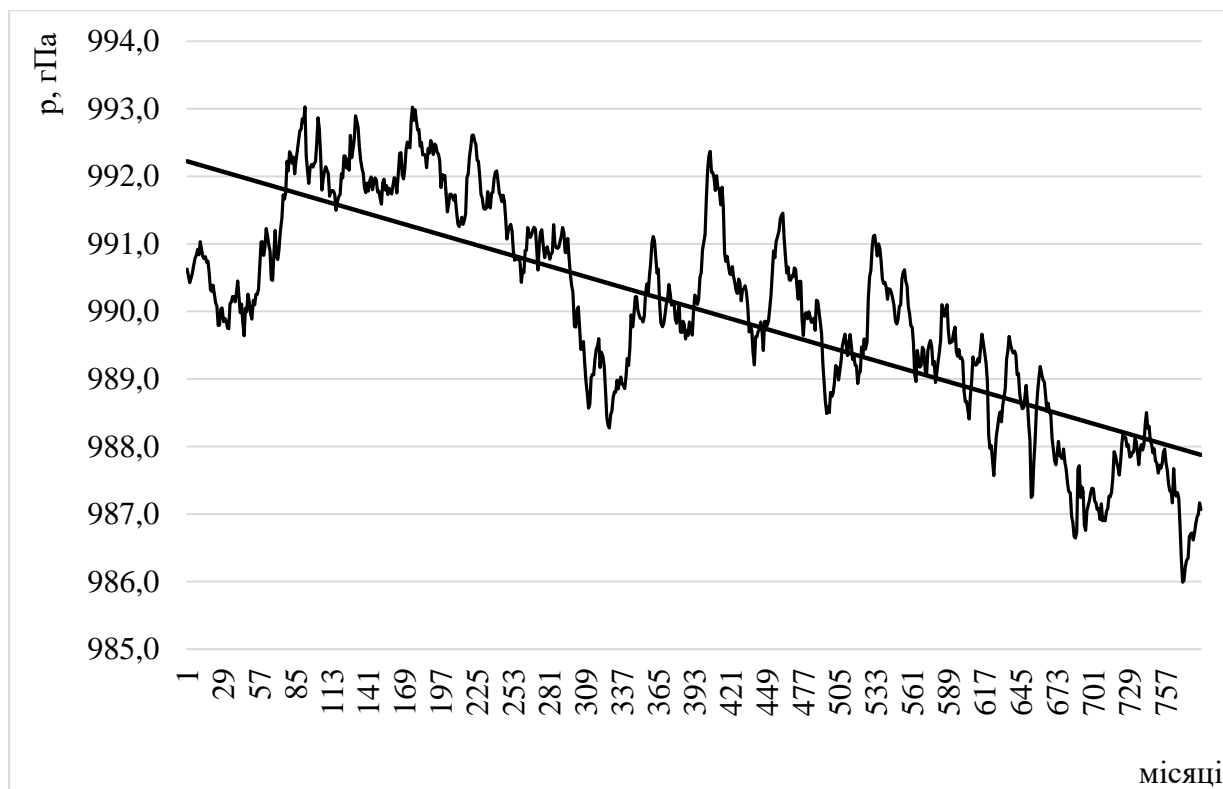


Рисунок 4 – Згладжений часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Мак-Мердо

Висновки: Причиною трендів зменшення амплітуди коливань атмосферного тиску на всіх станціях Антарктиди, що досліджуються, пов'язано з послабленням антарктичного антициклону та посиленням циркумпольного циклонічного вихору, може бути результатом потепління, що спостерігається в більшості регіонів нашої планети. Перебудова великомасштабних циркуляційних атмосферних процесів пов'язана зі змінами глобального клімату.

Перелік посилань

1. Галич Є.А., Прокоф'єв О.М., Рубель І.І. Динаміка температурного режиму антарктичного континенту. *Modern research in science and education*, Chicago, 2024 p. 173-180.

2. Martazinova V. Large-scale atmospheric circulation in southern extratropics and regional weather patterns at change at Antarctic Peninsula. Ukraine in Antarctica – National Priorities and Global Integration: int. *Antarctic Conference IAC2008 23-25 may 2008*: Kyiv, 2008.- P. 68.

3. Tomanek A.J, Mikolajczyk D.E., Lazzara M.A. Extreme Antarctic Cold of Late Winter 2023. *Advances in Atmospheric Sciences*, vol. 41, October 2024. - p. 1873–1880.

ДИНАМІКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ЗМІН КЛІМАТУ

Є. А. Галич, канд. геогр. наук, доцент
кафедра метеорології та кліматології
galich_eli@ukr.net

Актуальність дослідження: В процесі багаторічних досліджень протягом ХІХ-ХХ сторіччя було виконано значний обсяг робіт у вивченні клімату України. Виявлено особливості мікроклімату окремих територій, розроблені методики розрахунків характеристик мікроклімату за даними метеорологічних станцій. Температура повітря, є однією з основних метеорологічних величин, що визначає характер та режим погоди, а також впливає на різнобічну життєдіяльність людини.

У 2025 році кліматичні зміни в Україні продемонструють чітку тенденцію до потепління. Середньорічні температури зростуть на 1,0-1,5°C порівняно з багаторічною нормою, що стане черговим підтвердженням загальної тенденції останніх десятиліть. Особливо це відчуватиметься влітку, коли кількість спекотних днів з температурою понад 30°C значно збільшиться, а разом із ними частішими стануть екстремальні погодні явища - інтенсивні зливи, що будуть спричиняти локальні повені, особливо у західних та центральних областях країни.

Південні регіони України, зокрема Херсонська, Миколаївська та Одеська області, зіткнуться з серйозною проблемою тривалих посушливих періодів. Нестача опадів призведе до висихання ґрунтів, що негативно позначиться на сільському господарстві та може викликати дефіцит води в окремих районах. Ця ситуація особливо небезпечна для посівних культур і може потребувати додаткових зрошувальних заходів.

Мета роботи: дослідження особливостей структури полів та багаторічної динаміки приземної температури повітря в Одеській області.

Результати досліджень та їх аналіз: на території України розподіл температури повітря зумовлений географічним положенням, радіаційним режимом, циркуляцією атмосфери та підстильною поверхнею.

У зимовий період температурний режим формується під впливом циркуляції атмосфери і пов'язаної з нею адвекції повітря. Роль сонячної радіації послаблюється внаслідок зменшення висоти Сонця, тривалості дня та збільшення хмарності [1]. Влітку термічний режим визначається значною інтенсивністю сонячної радіації, слабкою адвекцією повітря та характером підстильної поверхні. Найбільші висоти Сонця і збільшення тривалість дня забезпечують інтенсивне прогрівання підстильної поверхні й повітря. Роль циркуляційних атмосферних процесів в цей період послаблюється.

Для дослідження в якості вихідних даних використані строкові спостереження приземної температури повітря на 11 станціях Одеської області Любашівка, Затишшя, Сербка, Роздільна, Одеса, Чорноморськ, Ізмаїл, Вилково, Сарата, Білгород-Дністровський, Болград за період 2000-2024 рр. [2, 3].

В результаті досліджень були отримані статистичні характеристики приземної температури повітря для станцій Одеської області. В липні на станції Білгород-Дністровський середньомісячні температури повітря найбільші ніж на інших станціях, що досягають $24,5^{\circ}\text{C}$, з максимумом $26,8^{\circ}\text{C}$. На станції Любашівка відмічаються найменші температури повітря, які не перевищують $24,8^{\circ}\text{C}$. Амплітуда температури на всіх станціях коливається в межах $4,0 - 4,9^{\circ}\text{C}$. В січні, найбільші значення спостерігаються на станції Вилково $5,1^{\circ}\text{C}$, а на станції Любашівка найменші $-8,0^{\circ}\text{C}$. Амплітуда температурних коливань змінюється в межах $8,8 - 10,6^{\circ}\text{C}$, що в двічі більша ніж влітку.

Для оцінки вразливості міста Одеса до теплового стресу можна використовувати групи індикаторів, що охоплюють соціальні, екологічні, кліматичні та інфраструктурні аспекти.

В часовому ряді середньомісячних температур повітря на станції Одеса (рис.1) спостерігається значне зростання температури з циклічністю 2-3 роки та 5 річні коливання, що може бути пов'язано з перебудовою циркуляційних атмосферних процесів

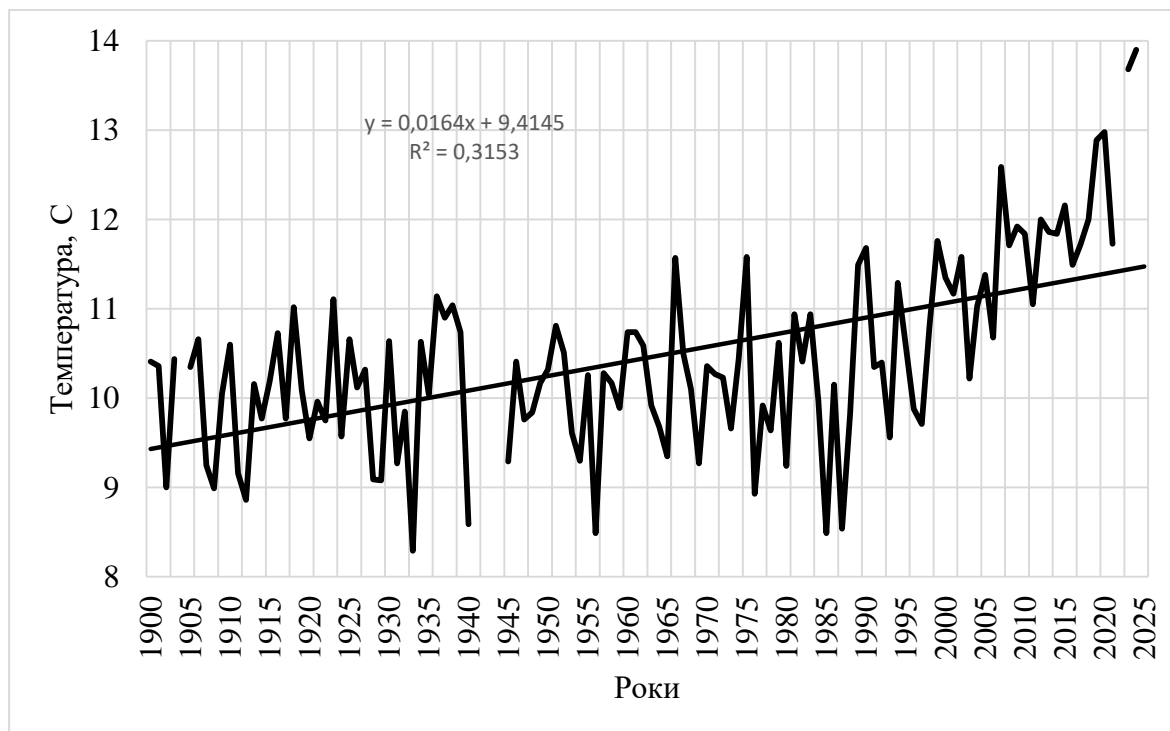
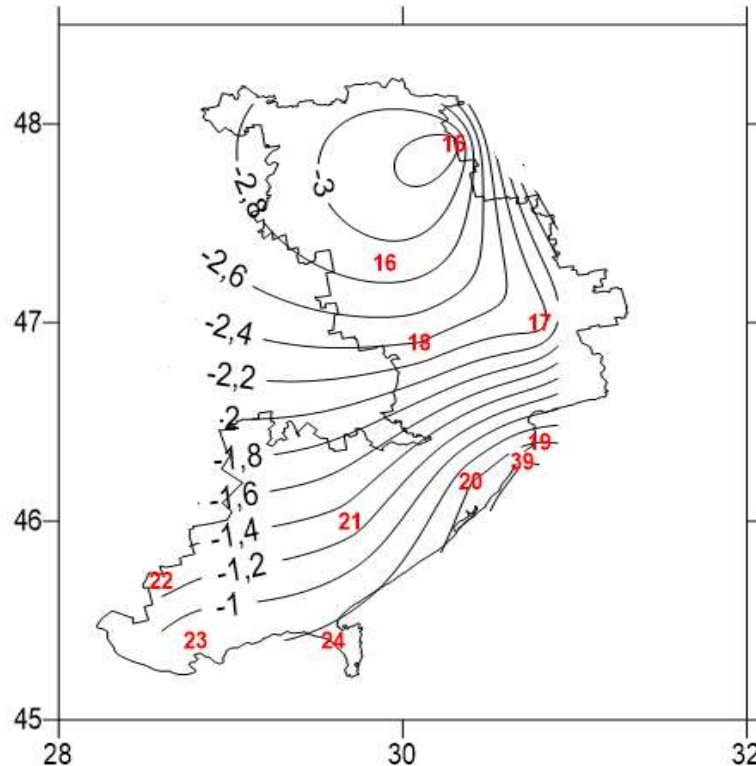


Рисунок 1 – Середньорічні температури повітря на станції Одеса

Для дослідження просторового розподілу температур повітря Одеської області розглянемо поле середніх значень температури повітря

для центрального зимового місяця (рис. 2). Як видно на півдні регіону ізотерми мають майже зональний розподіл, а на півночі формується замкнута область холоду з центром над станцією Любашівка. Також простежується незначний гребень тепла над південними прибереговими станціями – Одеса, Чорноморськ, Білгород-Дністровський, що обумовлений вторгненням більш теплого та вологого повітря з Чорного моря.



15-Любашівка, 16-Затишшя, 17-Сербка, 18-Роздільна, 19-Одеса, 39-Чорноморськ, 23- Ізмаїл, 24- Вилково, 21- Сарата, 20- Білгород-Дністровський, 22- Болград

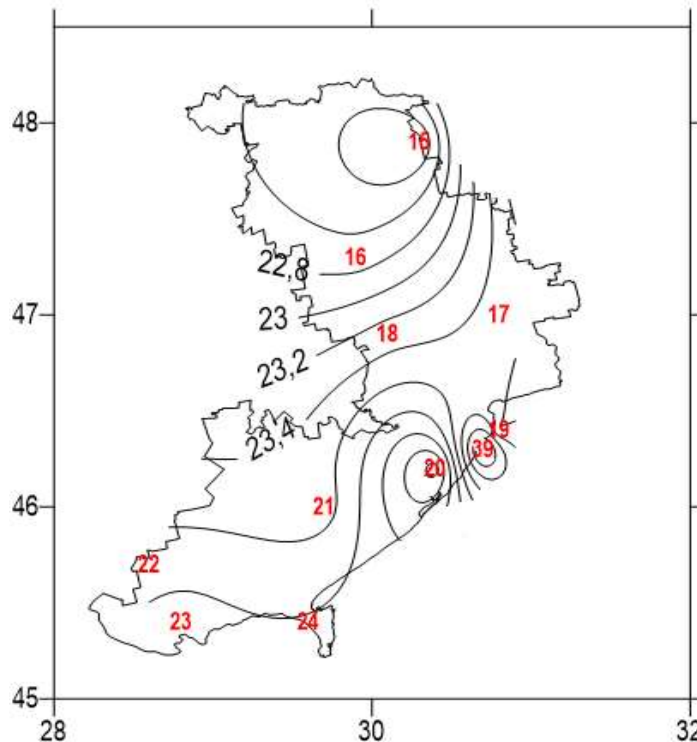
Рисунок 2 – Поле середніх значень температури повітря в січні на станціях Одеської області

На рис. 3 представлено поле середніх значень температури повітря для центрального місяця літнього сезону. Як видно, на півдні поле має вигляд двох незначних замкнутих областей високих температур з центрами над Білгород-Дністровським та Чорноморськом. Тоді як в північній частині регіону формується замкнута область відносно низьких температур з центром над Любашівкою.

Висновки: великі міста України зіткнуться зі збільшенням кількості так званих "тропічних ночей", коли температура повітря вночі не опускається нижче 20°C.

Зими будуть помітно м'якшими та малосніжними, особливо на півдні країни. Такі умови призведуть до зменшення снігового покриву, що

вплине на водний режим річок і може спричинити проблеми з водозабезпеченням навесні.



15-Любашівка, 16-Затишшя, 17-Сербка, 18-Роздільна, 19-Одеса, 20-Білгород-Дністровський, 21-Сарата, 22-Болград, 23-Ізмаїл, 24-Вилково

Рисунок 3 – Поле середніх значень температури повітря в липні на станціях Одеської області

Загалом, кліматичні зміни в Україні продемонструють усі характерні ознаки глобального потепління, що вимагатиме від влади та громадян адаптаційних заходів. Від ефективності цих заходів буде залежати, наскільки серйозними будуть наслідки цих змін для економіки, екології та здоров'я населення країни.

Перелік посилань

1. *Клімат України* / Під ред. В.М. Липінського.-Київ: Раєвського вид-во, 2003.- 335 с.

2. Галич Е.А., Ярова Г.С. Особливості температурного режиму на території Одеської області // *XXI Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії» 30 листопада 2019* // Збірник наукових праць, Переяслав. 2019. С. 15-19.

3. Галич Е.А., Ярова Г.С. Динаміка температурного режиму на півдні України // *II Международная научно-практическая конференция «Perspectives of World Science and Education» 30-31 жовтня, Осака, Японія* // Збірник наукових праць.– 2019. - С. 488-496.

РОЗВИТОК ВИНОГРАДАРСТВА В УКРАЇНІ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

В. Ю. Куришина, канд. геогр. наук, ст. викладач

Кафедра метеорології та кліматології

kuryshyna.88@gmail.com

А. В. Толмачова, канд. геогр. наук, доцент

Кафедра агрометеорології та агроекології

alla.tolmach@ukr.net

Актуальність досліджень. Виноградарство в Україні має багату історію та продовжує розвиватися, незважаючи на сучасні виклики. Завдяки клімату та різноманітності ґрунтів, Україна є перспективним регіоном для вирощування винограду та виноробства.

Найсприятливіші для вирощування всіх сортів винограду є широти 35-45° та висоти 200-400 м над рівнем моря. Важливу роль також грає рельєф місцевості. Виноградники, розміщені на рівнинах, зазвичай дають більш високі врожаї, ніж на схилах, проте дещо знижену якість, тому рівнинну частину необхідно відводити переважно під обробіток технічних і столових сортів. Якщо виноградники розташовані на виражених вододілах, облямовані балками або річковими долинами, завдяки хорошему водному та повітряному дренажу, нерідко дають продукцію підвищеної якості без зниження врожайності.

Територія Північно-Західного Причорномор'я є переважно акумулятивною рівниною із розвиненою річковою мережею, де абсолютні висоти поверхні змінюються від 150 м у північній частині до 45 м на південній межі території, тому найбільш сприятливими умовами для вирощування винограду в Україні є територія Північно-Західного Причорномор'я.

Зростання, розвиток, формування врожаю та якість винограду визначаються не лише сортом винограду, але кліматичними умовами території. Температурний режим впливає на формування рівня врожаю та хімічний склад винограду, тому для оцінки умов зимівлі та за вимогами сортів до сумарного тепла за вегетаційний період необхідне враховувати зміну кліматичних умов.

Вихідні дані. Кліматичні та агрокліматичні характеристики 3-х метеостанцій Причорноморського регіону: Ізмаїл, Одеса та Херсон за кліматичні періоди 1961-1990 і 1991-2020 рр.

Результати досліджень та їх аналіз. Умови теплозабезпечення визначаються співвідношенням теплових ресурсів території і потреби рослин у теплі, розрахованих за сумою температур вище 10 °С за період з цими температурами (САТ) і за період вегетації винограду.

Аналізуючи графіки активних температур, можна відзначити зменшення суми активних температур за перший період (1961-1990 рр.) та значне зростання за другий (1991-2020 рр.) на всіх станціях (рис.1). Кліматична норма САТ та їх період наведені в табл. 1. У другому періоді збільшилась не лише сума середньодобових температур вище 10 °С (приблизно на 300-350 °С), але й їх тривалість (на 6-10 днів).

Оптимальна температура для процесів фотосинтезу 10-30°C. Критичними вважаються температури повітря в період розвитку винограду вище 35 °С, коли листя в'яне, і нижче 16 °С, коли ягода стікає. На всіх станціях спостерігається збільшення днів температурою вище 35°C.

Також оцінювалось кількість днів з критичною температурою нижче -22°C. По всіх станціях, навпаки, кількість днів зменшується, а значить, зменшується ризик загибелі виноградника.

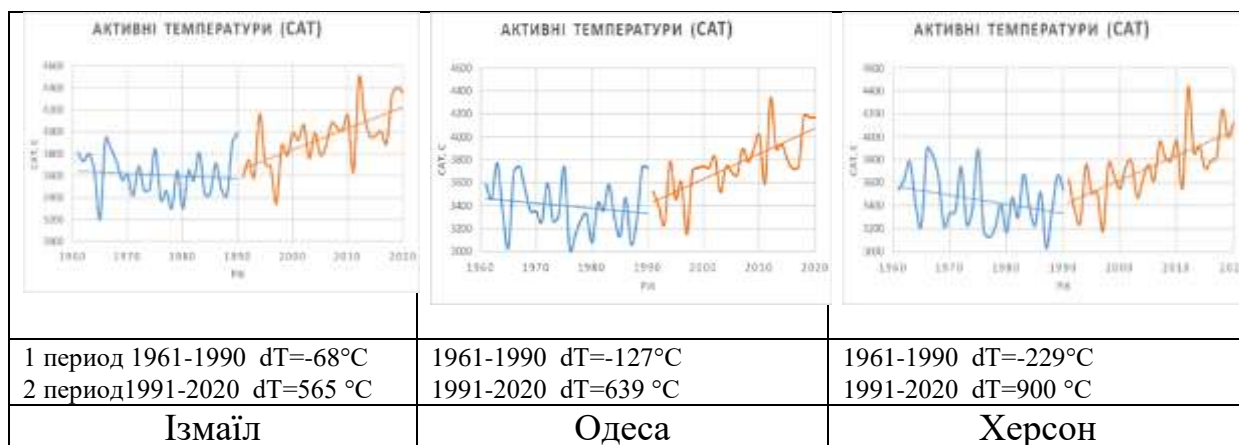


Рисунок 1 - Динаміка активних температур САТ

На початку та в кінці вегетації кущам винограду загрожують заморозки, які характеризуються зниженням мінімальних температур повітря до 0 °С і нижче, тому розраховували тривалість безморозного періоду як основного показника морозонебезпечності: порівняно з першим періодом за другий період характеризується збільшенням на 5-10 днів. Кліматична норма другого періоду коливається в межах 270-280 днів, найбільша кількість днів спостерігається в Одесі (293,2 доби).

Аналіз графіків опадів виявив тенденцію зниження їх кількості за 1 період та слабше падіння і навіть їх зростання (на станції Одеса) у 2 періоді. У Херсоні, навпаки, період 1961-1990 рр. характеризується зростанням тенденції, період 1991-2020 рр. – її падінням. Кліматична норма в 2 періоді, за винятком Ізмаїла, трохи перевищує перший, що говорить про збільшення вологовмісту Причорномор'я.

Кількість опадів змінюється в Ізмаїлі з 487 до 448 мм, а в Одесі та Херсоні зростає від 457 та 436 мм до 463 та 437 мм, відповідно (табл.1).

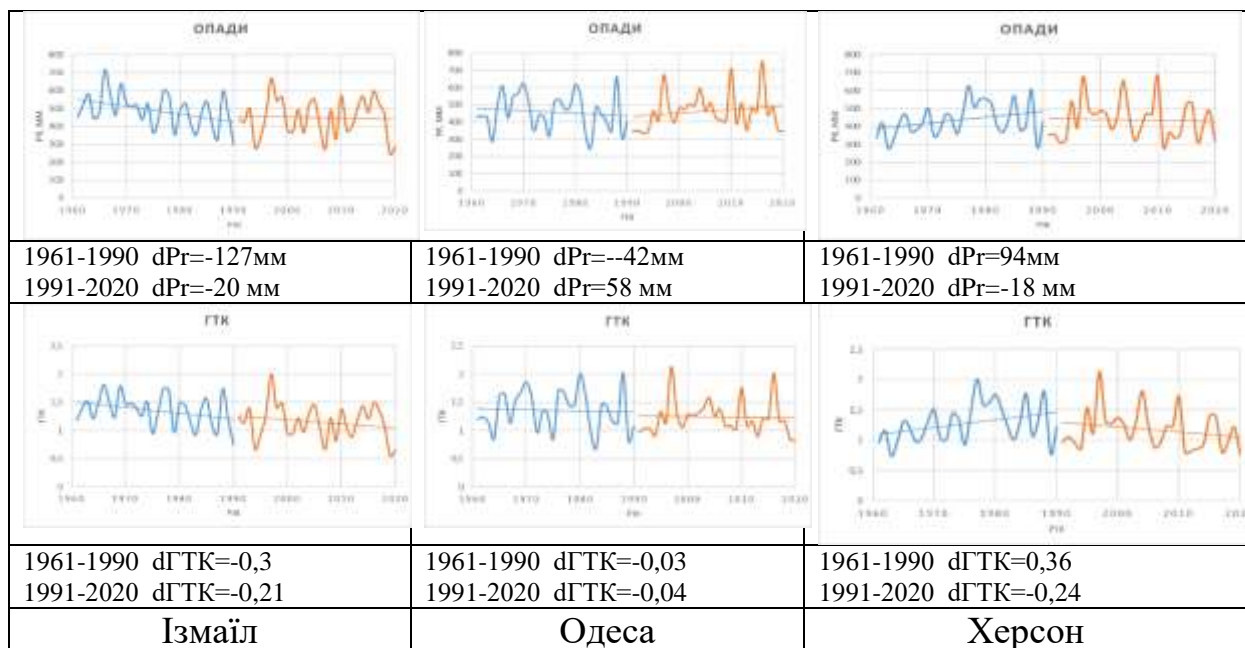


Рисунок 2- Динаміка опадів та гідротермічного коефіцієнту

Графіки зміни гідротермічного коефіцієнта із тенденціями повторюють графіки зміни кількості опадів, проте кліматична норма зменшується на всіх станціях з 1,4-1,3 до 1,1-1,2.

Таблиця 1 - Агрокліматичні характеристики Ізмаїлу, Одеси та Херсону

| Агрокліматичні характеристики | Ізмаїл | | Одеса | | Херсон | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1 період 1961-1990 | 2 період 1991-2020 | 1 період 1961-1990 | 2 період 1991-2020 | 1 період 1961-1990 | 2 період 1991-2020 |
| Опади (Pr), мм | 486,9 | 447,6 | 457,0 | 463,1 | 436,1 | 436,5 |
| | -39.3 | | 6.1 | | 0,4 | |
| Річна сума акт. тем- р САТ, їх період | <u>3608,6</u> 202 | <u>3944,5</u> 210 | <u>3398,2</u> 191 | <u>3755,2</u> 201 | <u>3448,3</u> 190 | <u>3740,8</u> 196 |
| | <u>335.9</u> 8 | | <u>357</u> 10 | | <u>292.5</u> 6 | |
| Безморозний період (Tсер>0°C) | 268,7 | 279,1 | 282,4 | 293,2 | 263,1 | 268,6 |
| | 10.4 | | 10.8 | | 5.5 | |
| ГТК | 1,4 | 1,1 | 1,4 | 1,2 | 1,3 | 1,2 |

Висновки. Територія за всіма агрокліматичними показниками Причорномор'я є найбільш сприятливою для вирощування винограду, а через глобальне зростання температури повітря з'являється можливість вирощувати більше сортів винограду та розширити зону розміщення виноградників.

ГРАДОВІ ПРОЦЕСИ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

О. М. Назжмудінова, канд. геогр. наук, доцент

Кафедра метеорології та кліматології

olena.nazhmudinova@onu.edu.ua

Глобальне потепління сприяє збільшенню нестійкості атмосфери і як наслідок – зростанню повторюваності та інтенсивності злив, грози, граду, шквалу, смерчів. Ці зміни значно посилились з кінця ХХ ст., що зумовлені збільшенням інтенсивності конвективних процесів внаслідок суттєвого підвищення температури повітря у нижній тропосфері та максимальної приземної температури у теплий період, яке супроводжується збільшенням вологовмісту атмосфери [2].

Антропогенна зміна клімату може вплинути на частоту та інтенсивність граду в майбутньому через різні фізичні механізми і масштаби. Передумовою досліджень граду є визначення впливу змін клімату на формування і повторюваність конвективних хмар, висхідних потоків, вертикальних зсувів вітру тощо. Такі причинно-наслідкові зв'язки є складними, існує певна невизначеність щодо зв'язку між регіональною зміною клімату та виникненням граду. Ця невизначеність ускладнює можливості точного моделювання та прогнозування утворення граду [3-4].

Інформацію про частоту та інтенсивність граду важко отримати через низьку ймовірність виникнення градових гроз у певному місці, також критичним обмеженням є відсутність поширених, стандартизованих та оперативних систем спостереження. Нині методи вимірювання та прогнозування градових хмар і сама фіксація явища потребують новочасних підходів – радіолокаторів різних видів, супутникового дистанційного зондування, супутникових мікрохвильових радіометрів, сучасних градомірів тощо. Для України такі системи на сьогодні є малодоступними і дослідження явища залишається спостережним, що породжує помилки, як у прогнозі, так і в обліку подій. Наприклад, спостерігачі можуть нечітко дотримуватися рекомендацій ВМО, які визначають град лише для діаметру більше 5 мм, а випадки крупини або замерзлого дощу також можуть вважатися градом. Ці обмеження роблять оцінку частоти граду на основі даних метеорологічних станцій дуже складною та сумнівною.

Дослідження спрямоване на необхідність розширення статистичної інформації щодо процесів градоутворення через низьку дискретність явища і його локальність. Розмір збитків від градобойв для різних галузей народного господарства і населення залежить від розміру градин, їх щільності та інтенсивності випадіння. На території України найчастіше спостерігається випадання дрібного інтенсивного граду. Кількість випадків крупного граду (СМЯ III) мала і з року в рік змінюється.

Протягом останніх десятиріч в Україні відмічається деяка тенденція до збільшення кількості небезпечного граду [1]. Проте розподіл явища по регіонах залишається мінливим і не дозволяє виділити єдиний тренд.

За досліджуване десятиріччя 2011-2020 рр. частота випадків з градом різних градацій від дрібного (\varnothing 1-5 мм) до стихійного ($\varnothing \geq 39$ мм) підкріплює типовий територіальний розподіл. Середні кліматичні показники виділяють нерівномірність випадіння граду по території України під впливом неоднорідності підстильної поверхні. У зону найбільшої повторюваності явища потрапляють західні області країни, де град кожного року фіксується на окремих станціях по кілька разів. За період дослідження це Закарпаття, Івано-Франківська, Тернопільська, Львівська області. Разом з цим, Волинь, Рівненська і Чернівецька область вказує на малу повторюваність граду (в окремі роки відсутність). Також висока частка граду припадає на східні області, зокрема Харківщину (від 2015 р. частина сходу країни не покрита даними через збройну агресію рф). Такий розподіл зберігається як для дрібного граду так і стихійного.

Водночас отримано деяку нову тенденцію територіального розподілу (для однозначного висновку необхідний більший часовий ряд безперервних даних). По-перше, це зростання повторюваності граду на півдні України. Як відомо з кліматичного розподілу, загальним твердженням є те, що вплив бризової циркуляції зменшує ймовірність градових процесів. Останнє десятиліття вказує на суттєве збільшення повторюваності граду на Одещині і Херсонщині, як за даними метеостанцій в середині області, так і розташованих у безпосередній близькості до моря (до 10-15 випадків з градом по області). Але здебільшого це дрібний град або небезпечний (до 19 мм у діаметрі). При цьому Миколаївщина має низьку повторюваність граду. По-друге, відмічається зростання повторюваності граду на півночі країни за даними Житомирської, Київської, Чернігівської і Сумської областей (між областями чітка перевага не виявляється). Цей результат якраз є наслідком кліматичних змін і підвищення температури повітря у північному регіоні країни в останні десятиріччя, що посилює розвиток активної конвекції. Цікавим є факт, що частка стихійного граду ($\varnothing \geq 39$ мм СМЯ II) також зросла у північних областях. Для центру країни найнижча частка граду на Вінниччині та Полтавщині.

Стихійний (СМЯ II) і надзвичайний град (СМЯ III) спостерігався найчастіше на заході країни в окремі роки на Львівщині і Закарпатті, в окремі роки – на сході і півночі країни.

Місячна повторюваність граду також вказує відмінні від кліматичного розподілу дані, пов'язані з підвищенням температури повітря восени та навесні в окремі роки. Так, чітко виділяється збільшення частки граду у квітні й травні. При цьому в окремі роки (2014, 2016) травнева повторюваність граду перевищує літню за весь сезон; а квітнева частка

граду перевищує травневу (2015). У квітні також часом фіксувався небезпечний град. Восени град хоча і має низьку повторюваність, проте виокремлюються градові процеси у жовтні, до того ж у другу половину місяця (переважно дрібний град, подекуди НМЯ I). У вересні реєструвалися поодинокі випадки граду з року в рік.

Часовий розподіл граду є типовим з переважанням явища у післяполудневі та надвечірні години при досягненні максимальної температури повітря й посиленні конвективних процесів. В окремі роки град подекуди відмічався вночі у строки 00-03 год та з 21 до 00 год. Як правило, такий час формування граду вказує на певні синоптичні процеси, зокрема фронтальну діяльність – проходження холодних фронтів.

Аналіз циркуляційних процесів формування граду вказує, що у більшості випадків явище виникало у системах холодних фронтів або на передфронтальних (перед ХФ) лініях нестійкості. Часто спостерігався внутрішньомасовий град, при цьому в окремих випадках формувалася потужна купчасто-дощова хмарність за типом суперкомірок на сході, заході і півночі країни. Тип синоптичної ситуації з року в рік вказує на мінливість, що пов'язане з температурним режимом сезонів, зокрема пізніми чи ранніми перебудовними процесами навесні і восени. Також на повторюваність і градоутворення впливало домінування антициклонічного поля, зокрема блокувальних процесів теплого періоду, що не сприяло високому вологовмісту атмосфери. Наприклад, зменшення частоти граду у липні-серпні окремих років зумовлена хвилями тепла, повторюваність й інтенсивність яких зросла в останні десятиріччя на території всієї Європи (2015, 2018, 2019).

Слід зазначити, що на процеси градоутворення в останнє п'ятиріччя 2021-2025 рр. крім кліматичного ефекту можуть впливати військові дії на території України через збільшення аерозолів навколишнього середовища, які необхідні для формування гідрометеорів при формуванні граду.

Перелік посилань

1. Татарчук О. Г., Корж Т. В. Особливості розподілу крупного граду в Україні на рубежі ХХ-ХХІ століть. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 3. С. 159-160. http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2019_3_80
2. Balabukh V., Lavrynenko O., Bilaniuk V. et al. Extreme Weather Events in Ukraine: Occurrence and Changes. *Extreme Weather. InTech*. 2018. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77306>.
3. Kim M. H., Lee J., Lee S.-J. Hail: Mechanisms, Monitoring, Forecasting, Damages, Financial Compensation Systems, and Prevention. *Atmosphere*. 2023. Vol. 14, 1642. <https://doi.org/10.3390/atmos14111642>
4. Raupach T. H., Martius O., Allen J. T. et al. The effects of climate change on hailstorms. *Nat. Rev. Earth. Environ.* 2021. Vol. 2. P. 213-226. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00133-9>

ДИНАМІКА ФОРМУВАННЯ СНІГОВОГО ПОКРИВУ В ОДЕСЬКОМУ РЕГІОНІ ЗА РІЗНІ КЛІМАТИЧНІ ПЕРІОДИ

Л. В. Недострелова, канд. геогр. наук, доцент

Кафедра метеорології та кліматології

nedostrelova@ukr.net

Сніговий покрив утворюється в результаті акумуляції снігу на ґрунті в процесі відкладення твердих опадів (сніжинки, крижаний дощ, іній і ожеледь), випадання дощу, коли більша частина опадів згодом замерзає, а також відкладення домішок. Акумуляція і абляція снігового покриву залежать головним чином від атмосферних умов і стану земної поверхні. Визначальними атмосферними процесами служать випадання опадів, їх відкладення, конденсація, турбулентний тепло- і вологообмін, радіаційний баланс і рух повітряних мас, особливості рельєфу, що впливають на хід атмосферних процесів і створення вітрової тіні. Сніговий покрив утворюється в результаті снігопадів і має характеристики, різко відмінні від тих, що спостерігалися в момент випадіння снігу. Температура в момент сніговідкладання впливає на вологість, твердість і структуру щойно випавшого снігу і, отже, на його стійкість при вітрової дефляції. Основними характеристиками снігового покриву є – висота і щільність. Висота залежить від кількості опадів і вимірюється у см. Щільність снігового покриву змінюється у значних межах і залежить від часу тривалості. Висота і щільність снігового покриву використовується для визначення запасу води на площах басейнів річок і розробки прогнозних даних [1-5].

Сніговий покрив є одним з найважливіших кліматичних показників, що впливає на водний баланс, аграрний сектор, гідрологічний режим річок, а також на екосистеми.

Спостереження за ступенем вкритості снігом видимої околиці метеостанції, характером залягання снігового покриву на місцевості провадять з постійної найвищої точки поблизу метеомайданчика; вимірювання висоти снігового покриву на метеомайданчику або на вибраній ділянці поблизу метеомайданчика. Ступінь вкритості снігом видимої околиці станції оцінюють у балах за 10 бальною шкалою. Характер залягання снігового покриву оцінюють за наявністю заметів снігу (рівномірний – замети відсутні, нерівномірний – наявність невеликих заметів, дуже нерівномірний – великі замети), а також за станом ґрунту під

сніговим покривом (мерзлий, талий або стан невідомий). Висоту снігового покриву на метеомайданчику визначають за стаціонарними снігомірними рейками, встановленими на метеомайданчику або поблизу нього. Висоту снігового покриву визначають як відстань від поверхні ґрунту до межі сніговий покрив-атмосфера [1, 6].

Клімат Одещини вологий, помірно континентальний. У цілому клімат поєднує риси континентального і морського. Зима м'яка, малосніжна і нестійка; середня температура січня від -2°C на півдні до -5°C на півночі. Для весни характерні похмура погода, тумани у зв'язку з охолоджуючим впливом моря. Літо переважно спекотне, сухе; середня температура липня від 21°C на північному заході до 23°C на півдні, максимальна до $36-39^{\circ}\text{C}$ (в останні роки і більше). Осінь тривала, тепліше весни, в основному хмарна. Середньорічна температура коливається від $8,2^{\circ}\text{C}$ на півночі до $10,8^{\circ}\text{C}$ на півдні області. Загальна сума опадів 340-470 мм на рік, головним чином випадають влітку (часто у вигляді злив). Число годин сонячного сяйва приблизно 2200 на рік. Тривалість вегетаційного періоду 168-210 діб із загальною сумою температур від 28°C до 34°C . Взимку переважають північні і південно-західні вітри, влітку - північно-західні і північні. Південна половина області схильна до посух, курних бурь, суховіїв.

Чорне море та лікувальні грязі Куяльницького лиману створюють винятково високий рекреаційний потенціал Одещини. У пониззі великих річок (Дунай, Дністер) і лиманів, на морських узбережжях і в шельфовій зоні розташовані високоцінні й унікальні природні комплекси, водно-болотні угіддя, екосистеми, що формують високий біосферний потенціал регіону, який має національне і міжнародне значення. Природні умови сприятливі для вирощування озимої пшениці, кукурудзи, ячменю, проса, соняшнику [7].

Фізичні параметри стану атмосфери та гідросфери, Землі складають гідрометеорологічну інформацію. Знання комплексу відповідних статистичних алгоритмів та вміння правильно їх використовувати при аналізі цієї інформації допоможе рішенню актуальних питань утворення, змінення та прогнозування гідрометеорологічних процесів. Ясно, що емпіричні дослідження в гідрометеорологічних науках мають першорядне значення. На їх основі встановлюються закономірності, які притаманні певним характеристикам атмосфери чи гідросфери. Емпіричні дані є критеріями істинності закономірностей, рівнянь гідродинаміки, особливостей атмосферних чи гідрологічних процесів та тому інше. Таким

чином, гідрометеорологічна інформація має важливі особливості, які обумовлюються характером процесів, що спостерігаються в цих сферах Землі. Кожний фізичний параметр атмосфери чи гідросфери залежить один від одного, а також від зовнішніх впливів і випадковим чином змінюється за часом та у просторі, утворюючи випадкові поля або послідовності.

Обробка і аналіз систем випадкових величин проводиться за допомогою спеціально розробленого апарату досліджень, що складає методи математичної статистики [8].

Для характеристики висоти снігового покриву обчислюють середні значення її не для місяців, а для декад зимових місяців. Ці величини на початку і в кінці зими розраховуються тільки в тому випадку, коли сніговий покрив спостерігався більш ніж у 50 % всіх зим. Середню величину за декаду дістають діленням сумарної висоти за всі роки вибраного періоду на кількість років. Коли ж сніг спостерігався менш, ніж у 50% зим, то середню висоту за таку декаду не розраховують. При цьому прийнято в таблицях довідника ставити умовний значок (•) [9].

Метою дослідження є визначення особливостей формування снігового покриву на території Одеської області в умовах кліматичних змін. Вихідна інформація: дані кліматичних кадастрів за два періоди 1961-1990 і 1991-2020 рр. [10, 11]. Для аналізу обрано станції Любашівка і Ізмаїл, що знаходяться на півночі і півдні області відповідно. А також Одеса і Роздільна – станції, що за своїми погодними і кліматичними умовами типові для узбережжя і континенту.

Середні дати появи снігу визначено в третій декаді листопада для станцій Любашівка і Роздільна, в Одесі – це перша декада, в Ізмаїлі – друга декада грудня. Середні дати сходу снігу на всіх станціях спостерігаються протягом березня у всіх трьох декадах. Стійким вважається сніговий покрив, що зберігається протягом не менше 30 днів з можливими перервами від 1 до 3 днів. Тільки для Любашівки розраховано середні дати. Такий показник розраховується тільки в тому випадку, коли стійкий сніговий покрив спостерігається більше ніж у 50 % зим за період дослідження. Відсутність стійкого покриву на станції Любашівка становить всього 23 %.

Загалом простежується тенденція до раннішою появи снігу тільки на станції Ізмаїл. Схід снігового покриву на всіх досліджених станціях за винятком Одеси відбувається на декаду пізніше в періоді 1991-2020 рр. в порівнянні з кліматичною нормою 1961-1990 рр. Можемо зробити

висновок, що тривалість залягання снігового покриву в Одесі зменшується, на інших станціях – збільшується.

Перелік посилань

1. Недострелова Л. В. *Особливості формування снігового покриву на території центральної і південної України в умовах сучасних змін клімату*: монографія. Одеса: ОДЕКУ, 2022. 138 с.

2. Подолук Д. В., Недострелова Л. В. Аналіз просторово-часового розподілу снігового покриву в Одеському регіоні. *Збірник наукових праць з матеріалами V Міжнародної наукової конференції «Інновації та науковий потенціал світу»*, м. Умань, 25 жовтня, 2024 р. С. 627-630. ISBN 978-617-8440-18-3

3. Недострелова Л. В., Подолук Д. В. Сніговий покрив і його вплив на перезимівлю озимих культур на півдні України в умовах потепління клімату. *Відновлення природно-ресурсного потенціалу та стійкості екосистем*: колективна монографія; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава: Видавництво ПП «Астроя», 2023 р. С. 69-75.

4. Nedostrelova L. Dynamics of snow cover in the Kirovohrad region at the end of the XX and the beginning of the XXI centuries. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2021/30(1). Дніпро. С. 133-144.

5. Корнус А. О., Лисенко І. О. Характеристика снігового покриву Сумської області за результатами спостережень 2005-2017 років. *Географічні науки*. 2017. Випуск 8. С. 3-6.

6. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина І. Метеорологічні спостереження на станціях. *Державна гідрометеорологічна служба*. Київ, 2011. 280 с.

7. https://ecology.od.gov.ua/wp-content/uploads/old-files/ecology_portal/doc/zviti/ekolog_chnij_pasport_2019_roku.pdf

8. Школьнік Є. П., Гончарова Л. Д., Миротворська Н. К. *Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації* (збірник задач і вправ): Навчальний посібник. Одеса, 2000. 420 с.

9. Врублевська О. О., Катеруша Г. П., Миротворська Н. К. *Кліматична обробка окремих метеорологічних величин*. Навчальний посібник. Одеса, «ТЕС», 2004. 150 с.

10. *Кліматичний кадастр України (стандартні кліматичні норми за період 1961-1990 рр.)*. Державна гідрометеорологічна служба та ін. УНДГМІ-ЦГО, Київ, 2006. Електронний ресурс.

11. *Кліматичний кадастр України (стандартні кліматичні норми за період 1991-2020 рр.)*. Державна гідрометеорологічна служба та ін. УНДГМІ-ЦГО, Київ, 2021. Електронний ресурс.

СТАТИСТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ КЛІМАТО-ГЕОГРАФІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗПОДІЛУ ОПАДІВ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

О. М. Прокоф'єв, канд. геогр. наук, доцент

Л. Д. Гончарова, канд. геогр. наук, доцент

Кафедра метеорології та кліматології

leggg0707@gmail.com

Проблема зміни клімату – найбільш актуальна проблема сучасності. Вона стосується як метеорологів, кліматологів, так і вчених інших напрямів, тому що має не тільки науковий та практичний інтерес, але й соціально-економічний. На зараз проблема зміни клімату знаходиться на вищому рівні глобальних викликів ХХІ століття і пріоритетів міжнародної політики, та світі вона розглядається як одна з ключових складових національної безпеки в довгостроковій перспективі [1-5].

Кліматологічний аналіз багаторічного режиму атмосферного тиску (через, так звані, центри дії атмосфери) набуває особливого значення у зв'язку з широкими дослідженнями атмосферної циркуляції в глобальному масштабі, особливості якої створюють метеорологічні та кліматичні зміни в багатьох районах нашої планети і України, зокрема [6].

За своїм географічним положенням та станом довкілля південь України є тією територією, для якої соціально-економічні наслідки зміни клімату можуть бути незворотними. Тому перед науковою спільнотою постає задача вивчення причин, які призводять до цих змін, для передбачення майбутнього стану фізичних параметрів найбільш рухомих ланок кліматичної системи [7].

Результати наукової роботи підготовлено за тематикою науково-дослідних робіт кафедр факультету Гідрометеорології і екології Одеського національного університету імені І. І. Мечникова: «Комплексний метод ймовірносно-прогностичного моделювання екстремальних гідрологічних явищ на річках Півдня України для забезпечення сталого водокористування в умовах кліматичних змін» (№ДР 0121U010964); «Районування території України за ступенем вразливості до зміни клімату та вибір оптимальних шляхів адаптації» (№ДР 0125U001204).

Для реалізації наукових задач застосовано статистичний підхід до обробки та аналізу емпіричних даних, що включає обґрунтований вибір статистичних показників і методів, за допомогою яких здійснюється визначення просторово-часових масштабів полів опадів, їх структурних характеристик та варіабельності. Для задоволення потреб практики з відомих кліматичних характеристик опадів проаналізована їх кількісна оцінка. Використано інформацію про місячні зимові (грудень, січень, лютий), весняні (березень, квітень, травень), літні (червень, липень,

серпень), осінні (вересень, жовтень, листопад) суми опадів; їх суми за теплий (квітень-жовтень) та холодний (листопад-березень) періоди на 53 метеорологічних станціях чотирьох областей України (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька) та Автономної Республіки Крим з кліматичного Кадастру України за два періоди: I – 1961-1990 рр. [8] та II – 1991-2020 рр. [9]. Крім того, залучена база емпіричних даних щодо кількості атмосферних опадів за всі місяці року на мережі 40 станцій України, рівномірно розташованих по її території, та кліматичні індекси великомасштабної взаємодії за полем тиску – індекс Північно-Атлантичного (NAO) і індекс Північноморського-Каспійського (NCP) низькочастотних коливань за всі місяці року періоду 1961-2006 рр.

Реалізація комплексного статистичного підходу до вирішення задач клімато-географічних особливостей розподілу кількості атмосферних опадів на півдні України та їх зв'язку з європейсько-середземноморськими та північноатлантичними макропроцесами проводилася з залученням методів просторово-часового узагальнення даних, методів багатовимірного статистичного аналізу (кластерний, кореляційний, компонентний), картографічного аналізу та методів дослідження нестационарних випадкових процесів [10, 11].

Використання еквідистантних емпіричних даних дозволило здійснити об'єктивну кластеризацію (районування) території України за кількістю опадів, отримати регіональні статистичні моделі у вигляді картосхем та проаналізувати узагальнені кластери, які представлені часовими рядами середніх векторів. Досліджена статистична структура (трендова та періодична складові) часових рядів середніх векторів узагальнених кластерів місячної кількості опадів для південних районів України, яка дозволила визначити майбутні тенденції в полях опадів на найближчі двадцять-тридцять років.

При вивченні взаємозв'язків у кліматичній системі, необхідно долучати різні статистичні характеристики, зокрема значення та знаки коефіцієнтів кореляції. Авторами для дослідження впливу північноатлантичних та європейсько-середземноморських макропроцесів на розподіл місячної кількості опадів по території України, залучали кореляційний аналіз. Проаналізовані вірогідні (визначені з імовірністю 90%) парні коефіцієнти кореляції для статистичних зв'язків між Північноморським-Каспійським, Північно-Атлантичним коливаннями та місячною кількістю атмосферних опадів, на основі яких побудовані картосхеми кліматичних відгуків на територіях Одеської, Миколаївської, Херсонської, Запорізької областей та Автономної Республіки Крим [10-12].

Отримані наукові результати відображені у монографії [12]. Зокрема, використання статистичних підходів, на наш погляд, сприятиме глибшому розумінню природи метеорологічних явищ і створенню надійних методів їх прогнозування, а реалізовані принципи комплексного статистичного

аналізу та отримані результати можуть бути застосовані для ідентифікації трансформацій регіонального клімату, а також при побудові фізико-статистичних моделей кліматичних прогнозів, які мають важливе значення для забезпечення сталого розвитку України в умовах глобальних кліматичних змін.

Перелік посилань

1. IPCC: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / V. Masson-Delmotte et. al. Cambridge: *Cambridge University Press*, 2021. 2391 p. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
2. IPCC. Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge: *Cambridge University Press*, 2023. P. 1767-1926. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>.
3. IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: *Cambridge University Press*, 2022. 3056 p. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
4. IPCC. Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. IPCC, 2023. P. 35-115. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.
5. Europe. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability / B. Bednar-Friedl et. al. Cambridge: *Cambridge University Press*, 2022. P. 1817-1927. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.015>.
6. Гончарова Л.Д., Серга Е.М., Школьний Є.П. *Клімат і загальна циркуляція атмосфери*: навч. посіб. К.: КНТ. 2005. 251 с.
7. Гончарова Л.Д., Прокоф'єв О.М. [Електронний ресурс]. *Динаміка окремих показників атмосферних опадів Півдня України у період 1961-2020 роки*: монографія. Одеса: 2024. 212 с. <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/13060>.
8. *Стандартні кліматичні норми (1961-1990 рр.)*. Київ: 2002. 446 с.
9. *Стандартні кліматичні норми (1991-2020 рр.)*. Надані ГМЦ ЧАМ. (З наказу НС-36/99 від 20.04.21 р.).
10. Гончарова Л.Д., Школьний Є.П. *Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач і вправ)*: навч. пос. Одеса: *Екологія*, 2007. 464 с.
11. Гончарова Л.Д. *Методи багатовимірного статистичного аналізу метеорологічних полів та атмосферних процесів*: навч. посіб. Одеса: *ТЕС*. 2016. 196 с.
12. Прокоф'єв О.М., Гончарова Л.Д. [Електронний ресурс]. *Статистичний підхід до вирішення задач клімато-географічних особливостей розподілу опадів на півдні України*: монографія: присвяч. 160-й річниці Одес. нац. ун-ту ім. І. І. Мечникова. Одеса: 2025. 169 с. <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/42222>

ВІТРОВИЙ РЕЖИМ БУХТИ ПОТТЕР-КОУВ У СВІТЛІ ЗМІНИ КЛІМАТУ

О. М. Прокоф'єв, канд. геогр. наук, доцент

Л. Д. Гончарова, канд. геогр. наук, доцент

В. А. Чернишов, аспірант

Кафедра метеорології та кліматології

leggg0707@gmail.com

Вступ. Глобальна зміна клімату істотно впливає на динаміку атмосферних процесів у прибережних регіонах світу. Одним із найбільш чутливих параметрів до глобального потепління є вітровий режим, оскільки він безпосередньо пов'язаний з інтенсивністю циклонічної діяльності, зміною температурних градієнтів та особливостями циркуляції повітряних мас. Бухта Поттер-Коув, розташована в південно-західній частині острова Кінг-Джордж в архіпелазі Південних Шетландських островів в Антарктичному регіоні, і є унікальною природною лабораторією для дослідження цих процесів. Її географічне положення, рельєфні особливості та специфічні метеорологічні умови роблять територію чутливою до навіть незначних кліматичних коливань.

Вивчення вітрового режиму в бухті Поттер-Коув має важливе значення не лише для кращого розуміння локальних атмосферних процесів, але й для оцінки ширших тенденцій кліматичної системи Антарктики. Аналіз сучасних змін у характері та інтенсивності вітрів дозволяє відстежити можливі наслідки для екосистеми регіону, динаміки льодовикових мас та безпеки дослідницької інфраструктури. У цьому дослідженні розглянуто основні риси вітрового режиму бухти та його зміни в умовах сучасного глобального підвищення температури.

Матеріали та методи. В якості вихідних даних використовувались середньомісячні значення характеристик приземного вітру (напрямок та швидкість), виміряні на антарктичній станції Джубані, яка розташована в бухті Поттер-Коув, отримані з бази даних Британського Антарктичного центру. Період дослідження дорівнює періоду останньої кліматичної норми (1991-2020 рр.).

У роботі використано комплекс методів статистичного та кліматологічного аналізу. Початкові ряди даних було піддано базовій статистичній обробці, що включала визначення середніх значень, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, коефіцієнтів ексцесу та асиметрії. Для встановлення напрямку та інтенсивності довгострокових змін застосовувався трендовий аналіз, який передбачав побудову лінії тренду на згладженому ряді. При згладженні вихідних рядів використовувались приховані періодичності.

Результати. На першому етапі дослідження були розраховані статистичні характеристик приземної швидкості вітру. Аналіз табл. 1 дозволяє стверджувати, що в районі дослідження максимальні швидкості вітру фіксуються наприкінці антарктичної зими – на початку весни (серпень, вересень, жовтень) та відповідно складають 10,4-10,8 м/с. Мінімальні значення швидкості вітру фіксуються влітку – грудень-січень (8,5 та 7,8 м/с відповідно). Середня за рік швидкість вітру складає 9,5 м/с. Середньоквадратичні відхилення досягають максимальних значень в зимовий період, що може бути пов'язане з адвективним характером погоди в цей період року. Асиметрія переважно правостороння ($A_s > 0$), з переважанням високих значень. Експес вказує на змішаний тип розподілів: від плосковершинних до гостровершинних залежно від сезону.

Таблиця 1 – Статистичні характеристики приземної швидкості вітру на станції Джубані

| Хар-ка | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Рік |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|
| $V_{\text{ср}}$ | 7,8 | 8,8 | 9,5 | 9,4 | 9,6 | 9,8 | 9,5 | 10,4 | 10,8 | 10,5 | 9,5 | 8,5 | 9,5 |
| V_{min} | 5,8 | 6,1 | 6,9 | 6,8 | 6,8 | 6,9 | 6,2 | 6,1 | 6,9 | 7,2 | 6,2 | 4,3 | 8,0 |
| V_{max} | 10,7 | 11,6 | 11,7 | 12,7 | 12,7 | 14,7 | 13,8 | 15,4 | 14,6 | 14,9 | 13,2 | 13,2 | 11,9 |
| S_x | 1,31 | 1,50 | 1,05 | 1,49 | 1,49 | 1,84 | 1,95 | 2,34 | 1,74 | 1,73 | 1,89 | 2,03 | 0,94 |
| A_s | 0,43 | 0,24 | -0,06 | -0,01 | 0,09 | 0,72 | 0,13 | 0,19 | 0,31 | 0,59 | 0,03 | 0,20 | 0,92 |
| E | -0,27 | -0,48 | 0,26 | -0,41 | -0,35 | 0,18 | -0,44 | -0,34 | 0,94 | 0,60 | -1,00 | 0,07 | 0,47 |

Перейдемо до аналізу трендової складової приземної швидкості вітру (табл. 2), розрахованої за тридцятирічний період (1991-2020 рр.).

Таблиця 2 – Трендова складова приземної швидкості вітру (м/с) на станції Джубані

| Хар-ка | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Рік |
|--------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| тренд | -1,9 | -2,0 | 0,0 | 0,2 | -0,6 | -0,1 | -1,1 | -2,8 | -1,2 | -2,2 | -0,3 | -1,8 | -1,0 |

Аналіз таблиці 2 дозволив встановити тенденцію до зменшення приземної швидкості вітру на станції Джубані за досліджуваний період протягом більшості місяців року, виключення становить березень (тренд 0,0 м/с) та квітень (тренд 0,2 м/с). Решта місяців року представлені від'ємними трендами, які коливаються в межах від -0,1 (червень) до -2,8 м/с (серпень). Середньорічна швидкість вітру зменшилась на 1 м/с. Тобто, за останні тридцять років на стації Джубані швидкість вітру істотно зменшилась, місяцями майже на 3 м/с.

Проаналізуємо зміни напрямку вітру за той самий період (рис. 1). Для проведення такого аналіз були розраховані повторюваності вітру за

румбами за десятирічні періоди (1991-2000, 2001-2010, 2011-2020 рр.). Результати розрахунків були візуалізовані у вигляді роз вітрів (рис.1).

Аналіз рис. 1 дозволяє стверджувати, що протягом усього періоду спостережень в досліджуваному регіоні пануючим напрямком залишається північно-західний напрямок вітру, повторюваність якого коливається в межах від 38,3 % (2001-2010 рр.) до 45,8 % (1991-2000 рр.). Проте в друге десятиріччя (2001-2010 рр.) достатньо велика повторюваність також фіксувалась для західного напрямку вітру (29,2 %).

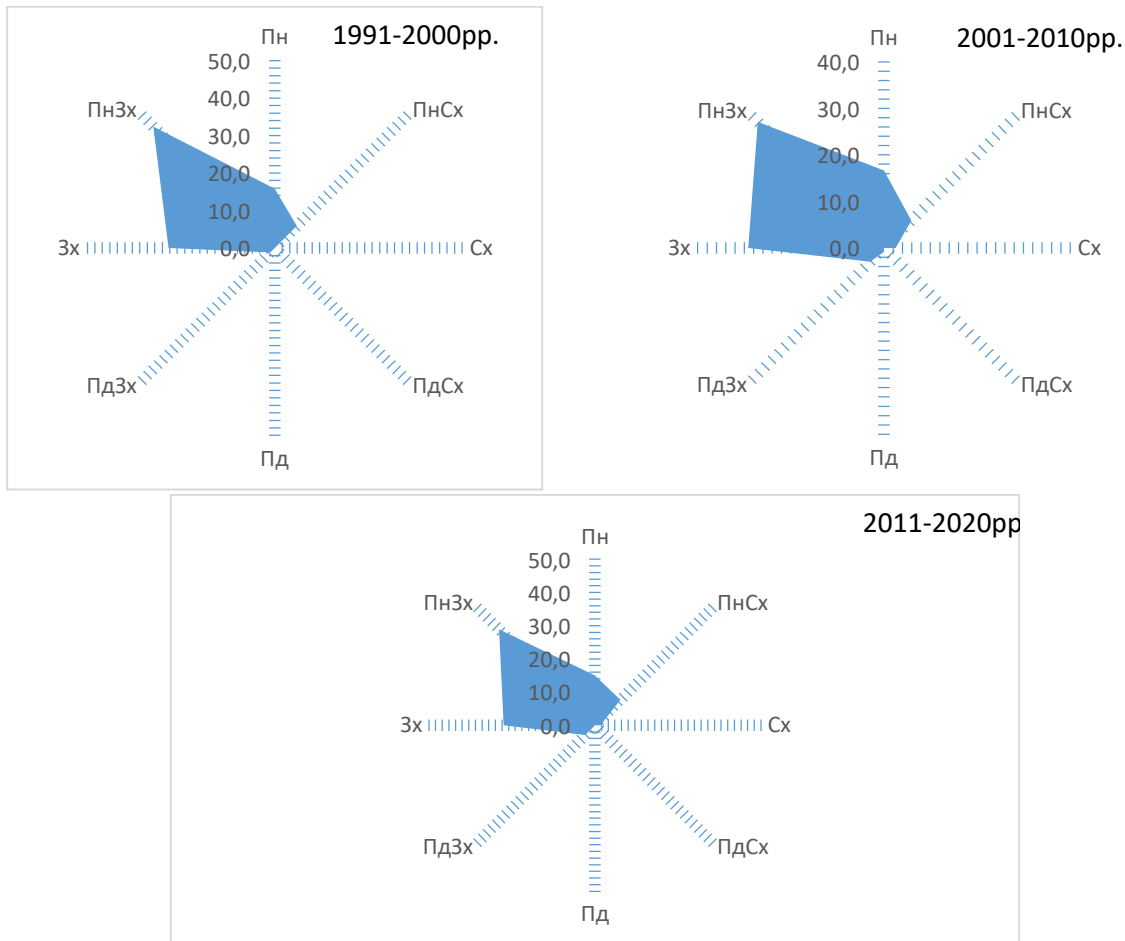


Рисунок 1 – Рози вітрів на станції Джубані, побудовані для різних часових періодів

Висновки. Аналіз вітрового режиму бухти Поттер-Коув у світлі сучасної зміни клімату дозволив встановити факт зменшення приземної швидкості вітру протягом переважної більшості місяців року за період останньої кліматичної норми (1991-2020 рр.). В деякі місяці (лютий, серпень, жовтень) це зменшення складає більше 2 м/с. При цьому зміни пануючого напрямку вітру не відбувається, протягом усього періоду спостережень пануючим залишається північно-західний напрямок вітру, повторюваність якого коливається від 38,3 до 45,8 %.

ДИНАМІКА ШВИДКОСТІ ВІТРУ В РАЙОНІ АНТАРКТИЧНОГО ОСТРОВА СЕЙМУР

О. М. Прокоф'єв, канд. геогр. наук, доцент

В. А. Чернишов, аспірант

Кафедра метеорології та кліматології

leggg0707@gmail.com

Постановка проблеми та вихідні дані. Антарктика є одним із ключових регіонів планети, який визначає характер глобальної атмосферної циркуляції, а також виступає важливим індикатором змін кліматичної системи Землі [1]. Особливу увагу в цьому контексті заслуговує Антарктичний півострів – регіон, де найінтенсивніше проявляється глобальне потепління в межах Південного полярного регіону. За останні десятиліття тут зафіксовано суттєве підвищення температури повітря, що свідчить про високий рівень кліматичної чутливості цієї території [2-3].

Аналіз кліматичних змін в умовах Антарктичного півострова дозволяє не лише поглибити уявлення про регіональні прояви глобального потепління, а й виявити можливі предиктори короткоперіодних змін клімату. Це, у свою чергу, має вагоме значення для довгострокового прогнозування, оцінки екологічних ризиків, а також забезпечення сталого функціонування наукових станцій і природоохоронної діяльності в межах Південного океану [4-5].

Мета дослідження полягає у виявленні закономірностей часових змін приземної швидкості вітру в районі антарктичної станції Марамбіо, яка знаходиться на острові Суймур поблизу Антарктичного півострова. Період дослідження складає тридцять років – з 1991 по 2020 рр. Вихідні дані про швидкість вітру на станції отримані з бази даних Британського Антарктичного центру.

Результати дослідження. Найкраще про кліматичні особливості регіону можуть свідчити статистичні характеристики, розраховані за довгий період спостережень (табл.1).

Аналіз таблиці 1 свідчить, що на станції Марамбіо середньомісячні значення швидкості вітру змінюються в інтервалі від 6,2 до 9,7 м/с. Найменші середньомісячні швидкості приземного вітру фіксуються в літній період року (грудень-січень), а найбільші – в зимовий (червень-жовтень).

Середньоквадратичні відхили також мають чітко виражений річний хід, максимальні значення, як і для самої швидкості, фіксуються в зимовий період, що може бути обумовлене адвективним характером погоди в цю пору року.

Коефіцієнт асиметрії має додатні значення восени та взимку і від’ємні навесні та влітку, що дозволяє припустити що саме навесні і влітку частіше зустрічаються швидкості вітру менші за середні, а взимку та восени – навпаки. Аналіз коефіцієнту ексцесу вказує на змішаний тип розподілів на станції Марамбіо: від плосковершинних до гостровершинних залежно від місяця року.

Таблиця 1 – Статистичні характеристики приземної швидкості вітру на станції Марамбіо

| Хар-ка | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Рік |
|------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| $V_{\text{сеп}}$ | 6,2 | 7,2 | 8,0 | 8,6 | 8,6 | 9,5 | 9,2 | 9,4 | 9,7 | 8,8 | 8,3 | 7,0 | 8,4 |
| V_{min} | 3,3 | 5,1 | 6,2 | 6,1 | 6,0 | 5,9 | 5,7 | 5,6 | 6,0 | 5,4 | 5,6 | 4,7 | 7,5 |
| V_{max} | 8,1 | 9,7 | 10,3 | 12,3 | 13,5 | 15,0 | 16,0 | 12,7 | 11,9 | 11,0 | 11,1 | 9,6 | 10,0 |
| S_x | 0,98 | 1,19 | 1,08 | 1,48 | 1,58 | 2,04 | 1,98 | 1,59 | 1,45 | 1,30 | 1,41 | 1,32 | 0,65 |
| A_s | -0,62 | 0,52 | 0,47 | 0,30 | 0,93 | 0,84 | 1,37 | -0,34 | -0,69 | -0,54 | -0,20 | -0,12 | 0,94 |
| E | 1,25 | -0,10 | -0,37 | -0,20 | 2,21 | 0,75 | 3,83 | 0,43 | -0,04 | 0,30 | -0,59 | -0,81 | 0,44 |

Перейдемо до аналізу трендової складової приземної швидкості вітру на станції Марамбіо (табл. 2), розрахованої за тридцятирічний період (1991-2020 рр.).

Таблиця 2 – Трендова складова приземної швидкості вітру на станції Марамбіо (м/с)

| Хар-ка | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Рік |
|--------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|------|-----|
| тренд | -0.4 | 0.0 | 0.9 | 1.8 | 0.1 | -0.9 | -0.7 | 1.0 | 0.1 | 1.6 | 1.8 | -1.7 | 0.2 |

В табл. 2 представлені розраховані значення тренду приземної швидкості вітру на станції Марамбіо, що на острові Сеймур. Бачимо, що за протягом досліджуваного періоду в рядах швидкості вітру присутній як додатний так і від’ємний тренд. Зменшення швидкості вітру фіксується в літній період року (грудень-січень) на величину -1,7 – -0,4 м/с відповідно, та всередині зими (червень-липень) на величину -0,9 – -0,7 м/с відповідно. Додатні тренди фіксуються в решту місяців року і коливаються в межах від 0,1 (травень, вересень) до 1,8 м/с (квітень, листопад). Слід зазначити, що в лютому тренд дорівнює нулю. Зміни середньорічних значень швидкості вітру на станції Марамбіо в цілому додатні, але не перевищують 0,2 м/с.

Рисунок 1 підтверджує зроблені висновки.

Висновки. Проведені дослідження динаміки приземної швидкості вітру в районі антарктичного острова Сеймур дозволили виявити тенденцію до зростання швидкості вітру в перехідні сезони року (весна-осінь) та тенденцію до зменшення в основні (середина зими та літо).

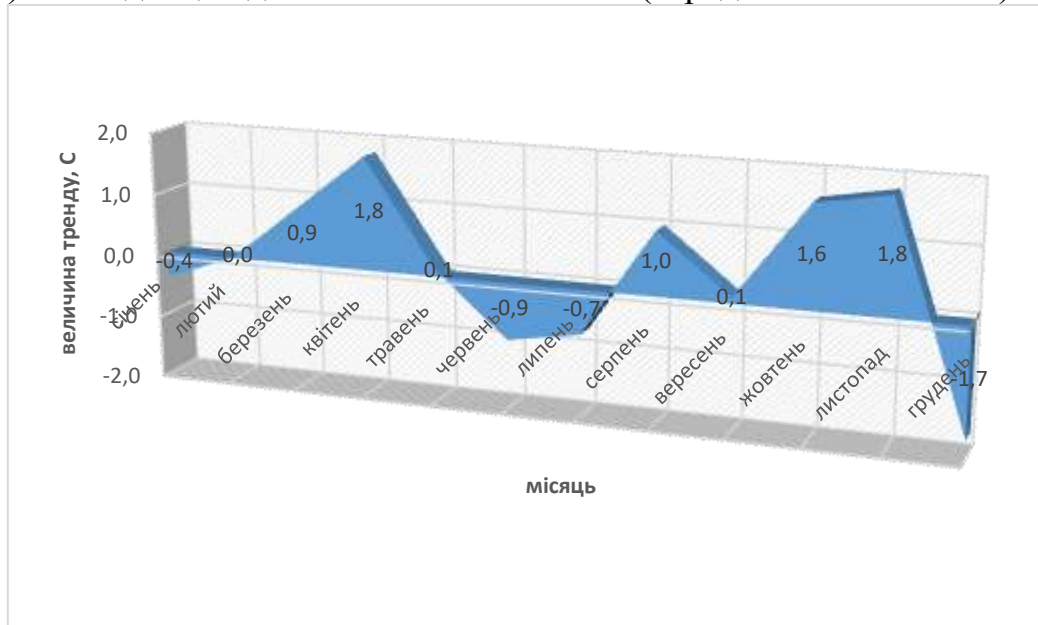


Рисунок 1 – Трендова складова приземної швидкості вітру на станції Марамбіо для усіх місяців року за період 1991-2020 рр.

Перелік посилань

1. Prokofiev, O.M., Chernyshov V.A. *Dynamics of the meteorological regime of the Antarctic peninsula using the example of the Antarctic station Bellingshausen In Modern aspects of natural science research in the context of sustainable development of society: Scientific monograph*. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2023. P. 339-352.

2. Кричун Д.М., Прокоф'єв О.М., Боровська Г.О. Багаторічна динаміка статистичних характеристик термічного режиму в районі станції «Академік Вернадський» *Екологічні науки*, 2025. № 1 (58). С. 130-134.

3. Воциліна Д.С., Прокоф'єв О.М. Дослідження багаторічних змін приземної температури повітря на станції Новолазарівська *iScience Poland (Polish Science Journal International Science Journal)*, Issue 4(13), Part 1, Warsaw, 2019 С.34-39.

4. Данова Т.Є. Прокоф'єв О.М. Сучасні зміни вітрового режиму Антарктиди *Геополітика и екогеодинамика регионів*. 2014. Т. 10, Вып. 1. С. 506-511.

5. Прокоф'єв О.М. Динаміка обlačности Антарктиди / О.М., Прокоф'єв, Н.Ю. Тимошевський, О.Ю., Волошановська // *Abstracts of II International Scientific and Practical Conference «Science, Society, Education: topical issues and development prospects*. Kharkiv, Ukraine, 20-21 January, 2020. С. 346-349.

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ В ПІВНІЧНІЙ АТЛАНТИЦІ ТА МОРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ

А. Б. Семергей-Чумаченко, канд. геогр. наук, доцент

В. В. Шепель, аспірантка

Кафедра метеорології та кліматології

alina.semerhei-chumachenko@onu.edu.ua

Інтенсифікація штормів та просторове зміщення їх траєкторій (storm track) у Північній Атлантиці в умовах глобального потепління зумовлюють зростання небезпеки для трансатлантичного судноплавства та підвищують вразливість світових логістичних ланцюгів. Тому аналіз просторово-сезонної мінливості температури поверхні океану й приземного повітря, термічного контрасту океан–атмосфера, а також трансформацій баричного поля є необхідним для удосконалення прогнозування штормових ситуацій, оптимізації погодозалежної маршрутизації суден (weather-routing) і зниження економічних втрат у морських перевезеннях.

Зміни storm track у Північній Атлантиці мають і опосередкований економічний ефект для України, оскільки через подорожчання й зростання ризиковості глобальної морської логістики вони впливають на фрахтові ставки, страхування, надійність постачань та конкурентоспроможність українського експорту. Встановлення фізичних причин ускладнення погоди в цьому регіоні водночас розширює можливості України у розвитку кліматичних сервісів для транспортної галузі та управління морськими ризиками.

Кліматичні зміни вже впливають [1, 3, 4] на великомасштабну атмосферну циркуляцію, яка формує небезпечні метеорологічні умови над Північною Атлантикою. Важливим рушієм цих трансформацій є арктичне підсилення (Arctic amplification) — швидше потепління Арктики порівняно із середніми широтами. Унаслідок цього послаблюється меридіональний температурний градієнт, що здатне змінювати конфігурацію тропосферних струминних течій і, як наслідок, підвищувати повторюваність екстремальних погодних явищ у середніх широтах. Для Північної Атлантики це означає потенційні зсуви циклонних траєкторій, зміну тривалості штормових періодів і частоти сильних вітрів уздовж основних морських шляхів.

Інтерпретувати ці процеси дозволяє концепція штормових траєкторій (storm tracks). У роботі [2] підкреслюється, що кліматичні зміни впливають на storm tracks через два взаємно протилежні механізми: зростання вологості атмосфери та відповідного латентного тепловиділення може підсилювати бароклінний розвиток циклонів, тоді як ослаблення температурних контрастів між широтами здатне стримувати штормову активність. Подібна конкуренція чинників є особливо виразною саме в

Північній Атлантиці, де навігаційні ризики визначаються не лише частотою штормів, а й їхньою інтенсивністю, сезонною структурою та просторовим перерозподілом.

Температура поверхні океану (SST): аналіз SST виконано за щоденними полями NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST v2.1), доступними на платформі Climate Reanalyzer [5]. Цей набір даних забезпечує глобальне покриття та однорідність довготривалих оцінок SST, що є важливим для аналізу міждесятилітніх змін і аномалій у Північній Атлантиці. Зміни приземної температури повітря (T2m) над океаном та прилеглими секторами оцінено за даними ERA5 (ECMWF). На Climate Reanalyzer [5] ці дані представлені у вигляді щоденних карт і часових рядів аномалій T2m, що дозволяє швидко ідентифікувати регіональні «гарячі плями» потепління та сезонні особливості.

Найвиразнішим осередком підвищених температур упродовж усіх розглянутих періодів залишається зона Гольфстріму (рис. 1). У 1961–1990 рр. його «теплий язик» добре простежується, однак північно-східне продовження — Північноатлантична течія (North Atlantic Current) — є відносно вузьким і менш теплим. У 1991–2020 рр. тепла смуга помітно посилюється та розширюється: вона простягається далі на північний схід, а ізотерми 18–20 °C зміщуються на кілька градусів широти у бік півночі. У 2021–2024 рр. максимальне потепління зосереджується саме вздовж Гольфстріму — теплий потік виглядає ще ширшим і інтенсивнішим, заходячи глибше в центральну Атлантику та у напрямку Європи. Ймовірно, ця зона прискореного зростання теплового вмісту океану може підсилювати циклогенез і формування штормових хвиль на ключових трансатлантичних судноплавних маршрутах.

Аномалії SST за 2021–2024 рр. у порівнянні з базою 1961–1990 рр. мають переважно широкий і виразно теплий характер: на більшій частині Північної Атлантики переважають додатні відхилення, а максимуми потепління зосереджені вздовж Гольфстріму та його північно-східного продовження (Північноатлантичної течії), а також у східному секторі басейну біля узбережжя Європи. На цьому фоні простежується лише локальний осередок слабких або від’ємних аномалій у субполярній області (південна Гренландія–Ісландія–Лабрадор), що відповідає субполярній «холодній плямі», однак її прояв виглядає менш контрастним через холодніший референтний період. Натомість при зіставленні з сучасною більшою теплою нормою 1991–2020 рр. аномалії 2021–2024 рр. істотно зменшуються за амплітудою та набувають більш мозаїчної, плямистої структури.

Ряди SST і T2m за 1940–2024 рр. відображають стійку тенденцію до потепління Північної Атлантики, із помітним прискоренням від 1990-х років і максимальними значеннями у 2023–2024 рр. (рис. 2). Водночас приземна температура повітря (T2m) підвищується трохи швидше та більш

рівномірно, ніж температура поверхні моря, що в довгостроковому вимірі веде до зменшення термічного контрасту океан–атмосфера (ΔT), незважаючи на міжрічну мінливість.

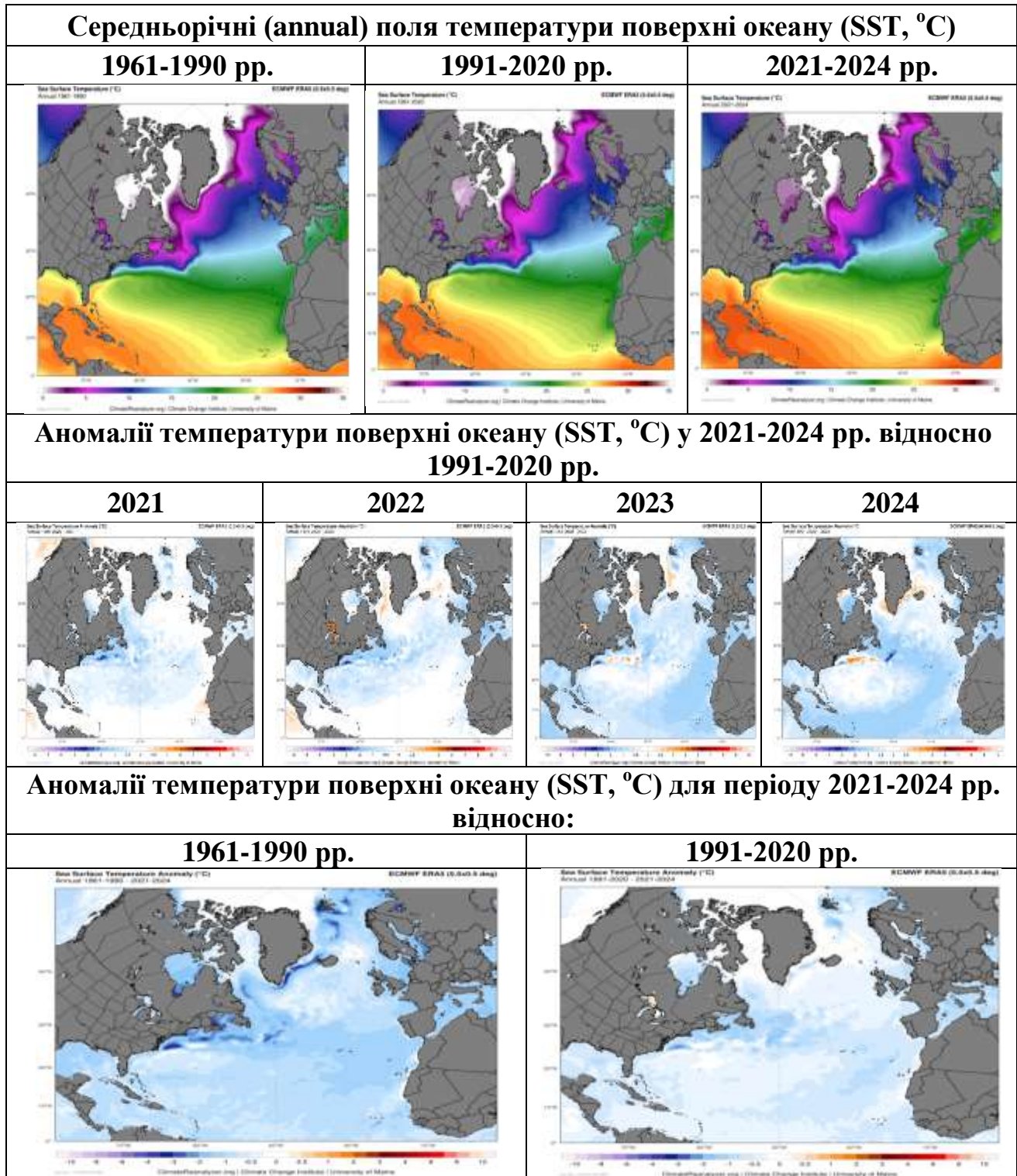


Рисунок 1 – Поля середньорічних значень та аномалій SST, °C у Північній Атлантиці для різних кліматичних періодів.

Контраст SST–T2m (ΔT) визначає інтенсивність тепло- і вологообміну над фронтальними зонами (зокрема Гольфстрімом) і потенціал посилення позатропічних циклонів у штормовий сезон.

Довготривалі ряди ΔT (1940–2024 рр.) демонструють (рис. 2) стійкий від’ємний тренд упродовж усього періоду спостережень у річному середньому (*annual*) та по сезонах. Річні значення зменшуються приблизно з 1,5–1,6 °C у 1940–1950-х рр. до близько 1,0 °C і нижче у 2020-х рр.

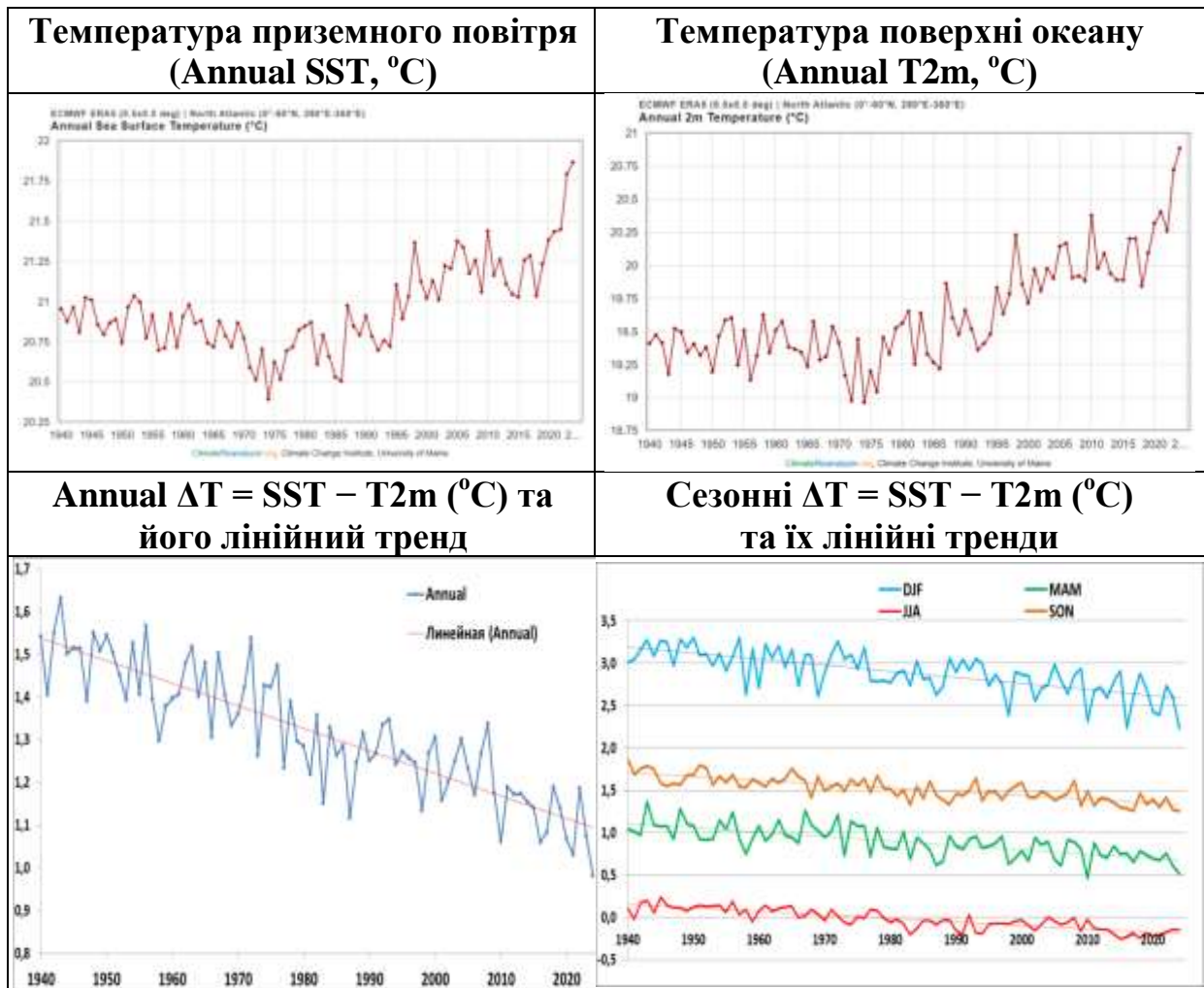


Рисунок 2 - Динаміка різниці температури «океан–атмосфера» ($\Delta T = SST - T2m$) з 1940 по 2024 рр.

Найбільш виразне зниження характерне для зимового сезону: DJF-значення ΔT зменшилися орієнтовно на 0,5 °C, що вказує на ослаблення теплового контрасту холодного сезону між океаном і атмосферою в області storm-track коридору. У перехідні сезони (SON і MAM) спостерігається спад на ~0,3–0,4 °C. Особливо показовою є літня еволюція ΔT , де відбувся перехід від слабко додатних значень у середині ХХ ст. до від’ємних у сучасний період, тобто середня температура приземного

повітря влітку стала вищою за температуру поверхні океану в межах досліджуваного домену North Atlantic LEA (Lambert Equal-Area).

Отже приземне повітря над Північною Атлантикою нагрівається швидше, ніж поверхня океану в середньому по басейну. Фізично це означає послаблення океан-атмосферного тепло- й вологообміну в холодний період, що здатне модифікувати енергетику позатропічних циклонів і, як наслідок, впливати на інтенсивність штормових вітрів та хвиль, важливих для безпеки судноплавства.

Перехід літніх значень ΔT у від'ємну область свідчить, що океан дедалі сильніше стабілізує приземний шар атмосфери, що може сприяти формуванню затримуючих шарів, збільшенню повторюваності туманів та появі характерних для теплого сезону навігаційних ризиків. Таким чином, ΔT є важливим індикатором змін у взаємодії океану й атмосфери над Північною Атлантикою та дає змогу пояснити, як SST-сигнали трансформуються в еволюцію атмосферних небезпек, значущих для морської навігації.

Посилення теплового контрасту між субтропічними та субполярними широтами разом із сезонною перебудовою SST може безпосередньо впливати на частоту й інтенсивність штормів уздовж головних морських коридорів між США та Європою, тому ці чинники слід обов'язково враховувати під час оцінювання штормонебезпечності та планування безпечної погодозалежної маршрутизації трансатлантичних перевезень.

Перелік посилань

1. Cohen J., Screen J., Furtado J., Barlow M., Whittleston D., Coumou D., Francis J., Dethloff K., Entekhabi D., Overland J. & Jones J. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nature Geoscience*. 2014. 7 (9), Pp. 627–637. <https://doi.org/10.1038/ngeo2234>

2. Shaw T., Baldwin M., Barnes E., Caballero R., Garfinkel C.I., Hwang Y.-T., Li C., O'Gorman P.A., Rivière G., Simpson I.R., & Voigt A. Storm track processes and the opposing influences of climate change. *Nature Geoscience*. 2016. 9 (9), Pp. 656–664. <https://doi.org/10.1038/ngeo2783>

3. Woollings T., Hannachi A., Hoskins B. Variability of the North Atlantic eddy-driven jet stream. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2010. 136 (649), Pp. 856–868. <https://doi.org/10.1002/qj.625>

4. Zappa G., Hawcroft M.K., Shaffrey L., Black E., Brayshaw D.J. Extratropical cyclones and the projected decline of winter Mediterranean precipitation in the CMIP5 models. *Climate Dynamics*, 2015. 45 (7). Pp. 1727–1738. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2426-8>

5. Climate Reanalyzer [Електронний ресурс]. – Climate Change Institute, University of Maine, 2024. URL: https://climatereanalyzer.org/research_tools (Дата звернення: 22.11.2025).

СИНОПТИЧНІ УМОВИ УТВОРЕННЯ ГРОЗ В УКРАЇНІ У ХОЛОДНИЙ ПЕРІОД

О. В. Уманська, канд. геогр. наук, старший викладач

Кафедра метеорології та кліматології

olyaorlik@ukr.net

Конвективна хмарність, зливові опади та грози – одні з найнебезпечніших, мінливих у часі та просторі, і важко прогнозованих метеорологічних явищ, відомості про які є актуальними як у науковому плані, так і для вирішення низки прикладних завдань у метеорології та кліматології. Конвективні явища в атмосфері проявляються в різних масштабах, починаючи від мезомасштабних процесів розвитку термічної конвекції в нестійко стратифікованій атмосфері до розвитку конвективних хмар фронтального типу, що займають значні за площею території.

Грози пов'язані з розвитком потужних купчасто-дощових хмар, сильною нестійкістю стратифікації повітря при високому вмісті вологи. Такі сприятливі для утворення гроз умови в основному складаються в теплий період року (з квітня по вересень), на який припадає 96-97 % гроз на території України [1, 2]. У зимовий період року повітря недостатньо вологе, оскільки низькі температури перешкоджають утворенню надлишку води в атмосфері, внаслідок чого будь-яка надлишкова волога в повітрі замерзає і випадає на землю у вигляді снігу. Також, перепади тиску і температури в холодний період не відбуваються так часто, як в теплу пору року, і атмосфера не отримує достатньо сонячної енергії через короткий світловий день. Однак, в середніх широтах в осінньо-зимовий проміжок часу нерідко можливі грози за умови, що повітряні потоки і циклони приносять з боку басейнів океанів і морів дуже теплі і вологі повітряні маси. У теплом секторі таких циклонів відзначається винесення теплого і вологого повітря, температура повітря підвищується до позитивних значень, а при затоці холодного повітря з півночі в тилівій частині такого циклону, на холодному фронті і виникають грози, так як тут відзначається вимушена динамічна конвекція. Також зимові грози можливі на фронтах оклюзії [3,4].

Виявлено, що за період дослідження, з 2017 по 2024 рік, над територією України спостерігалось 144 випадки грози, частіше за все грози виникали у березні та листопаді, причому у березні вони виникали щорічно. Максимальна грозова активність відмічалася у березні 2017 р. (24 днів з грозою) та у листопаді 2023 р. (19 днів з грозою). Найменша грозова активність припадала на грудень – 4 грози за 8 років. В цілому, взимку було 32 грози з максимумом повторюваності у лютому 2020 р., а зимою 2017 р. не спостерігалось жодної зимової грози, в 2018 та 2021 була лише одна гроза [5, 6, 7].

Проаналізувавши синоптичні ситуації (рис. 1 та 2) за яких виникали грози в холодний період року в Україні, було виявлено, що найчастіше це відбувалося при поширенні на нашу територію улоговини циклону з центром над Скандинавським півостровом та Балтійським морем (рис.1а). І спостерігалось це у 40% від усіх випадків. Другою за повторюваністю була улоговина циклону з центром над архіпелагом Нова Земля та Білим морем (рис.1б), що склало 17% від усіх випадків. Найчастіше грози були пов'язані з проходженням холодного атмосферного фронту в цих улоговинах.

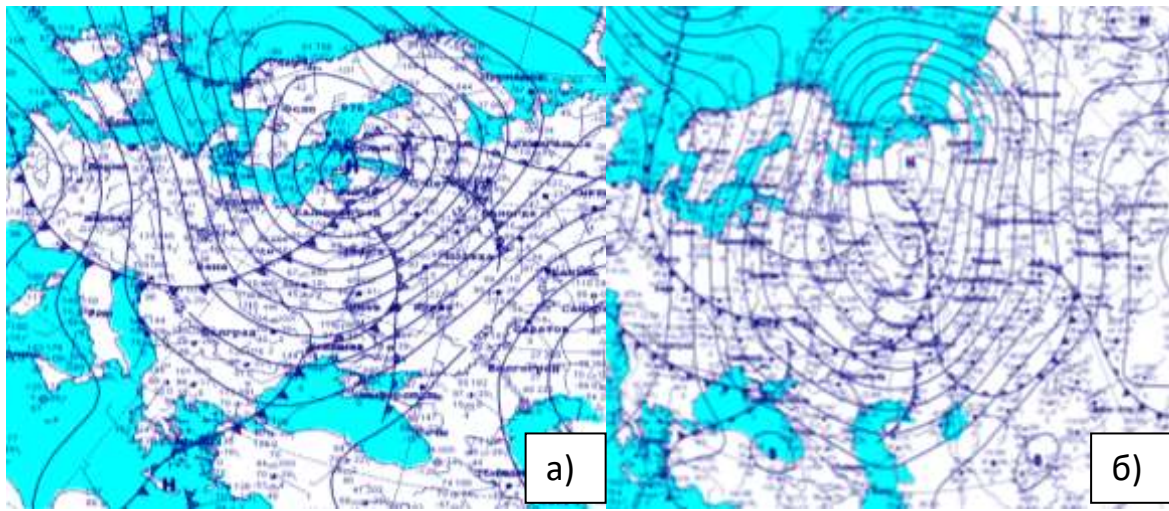


Рисунок 1 – Аналіз приземний за 12 UTC 17.02.2022 р. (а) та за 22.01.2020р. (б)

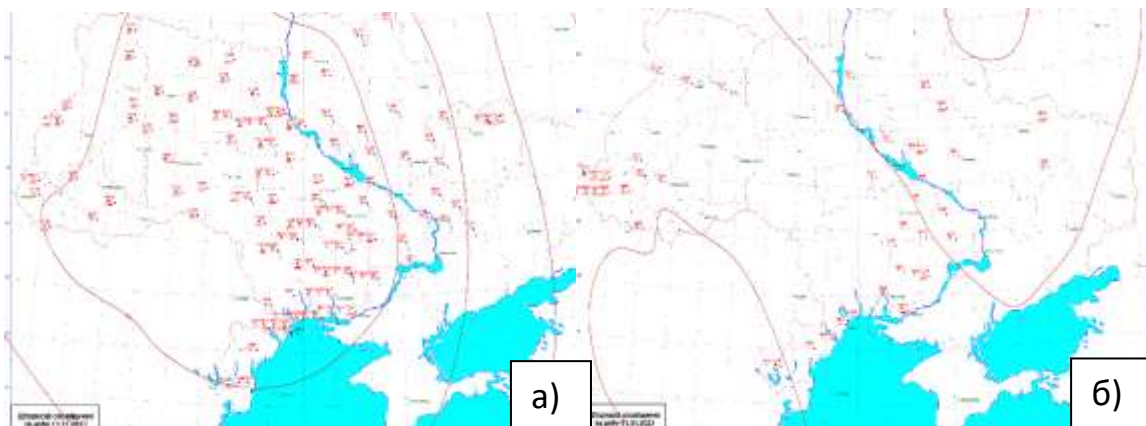


Рисунок 2 – Карти штормових оповіщень за 11.11.2023 р. (а) та за 01.11.2023р. (б)

У 7% випадків грози спостерігалися коли центр циклону знаходився безпосередньо над територією України, або в улоговині циклону з центром

над Великою Британією. При поширенні улоговини циклону з Італії та Румунії грози спостерігалися у 6%. Решта випадків складало від 1 до 3%.

Здебільшого за досліджуваний період спостерігалися поодинокі грози по території України, але були випадки коли покриття грозами займало велику територію. Найбільш сприятливими в цьому випадку були ситуації при розташуванні циклону над Україною (рис.2а) та при поширенні улоговини з Балтійського моря (рис. 2б)

Найменша грозова активність спостерігається на заході Українського Полісся та Буковини. Помірна активність охоплює центральні області (Черкаська, Полтавська, Кіровоградська) і частину Поділля. Підвищена активність зафіксована в південно-східних областях (Харківська, Дніпропетровська, Запорізька, Миколаївська, частково Херсонська). Більш активно грози виникали в Одеській та Кіровоградській областях. Максимальні значення спостерігаються в Закарпатті - регіоні, де грозова діяльність підтримується орографічними ефектами (вплив Карпат) і контрастами повітряних мас. У гірських районах часто утворюються локальні грозові осередки навіть за слабо вираженої конвекції.

Перелік посилань

1. Ліпінський, В.М., Дячук, В.А., Бабіченко, В.М. (Ed.). *Клімат України*. Київ: 2023, Видавництво Раєвського, 343 с.
2. Балабух В.О. Міжрічна мінливість інтенсивності конвекції в Україні. https://uhmi.org.ua/conf/climate_changes/presentation_pdf/poster_1/Balabukh.pdf/
3. Мацук Ю.М. Зміни грозової активності на території України в ХХ та на початку ХХІ сторіччя // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія"*, 2013, № 39 (1084), С. 147-151.
4. Грушевський О.М., Міщенко Н.М. *Діагноз і прогноз конвективних явищ: навчальний посібник*. Одеса. 2020. 120с.
5. Дерябіна І. О., Уманська О. В. Повторюваність гроз в Україні в холодне півріччя з 2017 року по 2021 рік. *The 4th International scientific and practical conference "Science and innovation of modern world"* (December 21-23, 2022) Cognum Publishing House, London, United Kingdom. 2022. 753 p.
6. Боровська Г. О. Виявлення та прогноз розвитку грозових осередків у різних регіонах України. *Тези 79-й конференції професорсько-викладацького складу і наукових працівників ОНУ імені І.І. Мечникова*. 2024. С. 204-207.
7. Семергей-Чумаченко А. Б., Жук Д.О., Візнюк Р.О. Режим та умови утворення гроз в Одеській області. *World Science*. No 4 (82), 2023, DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122023/8080

МАКРО- ТА МЕЗОМАСШТАБНІ УМОВИ УТВОРЕННЯ СИЛЬНИХ ОПАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Н. О. Приходько, аспірантка

І. А. Хоменко, канд. геогр. наук, доцент

Кафедра метеорології та кліматології

innchom.ik@gmail.com, hale.grimm.25@gmail.com

Актуальність дослідження. Інтенсивні короткотривалі зливові опади є однією з найнебезпечніших форм гідрометеорологічних явищ для урбанізованих територій, оскільки вони безпосередньо призводять до міських раптових затоплень. Такі затоплення формуються за лічені хвилини або години та характеризуються стрімким підйомом рівня поверхневого стоку, що створює серйозну загрозу для транспортної інфраструктури, інженерних мереж і безпеки населення. Прибережні міста, зокрема Одеса, є особливо вразливими до таких явищ через поєднання природних і антропогенних чинників, включно зі щільною забудовою, значною часткою водонепроникних поверхонь і обмеженою пропускнуою здатністю систем поверхневого водовідведення.

Мета і методи дослідження. Метою роботи є виявлення фізичних механізмів формування і підтримання сильних опадів у місті Одеса 4–5 вересня 2024 р. і оцінка внеску кожного з чинників. с

Вихідні дані. Роботу виконано на основі даних цифрової платформи ePort [1], що містить прогностичну продукцію Європейського центру середньострокових прогнозів погоди з часовим кроком 3 години та просторовою роздільною здатністю $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, а також супутникові дані геостационарного супутника з аналогічним часовим розділенням.

Результати досліджень та їх аналіз. У ніч з 4 на 5 вересня та вдень 5 вересня 2024 р. у місті Одеса випало 43,5 мм опадів, що становить близько 70 % місячної норми. Опади мали переривчастий зливовий характер і випадали у вигляді окремих інтенсивних епізодів протягом добового періоду, при цьому основна їх частина припала на нічні години 5 вересня, коли за короткий час випало близько 27 мм, тоді як у денні години 4 вересня було зафіксовано близько 16 мм. Унаслідок високої часової концентрації опадів у місті відбулися масштабні підтоплення вулично-дорожньої мережі та житлової забудови, порушено роботу міського транспорту й електропостачання, зафіксовано повалення дерев і пошкодження елементів міської інфраструктури.

В період сильних опадів, 4–5 вересня 2025 р., південна частина Одеської області перебувала в перехідній зоні між потужним антициклоном на півночі та неглибоким циклоном над Чорним морем і Малою Азією, тоді як у середній та верхній тропосфері над регіоном зберігався холодний висотний циклон (рис. 1).

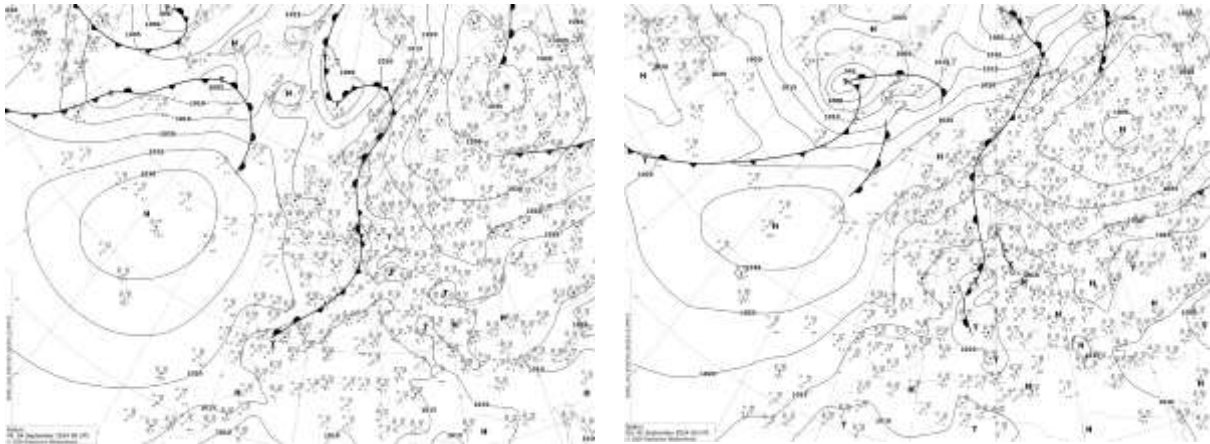


Рисунок 1 – Аналіз приземний за 00 СГЧ 04.09.2024 р. (а) і 00 СГЧ 05.09.2024 р. (б), надані Метеорологічною службою Німеччини [2]

Аналіз баричної топографії та супутникових знімків (рис. 2) показав, що в межах висотного циклону в його північно-західній частині сформувалася потужна конвективна хмарна система, яка протягом 4–5 вересня 2024 р. зумовила випадіння сильних опадів у місті Одеса. Висотний циклони чітко простежувався в середній тропосфері та залишався майже стаціонарним над північно-західною акваторією Чорного моря, поступово розширюючись за площею. Максимальний розвиток хмарності спостерігався у вечірні години 4 вересня, коли відбулося суттєве посилення опадів і випала значна частина сумарної кількості опадів за 4–5 вересня 2024 р. Низькі значення температури на верхній межі хмар (близько $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) свідчать про значну вертикальну потужність конвективних утворень, що забезпечило високу інтенсивність зливових опадів.

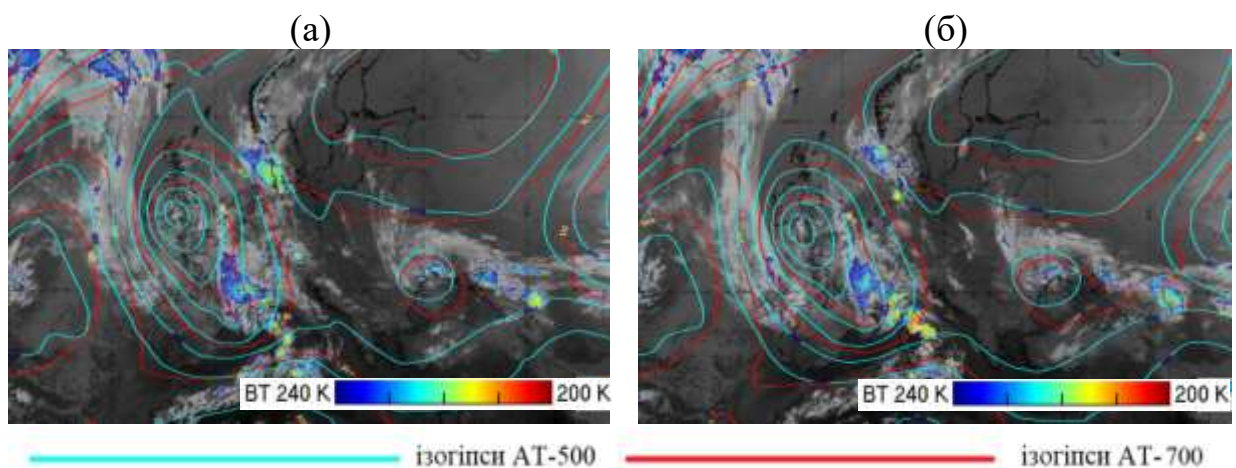
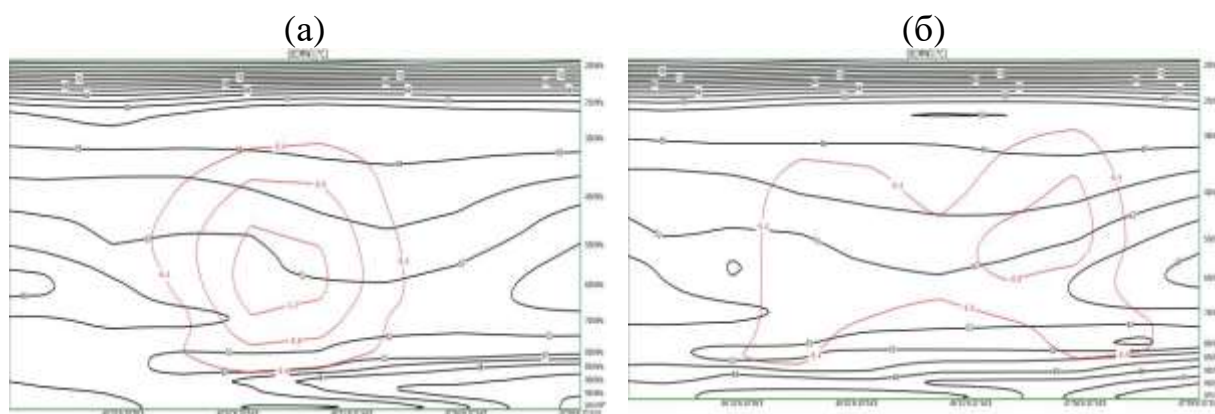


Рисунок 2 – Топографія ізобаричних поверхонь 500 гПа та 700 гПа за 21 СГЧ (а) 04.09.2024 р. та 00 СГЧ (б) 05.09.2024 р. з накладеними супутниковими знімками IR10.8. [1]

Формування такої потужної конвекції було зумовлене розташуванням холодного висотного циклону над теплою підстильною поверхнею, що призвело до різкого зростання температурних градієнтів і бароклінності в середній та нижній тропосфері. За цих умов у північно-західній частині висотного циклону впродовж 4–5 вересня 2024 р. утворилася стаціонарна конвективна хмарна система з великою вертикальною потужністю, що узгоджується з низькими значеннями температури на верхній межі хмар. Додаткове посилення конвекції було зумовлене проникненням стратосферного повітря з підвищеними значеннями потенціального вихору та позитивною адвекцією вихору в середній тропосфері, що активізувало циклогенез і сприяло формуванню організованих висхідних рухів. Сукупна дія цих чинників за умов підвищеної термічної нестійкості зумовила розвиток інтенсивної купчасто-дощової хмарності та випадіння сильних локальних злив над територією Одеси.



Коричневими лініями позначено ізолінії від'ємної вертикальної швидкості в 100 гПа/1 год.
Чорні лінії – ізолінії еквівалентно-потенціальної температури (К)

Рисунок 3 – Вертикальний переріз еквівалентно-потенціальної температури та вертикальних рухів у широтному напрямку в зоні висотного циклону за 21 СГЧ 04.09.2024 р. (а) та 00 СГЧ 05.09.2024 р. (б) [1].

Висновок. Сильні опади в м. Одеса в період 4-5 вересня стали результатом взаємодії великомасштабної баричної циркуляції, регіональної нестійкості та мезомасштабних процесів, що посилювались надходженням сухого стратосферного повітря. Така комбінація атмосферних факторів призвела до формування довготривалого та інтенсивного зливого епізоду з потенційно небезпечними наслідками для міської інфраструктури.

Перелік посилань

1. http://resources.eumetrain.org/ePort_MapViewerEWC/index.html
(дата звернення: 12 листопада 2025 р.)
2. Wetter3.de – Архів метеоданих Німеччини [Електронний ресурс].
URL: https://www.wetter3.de/archiv_dwd_dt.html (дата звернення: 12 листопада 2025 р.)

АПРОБАЦІЯ ІНДЕКСНОГО ПІДХОДУ ETCCDI ДО ОЦІНКИ КЛІМАТИЧНОЇ ВРАЗЛИВОСТІ В УКРАЇНІ

І. А. Хоменко, канд. геогр. наук, доцент

Л. В. Недострелова, канд. геогр. наук, доцент

О. М. Прокоф'єв, канд. геогр. наук, доцент

Л. Д. Гончарова, канд. геогр. наук, доцент

Є. А. Галич, канд. геогр. наук, доцент

В. Ю. Куришина, канд. геогр. наук, старший викл.

Кафедра метеорології та кліматології

innchom.ik@gmail.com, nedostrelova@ukr.net, oleh.prokofiev@onu.edu.ua,
goncharova.luda.50@gmail.com, galich_eli@ukr.net, kuryshyna.88@gmail.com

Актуальність. Зростання частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ є одним із ключових проявів сучасної зміни клімату й має прямі наслідки для критично важливих сфер – від здоров'я населення до агровиробництва та функціонування міст [1]. Індексний підхід ETCCDI дає можливість описувати ці зміни через стандартизований набір показників екстремумів температури й опадів, що робить його придатним для міжрегіональних порівнянь та прикладної оцінки вразливості.

Метою дослідження є апробація індексного підходу ETCCDI для кількісної характеристики просторово-часових змін температурно-вологісного режиму України та обґрунтування можливостей практичного використання цих індикаторів для оцінки кліматичної вразливості окремих секторів – охорони здоров'я, агропромислового комплексу та урбанізованих територій.

Основними завданнями роботи є аналіз трендів і зсувів розподілів ключових кліматичних індексів, оцінка їх просторової неоднорідності та демонстрація зв'язку між значеннями індексів і типовими секторними кліматичними ризиками та наслідками.

Вихідні дані. До аналізу було залучено річні значення 25 індексів ETCCDI, які характеризують режим температури і опадів, для 16 станцій на території України, таких як Ай-Петрі, Асканія-Нова, Чернівці, Феодосія, Керч., Куїв, Лубни, Луганськ, Львів, Миколаїв, Одеса, Полтава, Шепетівка, Ужгород, Умань, Вінниця за періоди від 71 до 137 років. Вихідні дані було отримано з ресурсу [2].

Результати досліджень та їх аналіз. Для оцінювання кліматичної мінливості та трендів застосовано непараметричні підходи, зокрема тест Манна–Кендалла і непараметричний метод Сена. Для часових рядів зі статистично значущими трендами додатково застосовано гармонічну регресію та спектральний аналіз з метою прогнозування максимальної річної температури, мінімальної річної температури, максимальної одноденної кількості опадів та індексу посушливості до 2050 р.

Основні результати апробації ETCCDI в Україні. За останні десятиліття для території України виявлено стійкі зсуви температурних

екстремумів у бік потепління. Це проявляється у зростанні індикаторів високотемпературних умов, зокрема частоти теплих днів і ночей (TX90p, TN90p), кількості літніх днів (SU), тропічних ночей (TR) та тривалості теплих періодів (WSDI). Одночасно спостерігається зменшення показників, що характеризують низькотемпературні екстремуми, а саме кількість днів з максимальними температурами нижче 10-тої перцентилі (TX10p) та мінімальними температурами нижче 10-тої перцентилі (TX10p, TN10p), кількості днів з мінімальними температурами нижче 0°C (FD) і з максимальними температурами нижче 0°C (ID), а також індексу тривалості холодних періодів (CSDI). Сукупність цих змін свідчить про трансформацію термічного режиму з ослабленням ролі низькотемпературних екстремумів і посиленням впливу високотемпературних навантажень.

Просторовий аналіз показав, що зростання індикаторів потепління є найбільш вираженим у західних регіонах України, тоді як зменшення повторюваності холодних екстремальних явищ простежується практично на всій території країни, з певними регіональними відмінностями за інтенсивністю прояву.

Аналіз екстремальних опадів показав, що індикатори інтенсивних опадів, зокрема максимальна одноденна (RX1day) та максимальна п'ятиденна кількість опадів (RX5day), а також кількість днів із сильними (R10mm) і дуже сильними опадами (R20mm), у більшості регіонів характеризуються тенденцією до зростання. Аналогічна тенденція спостерігається для індексу тривалості вологих періодів (CWD). Водночас індекс максимальної тривалості безопадових періодів (CDD) у середньому демонструє тенденцію до зменшення, що вказує не на загальне зволоження, а на перерозподіл опадів у бік більш інтенсивних, але короткочасних епізодів.

Прогностичні оцінки, отримані на основі поєднання спектрального і гармонічного аналізу, вказують на подальше підвищення річних абсолютних максимумів температури (TXx) до 2050 р. у більшості регіонів України. Для екстремальних опадів прогнозується слабке або помірне зростання максимальної одноденної кількості опадів (RX1day) із вираженою регіональною неоднорідністю. Індекс тривалості безопадових періодів (CDD) у прогнозованому періоді змінюється незначно, з тенденцією до подальшого зменшення в окремі сезони.

Застосування індексів ETCCDI для оцінки вразливості секторів.

Охорона здоров'я. Аналіз температурних індексів ETCCDI для України свідчить про трансформацію термічного режиму з ослабленням ролі низькотемпературних екстремумів і зростанням значущості теплових навантажень. Найбільш інформативними для оцінки ризиків є індекси TX90p, TN90p, SU, TR та WSDI, які характеризують інтенсивність і тривалість теплового впливу. Для більшості регіонів вони мають позитивні тренди, тоді як індекси холодних екстремумів (FD, ID, CSDI) демонструють тенденцію до зменшення. У прикладному вимірі це означає

зростання ризиків, пов'язаних із хвилями тепла та кумулятивним тепловим навантаженням, особливо для вразливих груп населення.

Сільське господарство. Для аграрного сектору індекси ETCCDI відображають поєднаний вплив змін температурного та вологісного режимів на кліматичну вразливість культур. Температурні індекси (TXx, TX90p, SU, WSDI) свідчать про посилення ризиків перегріву та прискорення фенологічних фаз, тоді як індекси опадів (RX1day, RX5day, R10mm, R20mm, CWD) вказують на зростання інтенсивності короткочасних опадів і пов'язані з цим ризики ерозії ґрунтів та втрат урожаю. Індекс CDD використовується для оцінки посушливих умов. Загалом зміни режиму опадів проявляються не як стабільне зволоження, а як перерозподіл опадів у бік інтенсивних, але нерівномірних епізодів, що посилює агрокліматичні ризики.

Урбанізовані території. Для міських територій індекси ETCCDI є придатними для оцінки як теплового стресу, так і вразливості до інтенсивних опадів. Індекси SU, TR, WSDI, TX90p і TN90p в умовах міського острова тепла посилюють вплив високотемпературних аномалій на здоров'я населення та енергоспоживання. Індекси RX1day, RX5day, R10mm і R20mm характеризують потенціал інтенсивних злив, що в міському середовищі призводять до перевантаження зливної каналізації та локальних підтоплень. Зростання цих показників створює основу для інженерно-планувальних рішень з адаптації міської інфраструктури.

Висновки. Результати апробації підходу ETCCDI на даних для території України підтверджують його високу придатність для прикладної оцінки кліматичної вразливості різних секторів. Температурні індекси відображають трансформацію термічного режиму з домінуванням високотемпературних екстремумів, тоді як індекси опадів свідчать про інтенсифікацію зливових подій за наявності вираженої регіональної та сезонної неоднорідності. Секторна інтерпретація дозволяє безпосередньо пов'язати окремі індекси з релевантними ризиками: у сфері охорони здоров'я — з тепловими навантаженнями, у сільському господарстві — з поєднанням теплових, посушливих і зливових чинників, на урбанізованих територіях — з тепловими хвилями та інтенсивними опадами як факторами підтоплень. Подальшим практичним кроком доцільно вважати формалізацію матриці кліматичної вразливості (сектор → небезпека → індекси ETCCDI → порогові значення), інтегрованої у регіональні та секторальні стратегії адаптації до зміни клімату.

Перелік посилань

1. IPCC, 2013. Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York.

2. www.ecad.eu. Електронний ресурс (дата звернення: 12 листопада 2025 р.)

ДИНАМІКА РЕЖИМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СНІГОВОГО ПОКРИВУ НА СТ. СЛАВСЬКЕ В ПЕРІОД 1948–2020 РР.

І. А. Хоменко, канд. геогр. наук, доцент

Р. М. Марчишин, начальник метеостанції Славське Львівського РЦГМ

Кафедра метеорології та кліматології

innchom.ik@gmail.com, roman19881107r@ukr.net

Актуальність. Сніговий покрив відіграє вирішальну роль у кліматичній системі Землі, суттєво впливаючи на складові радіаційного балансу. Це не тільки безпосередньо впливає на місцеві метеорологічні умови, але навіть й на циркуляційні умови. Враховуючи чутливість снігового покриву до глобального потепління, розуміння довгострокових тенденцій снігового покриву має вирішальне значення, особливо в контексті найбільшої статистично значущої тенденції підвищення температури повітря, зареєстрованої протягом зимового та весняно-зимового сезонів.

Метою роботи є оцінка змін і мінливості режимних характеристик снігового покриву на станції Славське за 1948–2020 рр., зокрема тривалості залягання снігу, повторюваності різних класів висоти, показників накопичення та руйнування, а також інтегральних індексів сніжності та суворості зими.

Вихідні дані та підхід до аналізу. Дослідження виконано на основі добових даних метеорологічних спостережень за 74-річний період. Проаналізовано часові ряди кількості днів зі сніговим покривом та кількості днів із висотою снігу 10 см і вище, 20 см і вище та 50 см і вище, визначено максимальну і середню висоту снігового покриву за зимовий сезон (1 грудня – 31 березня), сумарну сезонну висоту снігу та характеристики внутрішньосезонної еволюції. Для узагальнення кліматичної структури зим застосовано індекс сніжності та індекс суворості зими (за підходами, запропонованими польськими дослідниками), а також здійснено сумісну типізацію зим за обома індексами.

Результати досліджень та їх аналіз. Кількість днів зі сніговим покривом у 1948–2020 рр. демонструє загальну спадну тенденцію з темпом близько 1 доби за десятиріччя. Найбільш виражене скорочення характерне для кількості днів із висотою снігу 10 см і вище, тоді як для порогів 20 см і 50 см зміни є значно слабшими; для висот 50 см і більше в окремі періоди фіксується навіть слабка додатна тенденція. Це свідчить про підвищену чутливість помірного снігового покриву (10–20 см) до кліматичних змін. У рядах кількості днів із висотою снігу 10 см і вище та 20 см і вище виявлено узгоджені 15-річні циклічності.

Середня висота снігового покриву визначалася як відношення сумарної висоти снігу за зимовий період (грудень–березень) до кількості днів у цьому періоді (рис. 1а) відповідно до підходу [1]. Ряд середньої висоти, розрахованої за всі дні зимового періоду, характеризується значною мінливістю та добре вираженими десятирічними коливаннями. Оцінка трендів свідчить про їх незначну величину: слабкий спадний тренд за тестами Сена і Манна–Кендалла ($-0,2$ см за десятиріччя; $Z_s = -0,80$).

Максимальна сезонна висота снігового покриву (рис. 1б) в середньому зменшується на $0,7$ – $1,1$ см за десятиріччя, хоча у 1998 – 2015 рр. спостерігався період підвищення з абсолютним максимумом у сезоні $1999/2000$ рр. Середня сезонна висота снігу також має спадні тенденції, проте невеликої величини ($0,1$ – $0,2$ см за десятиріччя); для середньої висоти, розрахованої за всі дні сезону, характерні 15 -річні цикли та узгодження з динамікою максимальної висоти.

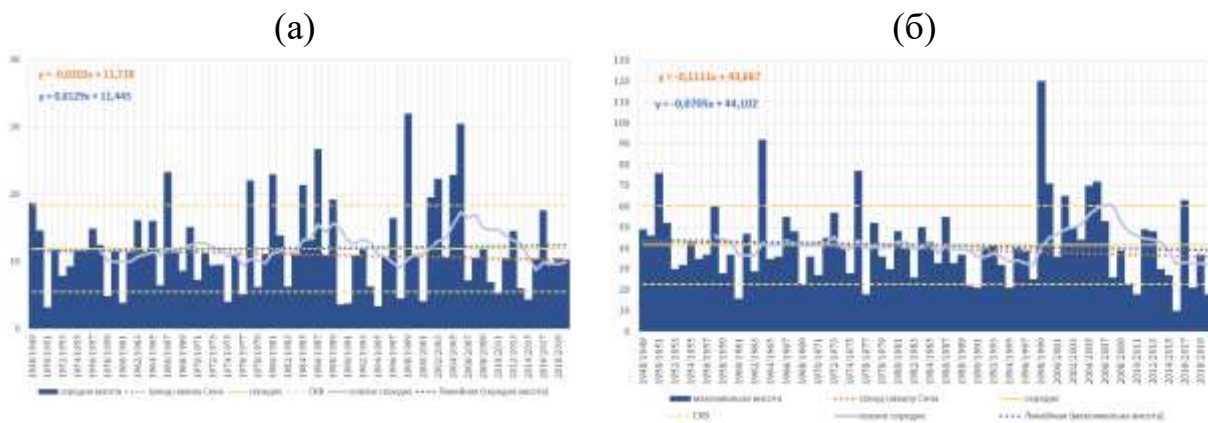


Рисунок 1 – Середня висота снігового покриву, визначена за всі дні (а), та максимальна висота снігового покриву (б) за зимові періоди $1948/1949$ – $2019/2020$ рр.

Аналіз розподілу днів за класами висоти підтвердив, що частка днів із висотою 11 – 20 см зменшується швидше, ніж у інших класах, а сезони без формування снігу понад 30 см є досить численними. У середньому найбільша висота снігу в межах сезону припадає на лютий, тоді як у жовтні–листопаді сніговий покрив лише формується й має невелику середню висоту, а навесні швидко зменшується. Динаміка приростів показує, що найбільша швидкість накопичення снігу припадає на січень–лютий, однак процеси руйнування переважають упродовж майже всього сезону: кількість днів із від’ємним приростом часто більша за кількість днів із додатним приростом навіть у період активного накопичення.

Індекс сніжності зими на ст. Славське змінюється від дуже малосніжних до дуже сніжних зим, але більшість сезонів належить до груп помірно малосніжних–сніжних. Для індексу характерні 15 -річні коливання та невеликий спадний тренд (приблизно $0,06$ одиниці за десятиріччя).

Натомість індекс суворості зими зменшується істотніше — близько 0,2 одиниці за десятиріччя, що відображає пом'якшення зимових температурних умов. Сумісний аналіз індексів сніжності й суворості дозволив виділити 36 типів зим; найчастіше трапляються прохолодні малосніжні або помірно сніжні зими та помірно м'які зими з дуже малою кількістю снігу, які разом становлять близько третини всіх зим. Між індексами зафіксовано тісний лінійний зв'язок ($r \approx 0,75$), що підтверджує узгодженість термічного режиму та снігонакопичення.

Середня дата появи снігового покриву становить 24 листопада, а дата повного руйнування — 25 березня.

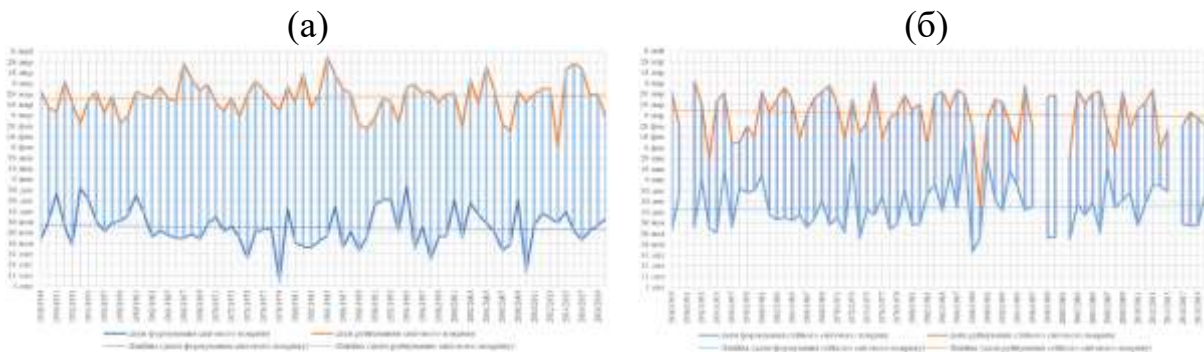


Рисунок 2 – Дати появи та руйнування снігового покриву (рис. 2а) і стійкого снігового покриву (рис. 2б) на станції Славське за сезони 1948/1949–2019/2020 рр.

Стійкий сніговий покрив у середньому встановлюється 14 грудня і руйнується 11 березня. Показано, що дати появи нестійкого снігового покриву мають тенденцію до більш раннього настання, тоді як сходження зсувається до більш пізніх строків; у результаті тривалість сезону з нестійким сніговим покривом зростає приблизно на 1 день за десятиріччя, тоді як тривалість стійкого снігового покриву скорочується.

Висновок. Станція Славське характеризується значною сніговістю та високою мінливістю: середня висота снігового покриву становить близько 12 см, абсолютний максимум — 120 см. Сезон зі сніговим покривом триває в середньому 122 дні, зі стійким — 81 день, хоча в окремі роки він може не формуватися. Для більшості снігових характеристик виявлено спадні тенденції, найбільш виражені для висот 10–20 см, на тлі зростання тривалості нестійкого снігового покриву. У часових рядах простежуються 15-річні цикли, а типізація зим за індексами сніжності та суворості підтверджує переважання малосніжних і помірно м'яких зим та тісний зв'язок між температурним режимом і снігонакопиченням.

Перелік посилань

1. Szyga-Pluta, K. Changes in snow cover occurrence and the atmospheric circulation impact in Poznań (Poland). *Theor Appl Climatol.* 2022. 147, 925–940. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03875-8>

ОПАДИ ТА ПІДВИЩЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ОДЕСІ: ЧИ НАБЛИЖАЄТЬСЯ СЕРЕДЗЕМНОМОРСЬКИЙ КЛІМАТ?

В. М. Хохлов, д-р геогр. наук, професор
Г. О. Боровська, канд. геогр. наук, доцент

Кафедра метеорології та кліматології
halyna.borovska@onu.edu.ua, valeriy.khokhlov@onu.edu.ua

У Паризькій угоді було заявлено про мету обмежити довгострокове глобальне потепління не більше ніж $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ порівняно з доіндустріальним базовим періодом. 2023 рік був першим роком, коли середня глобальна температура перевищила вищевказане граничне значення, оцінене в $1,54 \pm 0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$. Середньорічна глобальна температура 2024 року була ще вищою – $1,62 \pm 0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$. На регіональному рівні глобальне потепління проявляється не лише у підвищенні середньорічної або сезонної температури, часто більшою мірою, але й у змінах регіональної великомасштабної атмосферної циркуляції, взаємодії повітряних мас над сушею та морем тощо, що, у свою чергу, впливає на регіональні режими опадів. Дані про температуру повітря та кількість опадів можна спільно використовувати для визначення типу регіонального клімату, наприклад, за класифікацією клімату Кеппена-Гейгера. Важливо зазначити, що зміни екстремумів спостерігаються раніше для подій, пов'язаних з температурою, ніж для подій, пов'язаних з опадами. Ця різниця може становити кілька десятиліть для майбутнього помірному клімату

Методологія даного дослідження полягає у порівнянні річних циклів у містах із середземноморським кліматом у 1991–2020 роках та в Одесі як у 1991–2020 роках, так і в 2021–2050 роках для:

- температури та опадів, кліматичних параметрів, що визначають Середземноморські типи клімату Csa та Csb;
- деяких кліматичних індексів для уточнення режиму опадів, що стосуються середземноморського клімату.

Це дозволяє виявити, які параметри режиму опадів в Одесі вже мають або незабаром матимуть риси середземноморського клімату, і, відповідно, чи можливий середземноморський клімат тут у майбутньому.

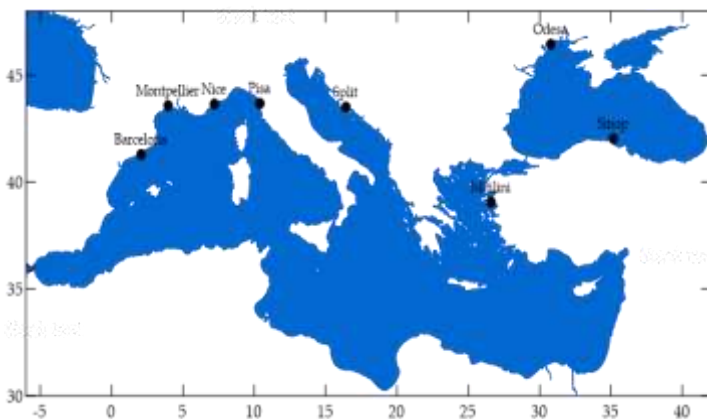
У цьому дослідженні використовуються дані спостережень з проекту ECA&D 2021. Кліматичні дані за 2021–2050 роки для Одеси [1] містять 26 та 76 симуляцій за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 відповідно 14 регіональних кліматичних моделей проекту EURO-CORDEX з горизонтальною роздільною здатністю просторових сіток у RCM $\sim 0,11^{\circ}$ або $\sim 12\text{ км}$.

Локальний режим опадів визначається не лише довгостроковими середньорічними або місячними значеннями, але й набором стандартних та значущих кліматичних індексів, пов'язаних з опадами. Європейський набір

даних та оцінка клімату (ECA&D 2025) надає найповніший набір індексів, включаючи показники, пов'язані як із середніми, так і з екстремальними значеннями. В цьому дослідженні аналізуються вісім кліматичних індексів, пов'язаних з опадами:

- середньодобова температура TG, (°C);
- сума опадів RR (мм);
- RR1 вологі дні ($RR \geq 1$ мм), (дні);
- простий індекс добової інтенсивності SDII, (мм/вологі дні);
- CWD максимальна кількість послідовних вологих днів, (дні);
- R75p дні з RR > 75-го перцентилля добової кількості (помірно вологі дні), (дні);
- R10mm дні з сильними опадами ($RR \geq 10$ мм), (дні);
- RX1 день найбільша добова кількість опадів, (мм).

Режими опадів в Одесі порівнюються з сімома містами із середземноморським кліматом, розташованими на узбережжях Середземного моря та прилеглих морів (рис. 1). Міста були обрані таким чином, що вони географічно розташовані в різних частинах Середземноморського регіону, поблизу моря, і характеризувалися середземноморським кліматом – сухий літній сезон та спекотне або тепле літо – притаманний усім їм. Остання умова є ключовою для вибору. Обрані міста представляють широкий діапазон річних ходів температури та опадів і здебільшого розташовані на північному узбережжі Середземного моря.



| City | Geographical coordinates |
|-------------|--------------------------|
| Barcelona | 41°17'34"N, 2°04'11"E |
| Montpellier | 43°34'37"N, 3°57'48"E |
| Nice | 43°38'56"N, 7°12'32"E |
| Pisa | 43°40'56"N, 10°23'44"E |
| Split | 43°30'30"N, 16°25'35"E |
| Mitilini | 39°03'33"N, 26°35'59"E |
| Sinop | 42°01'59"N, 35°10'00"E |
| Odesa | 46°26'26"N, 30°46'13"E |

Рисунок 1 - Розташування міст у Середземноморському регіоні

Що стосується Одеси, то головною відмінністю від інших місць є значно менша кількість опадів у найвологіші місяці. Клімат в Одесі вважався б середземноморським, якби кількість опадів у найсухіший місяць літнього періоду була вдвічі меншою (14,2 мм) або в найвологіший місяць зимового періоду вдвічі більшою (84,1 мм) порівняно з сучасними умовами.

Оскільки регіони з середземноморським кліматом влітку є привабливими для відпочивальників, а це дослідження зосереджено на опадах, логічно проаналізувати вплив зміни клімату на туризм в Одесі, використовуючи метрику, оцінену за параметрами, включаючи опади, такі як Індекс туристичного клімату (ТСІ) або Індекс клімату відпочинку (НСІ). Перевага надається НСІ, який успішно використовується в Середземноморському регіоні [2, 3].

Це дослідження визначає, наскільки клімат Одеси в недавньому минулому та найближчому майбутньому відрізняється від клімату середземноморського клімату. У цьому контексті дані, що спостерігалися на метеостанціях з 1991 по 2020 рік, порівнюються кількісно, тоді як дані сітки за 2021-2050 роки якісно порівнюються з минулими даними, щоб з'ясувати, чи з'явиться тенденція до зменшення літніх опадів у найближчому майбутньому, що потенційно може призвести до зміни типу клімату в бік середземноморського. Для визначення типу клімату різниця між кількістю опадів у літній та зимовий періоди є більш релевантною, ніж їх точні значення.

На рис. 2 показано річний хід середньодобової температури повітря та суми опадів для восьми міст, визначених на рис. 1.

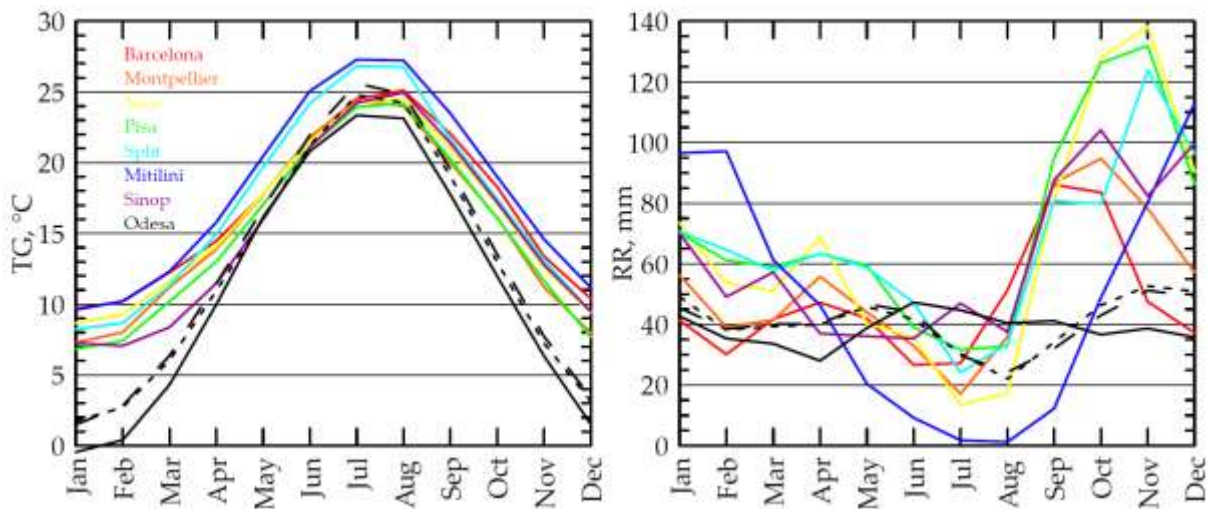


Рисунок 2 – Середньомісячна середньодобова температура (TG, °C) та сума опадів (RR, мм) за 1991–2020 роки на метеостанціях Середземного та Чорного морів.

Для Одеси пунктирні та штрихові лінії використовуються для середнього значення ансамблю EURO-CORDEX за 2021–2050 роки за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 відповідно.

У 1991–2020 роках температури в Одесі відрізнялися від інших міст нижчими значеннями з вересня по квітень з мінімумом у січні -0,4 °C. Різниця була більшою в найхолодніші місяці та могла перевищувати 7 °C.

У 2021–2050 роках підвищення температури призведе до позитивних середньомісячних температур взимку та меншої різниці температур у квітні та вересні, тобто найближчі літні температури в Одесі будуть дуже близькими до тих, що спостерігаються зараз у містах із середземноморським кліматом. Більше того, майбутні температури з червня по серпень в Одесі за сценарієм RCP8.5 перевищуватимуть більшість спостережуваних.

У містах із середземноморським кліматом зазвичай фіксувався значний максимум опадів в осінні місяці та мінімум, щонайменше втричі менший, у літній період. Різниця між сухою та вологою частинами року була суттєво вираженою в Мітіліні (о.Лесбос, Греція), де загальна кількість опадів майже не спостерігалася в липні та серпні, а в грудні перевищувала 100 мм.

В Одесі кількість опадів протягом року коливалася в діапазоні від 28 до 48 мм, і обидва ці значення були зафіксовані в літній період, без значних максимумів чи мінімумів. У 2021–2050 роках основною відмінністю для Одеси є зменшення кількості опадів у серпні майже вдвічі, з 41 до 22 мм, та незначне збільшення кількості опадів у зимовий період. Кількість опадів в Одесі з листопада по липень буде дуже схожою на спостережувану, наприклад, у Барселоні та Монпельє, але значно меншою з серпня по жовтень. Останні міста зазнають впливу Західно-Середземноморського коливання, негативна фаза якого проявляється як область низького атмосферного тиску в Західному Середземномор'ї з пов'язаними з ним опадами. В останні десятиліття зареєстрована негативна тенденція індексу цього коливання. Північноатлантичне коливання, ще одна великомасштабна циркуляція, важлива для Середземномор'я, також переважно перебувала в негативній фазі влітку останніх десятиліть, збільшуючи кількість опадів у цьому регіоні.

Порівняння режимів опадів в Одесі та містах із середземноморським кліматом показує, що основні відмінності спостерігаються в останні чотири місяці року. Середземноморський клімат характеризується відносно сухими літніми місяцями та різким збільшенням місячної кількості опадів протягом вересня-грудня. Це, власне, і визначає феномен середземноморського клімату – сухе літо та вологий зимовий період.

У минулому максимум опадів в Одесі зареєстровано в літній період, але середньорічний хід опадів за ансамблем найближчим часом буде подібним до властивого середземноморському клімату, хоча й без вираженого максимуму наприкінці року. Зменшення кількості літніх опадів принаймні запобігає погіршенню кліматичної придатності для

рекреаційного туризму в міському середовищі, що, безумовно, сталося б через підвищення температури повітря за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

В Одесі середньорічна температура повітря у 2021–2050 роках порівняно з 1961–1990 роками, ймовірно, зросте приблизно на 3 °С, а загальна річна кількість опадів залишиться незмінною. Однак річний хід опадів змінюється, що призводить до більш сухих літніх місяців. Зменшення кількості опадів в Одесі в літній період, ймовірно, є результатом блокувальних процесів, а сухе та гаряче повітря з Північної Африки частіше поширювалося на південь України в останні роки.

Зміна клімату, яка призвела до підвищення глобальної та регіональної температури повітря, частішої спеки та посух, погіршила умови теплового комфорту для багатьох людей у всьому світі. Зміна клімату також впливає на режими опадів у різних регіонах. Для аналізу змін кількості опадів бажано використовувати річний хід місячної суми опадів та кліматичні індекси, пов'язані з опадами, оскільки довгострокова тенденція річної кількості опадів може бути незначною. Зростання температури влітку через глобальне потепління погіршує придатність клімату для туризму в багатьох місцях, розташованих на північному узбережжі Середземного моря, зміщуючи туристичний сезон на осінь та весну.

Ймовірність принаймні непогіршення придатності клімату для літнього туризму в Одесі є вражаючою. Можливо, м'якше та сухіше літо на узбережжі Чорного моря в Україні може привабити більше літніх відпочивальників у майбутньому.

На завершення, відповідь на запитання в заголовку така: «Так, клімат в Одесі, ймовірно, буде середземноморським найближчим часом, якщо глобальний клімат зміниться відповідно до розглянутих сценаріїв».

Перелік посилань

1. Borovska H. and Khokhlov V. 2024. Climate data for Odesa, Ukraine in 2021–2050 based on EURO-CORDEX simulations. *Geosci. Data J.* 11 148–59 <https://doi.org/10.1002/gdj3.197>.
2. Scott D, Rutty M, Amelung B. and Tang M. 2016 An inter-comparison of the Holiday Climate Index (HCI) and the Tourism Climate Index (TCI) in Europe. *Atmosphere.* 7 80 <https://doi.org/10.3390/atmos7060080>.
3. Lemesios I, Varotsos K V, Georgopoulou E., Sarafidis Y., Kapetanakis D., Mirasgedis S., Gakis N. and Giannakopoulos C. 2024. Effects of climate change on the future attractiveness of tourist destinations in Greece. *Atmosphere.* 15 1185 <https://doi.org/10.3390/atmos15101185>.



Підсекція

ОКЕАНОЛОГІЯ ТА ГІДРОГРАФІЯ



ПРИРОДООРІЄНТОВАНІ РІШЕННЯ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ ЯК ЗАСІБ ЗНИЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО СТРЕСУ В МІСТІ ІЗМАЇЛ

М. О. Слізже, канд. геогр. наук, викладач

М. А. Берлінський, д-р геогр. наук, професор

Ю. Ель Хадрі, PhD з наук про Землю, старший викладач

Кафедра океанології та морського природокористування

m.o.slizhe@gmail.com

Вступ. У 2022 році на Асамблеї ООН з навколишнього середовища було офіційно прийнято визначення «природоорієнтованих рішень» як «дій із захисту, збереження, відновлення, сталого використання та управління природними або зміненими наземними, прісноводними, прибережними та морськими екосистемами, які ефективно та адаптивно вирішують соціальні, економічні та екологічні проблеми, підвищують стійкість та переваги для біорізноманіття» [1]. Термін «природоорієнтовані рішення» охоплює різні види дій та рівнів втручання у природні екосистеми, спрямовані на вирішення екологічних, соціальних та економічних проблем у регіональному та глобальному масштабі.

Метою дослідження є аналіз уразливості території міста Ізмаїл до зміни температурного режиму та можливості адаптації до цих змін шляхом реалізації природоорієнтованих рішень.

Місто Ізмаїл розташоване у степовій зоні в Придунайській низовині. Клімат в цьому районі характеризується спекотними та сухими умовами у літні місяці завдяки переважанню субтропічних областей високого тиску в цей період. Середня липнева температура повітря становить 31-30 °С, максимальна – 38-41 °С. Середньомісячна кількість опадів коливається від 57 мм у червні до 36 мм у серпні. Нерідко відзначаються атмосферні посухи, які можуть продовжуватись протягом усього весняно-літнього періоду (наприклад, 2007, 2009 та 2012 рр.), а також досягати характеру сильних та екстремальних посух. Взимку територія району перебуває переважно у зоні дії полярного фронту. В цей сезон збільшується повторюваність циклонів та відзначаються помірні температури (від -1,2 до 1,7 °С) та мінлива дощова погода (28-37 мм).

Аномалії приземної температури повітря. Аналіз середньомісячних аномалій приземної температури повітря (АТ2м) за період 1970-2020 рр. за даними продукту CRU бази даних NOAA показав, що в цілому з 2000-х років переважають додатні аномалії. В літній період переважання додатних АТ2м відзначається з кінця 80-х років ХХ ст. Також, можна відзначити відсутність зимових аномально холодних температур починаючи з 2013 р. Загалом підвищені середні значення АТ2м спостерігаються в період з січня по березень (від 0,84 до 1,07 °С) та з червня по серпень (від 0,70 до 1,02 °С). Максимальні значення середньомісячних АТ2м знаходяться в межах від

3,59 до 6,86 °С. Найбільш високі додатні аномалії відзначаються із січня по березень та у листопаді. У більшості випадків максимальні за величиною середньомісячні АТ2м спостерігаються з 2010 року.

Від’ємні середньомісячні АТ2м знаходяться у межах -1,52 до -7,82 °С. Основний період, коли в районі дослідження температура повітря була нижчою за свою кліматичну норму, був 70-80 рр. ХХ ст., а найвищі відхилення відзначалися з листопада до березня. Загалом найбільш значні відхилення температура повітря спостерігаються в холодне півріччя (з листопада по березень). Так, СКО в ці місяці становить 2,08-2,95 °С, що приблизно в 2 рази вище за величину СКО в тепле півріччя.

Аналіз коефіцієнтів лінійної регресії АТ2м показав, що статистично значимий позитивний тренд спостерігається період із березня по листопад. Найбільш високі показники зростання АТ2м відзначаються у літні місяці та становлять 0,06-0,08 °С/на рік, що за 30 років дає збільшення середньомісячних АТ2м на 2,4 °С.

Поширеність хвиль тепла. Хвиля тепла – це період тривалих аномально високих приземних температур повітря щодо тих, які зазвичай спостерігаються у даному районі. Показником схильності території впливу хвиль тепла є кількість об’єднаних тропічних ночей (мінімальна добова температура повітря > 20 °С) та спекотних днів (максимальна добова температура повітря > 35 °С) на рік.

Аналіз приземної температури повітря (Т2м) на ст. Ізмаїл у період з 1970-2020 рр. показав, що кількість об’єднаних тропічних ночей та спекотних днів збільшується від десятиліття до десятиліття. Аналогічні показники відзначаються і на станціях Галац та Тулча, розташованих у басейні Нижнього Дунаю на території Румунії (табл. 1).

Таблиця 1 – Середньорічна кількість об’єднаних тропічних ночей та спекотних днів

| Станція | Період | | | | | |
|---------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|-----------|
| | 1970-1979 | 1980-1989 | 1990-1999 | 2000-2009 | 2010-2019 | 2020-2024 |
| Ізмаїл | 0,1 | 0,6 | 0,8 | 2,7 ^[1] | 2,0 ^[2] | н/д |
| Галац | н/д | н/д | 1,6 | 5,6 | 7,2 | 7,0 |
| Тулча | н/д | н/д | 1,0 | 1,9 | 1,4 | 2,0 |

* н/д – немає даних, [1] – період 2000-2003 рр., [2] – період 2013-2015 рр.

Відмінності у величині показника на різних станціях пов’язані з місцевими фізико-географічними умовами, які впливають на температурно-вологісний режим, а також віддаленістю станцій від Чорного моря.

Природоорієнтовані рішення, спрямовані на зниження впливу теплового стресу у міському середовищі. Виходячи з того, що одним з основних викликів, пов'язаних зі зміною клімату, в районі дослідження є збільшення температури повітря, що найбільш сильно виявляється в літні місяці, коли температури досягають максимальних значень в річному ході, одним із способів пом'якшення цього виклику є реалізація природоорієнтованих рішень, спрямованих на зменшення впливу теплового стресу, а також зниження температури повітря. Прямими вигодами від застосування таких рішень є тепловий комфорт, а також покращення громадського здоров'я та благополуччя, в результаті зниження факторів ризику, спричинених збільшенням температури повітря. Для визначення можливих природоорієнтованих рішень необхідно брати до уваги екосистемні послуги, що надаються екосистемами в міському середовищі, спрямовані на регулювання температури (наприклад, охолодження). В даному випадку провідна роль у вирішенні проблеми віддається таким природним процесам як випаровування, евапотранспірація та затінення. Найбільш ефективними природоорієнтованими рішеннями є створення зелених зон (міські парки та сади, озеленені шкільні двори та спортивні майданчики, луки, зелені смуги), збільшення площі, зайнятої деревами та чагарниками, а також створення екологічно чистого середовища (зелені дахи, стіни та фасади, зелені вулиці, провулки).

Зелений простір це багатофункціональний відкритий простір, що характеризується природною рослинністю та водопроникними поверхнями. Він може включати (окремі) дерева або деревну рослинність на додаток до відкритого простору. Створення неглибоких заглиблень у підстильному покриві може затримувати опади, збільшувати інфільтрацію та евапотранспірацію, забезпечуючи тимчасове зберігання води. Цей тип природоорієнтованих рішень також може сприяти покращенню якості повітря та зниженню ефекту міського острова тепла.

Вуличні дерева впливають на температуру в місті за рахунок тіні, яку вони створюють, та ефекту евапотранспірації. Дерева можуть забезпечити найкращий тепловий комфорт для пішоходів і, отже, знизити потребу в охолодженні прилеглих будівель [2]. Поєднання наявності вуличних дерев із загальним плануванням та конфігурацією вулиць може забезпечити оптимальні стратегії зниження теплового стресу у місті. Парки площею понад 10 га мають найбільшу дальність та інтенсивність охолоджуючого ефекту у міській зоні [3]. Правильний вибір найбільш сприятливих видів рослин також може підвищити ефективність міського охолодження [4].

Природні або напівприродні системи, включаючи багаторічну деревну рослинність, виконують функцію перехоплення опадів, збільшення евапотранспірації, створення тіні, стабілізації схилів, поглинання газоподібних забруднюючих речовин, уловлювання твердих частинок, а

також уловлювання та зберігання CO₂. Дерева та чагарники можуть впливати на розподіл газів у атмосфері міст, змінюючи якість місцевого повітря та впливаючи на комфорт людини.

Зелені дахи цікаві як забезпечення природного теплопостачання, допомагають вирішити ряд екологічних і соціально-економічних проблем, викликаних розростанням міст і зміною клімату. Вони є штучними екосистемами, здатними пом'якшити такі проблеми, як міські острови тепла, оскільки поглинають менше сонячного тепла в порівнянні з темним дахом. Зелені дахи можуть знизити навантаження на систему охолодження до 70 %, знизити температуру в приміщенні на цілих 15 °C та помітно покращити умови теплового комфорту.

Висновки. У районі дослідження відзначається зміна температурних умов у бік спекотніших і посушливіших, що простежується у переважанні додатних аномалій приземної температури повітря в останні десятиліття, особливо в теплий період року. Також, почастишали хвилі тепла, повторюваність яких з початку 2000-х років різко зростає. Основними шляхами зниження ризиків, викликаних зміною кліматичних умов у бік більш спекотних в умовах міста, є реалізація міською владою та місцевими жителями природоорієнтованих рішень, які знижують вплив теплового стресу, що також позитивно впливає на якість повітря та естетику міста, а так само сприятиме покращенню громадського здоров'я та благополуччя.

Подяки. Дослідження підтримується проектом «Відновлення вод басейну річки Дунай для екосистем та людей від гір до узбережжя - DANUBE4all». Автори висловлюють подяку Європейському виконавчому агентству з питань клімату, інфраструктури та навколишнього середовища (CINEA) за надання фінансової підтримки цьому дослідженню в рамках гранту 101093985.

Перелік посилань

1. UNEP. *Nature-based solutions for supporting sustainable development: resolution* / adopted by the United Nations Environment Assembly (UNEP/EA.5/RES.5). UNEP. Environment Assembly (5th sess.: 2021: Nairobi). URL: <https://digitallibrary.un.org/record/3999268?v=pdf> (дата звернення: 28.11.25)
2. Wang Y., Akbari H. The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal. *Sustainable Cities and Society*. 2016. Vol. 27. P. 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.013>
3. Aram F. et al. Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*. 2019. Vol. 5(4). P. e01339. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01339>
4. Feyisa G.L., Dons K., Meilby H. Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and urban planning*. 2014. Vol. 123. P. 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.008>

ГІДРОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕЛЬТИ ДУНАЮ В РАЙОНІ ЗАТОКИ МАСУРА

М. А. Берлінський, д-р геогр. наук, професор

Ю. Ель Хадрі, PhD з наук про Землю, старший викладач

М. О. Сліже, канд. геогр. наук, викладач

Кафедра океанології та морського природокористування

nberlinsky@ukr.net

Вступ. Затока Масура розташована в місці злиття Сулінського і Кілійського рукавів річки Дунай з Чорним морем (рис. 1). Частина акваторії затоки входить до Дунайського біосферного заповідника (Рамсарське угіддя ЗУА003). Водно-болотні угіддя (ВБУ) затоки Масура протягом століть були мало використовуваними, але у ХХ ст. ситуація змінилася у бік більш активного використання акваторії затоки та прилеглих територій. Деякі її ділянки зазнали осушення, а також засипалися, обваловувалися і перетворювалися на сільськогосподарські угіддя або землі під забудову. Всі ці процеси сприяли втраті ВБУ та екосистемних послуг, які вони надавали, таких як рибні ресурси, водопостачання, регулювання клімату, пом'якшення наслідків повеней та посух, відпочинок та туризм. Сьогодні признано, що основною причиною деградації ВБУ затоки Масура є зростаючий антропогенний тиск, а саме гідроморфологічні зміни (будівництво гребель, дамб, каналізаційних каналів, гідроелектростанцій, розвиток судноплавства), забруднення (біодобавками або ксенобіотиками), потепління, надмірна експлуатація, потрапляння чужорідних інвазивних видів, тощо.

Метою дослідження є визначення гідролого-екологічної характеристики затоки Масура в останні десятиліття.

Результати дослідження. У середині ХІХ ст. затока Масура мала широкий отвір у морі (13 км) і глибини понад 12 м, що забезпечувало водним біоценозам такі самі морські умови, як і в морі [1]. Однак у останні десятиліття гідроморфологічні зміни у басейні Дунаю призвели до змін у гідролого-екологічному стані. Роботи, які постійно проводяться для забезпечення судноплавства на Сулінському каналі, та зміщення морських течій у гирлі затоки сприяли швидкій еволюції затоки у бік прісноводної лагуни. Алювіальні відкладення та швидке просування вторинної Кілійської частини дельти у північній частині затоки, а також будівництво нового каналу (9 км) у гирлі Сулінського рукава призвели до прискореного звуження гирла затоки. В результаті в середині 2000-х років розкриття затоки у бік моря досягло 5 км, а її глибина зменшилася до 2 м [1].

Зміна періодів повеней та сильних посух з високими температурами в останні десятиліття ще більше сприяли звуженню гирла затоки, що призвело до прискореного замулення. Крім того, раніше затоплена піщана

мілина, розташована в гирлі затоки, вийшла на поверхню, обмеживши приплив морських вод (рис. 2).



Рисунок 1 – Карта української частини Дельти Дунаю

Зміна довкілля також вплинула на якість води – відбулося зниження солоності та поступовий перехід від морських характеристик до прісноводних, що вплинуло також на водні спільноти. Поступове перетворення затоки Масура на лагуну з обмеженим зв'язком з морем та збільшення надходження прісної води з річки Дунай визначили зміну абіотичних умов з морських на прісноводні характеристики [2]. В умовах активного замулення, що виникло в результаті алювіальних відкладень, глибина затоки зменшилася з первинних значень понад 12 м до середніх 1,4 м. Затоплена піщана мілина, створена морськими течіями, ще більше обмежила приплив морської води в акваторію затоки. Береги та північно-західна частина затоки заросли надводною, підводною та плаваючою рослинністю, внаслідок чого затока нині нагадує мілководне озеро, характерне для дельти Дунаю.



Рисунок 2 – Затока Масура 31.07.2025 р. на знімку супутника Landsat 8

Результати дослідження [3], проведеного у 2005-2007 рр., показали, що індекс прозорості, який визначається як відношення глибини Секкі до загальної глибини, продемонстрував тенденцію до зростання. Причиною стали повені та посухи попередніх років. Паводки принесли велику кількість алювію. В мілководних умовах затоки Масура, схильних до впливу вітрів і штормів, часто відбувається змучування опадів, що знижує прозорість. Це негативно позначається на розвитку первинних продуцентів. Значення рН варіювалося у звичайному для дунайської води діапазоні, з трохи лужним характером: 7,5-9,1. Більш високі значення спостерігаються влітку, що є наслідком інтенсивних процесів фотосинтезу, коли CO_2 поглинається із навколишнього середовища, підвищуючи рН. Електропровідність знаходилася на низькому рівні (близько 400 мкСм/см), що характерно для прісноводних екосистем. Насичення киснем близько 100 %. Найнижчі значення реєструються після тривалих паводків та високого припливу алювіальних вод, а також постійного повторного зважування дрібних частинок, що призводить до підвищеного споживання кисню у процесах розкладання. Вміст хлорофілу-*a* демонструє тенденцію до зростання.

Загалом, в останні десятиліття в затоці Масура концентрації біогенних речовин демонструють помірні значення. Оцінка трофічного статусу, заснована на аналізі розчиненого неорганічного азоту, загального фосфору, насичення киснем та вмісту хлорофілу-*a*, показує мезотрофний статус, тоді як більшість озер дельти Дунаю є евтрофними [4].

Необхідно відмітити, що спостережуване підвищення температури води в затоці Масура може обумовлювати інтенсивний розвиток водоростей. Цвітіння ціанобактерій, що супроводжується виділенням

токсинів деякими видами негативно впливатиме на якість води, сільське господарство та здоров'я людини.

Поступове зниження рівня води та збільшення навігації призведуть до збільшення вмісту забруднюючих речовин, що негативно позначиться як на біорізноманітті, так і на здоров'ї людини, оскільки частина цих забруднюючих речовин може акумулюватися у харчовому ланцюгу.

Висновки. Розташована в місці впадання річки Дунай у Чорне море, затока Масура знаходиться під впливом безлічі антропогенних факторів. До найбільш істотних відносяться гідроморфологічні зміни (осушення частин дельти в сільськогосподарських цілях, будівництво каналів, тощо) забруднення (важкі метали, нафтопродукти, миючі засоби, стійкі органічні забруднювачі, тощо) евтрофікація (внаслідок підвищення вмісту поживних речовин), введення інвазивних видів, підвищення температури. Затока Масура знаходиться під впливом, з одного боку, водозбору Дунаю, а з іншого боку, змін, що відбулися у Чорному морі. Під цим подвійним впливом затока перетворилася з морської затоки на прісноводну лагуну, яка знаходиться під загрозою швидкого замулення.

Зростання тиску з боку безлічі прямих факторів збільшує ймовірність потенційно різких змін в екосистемах ВБУ затоки, відновлення яких може бути значним за масштабом та високовитратним, або навіть неможливим для реалізації.

Подяки. Це дослідження підтримується проектом «Переосмислення прибережних ландшафтів за допомогою кліматично стійких втручань: системні рішення від суші до моря (Coast-Scapes)». Автори висловлюють подяку Європейському виконавчому агентству з питань клімату, інфраструктури та навколишнього середовища (CINEA) за надання фінансової підтримки цьому дослідженню в рамках гранту 101213138.

Перелік посилань

1. Zinevici V., Ionică D., Parpală L., Mușă R., Sandu C. Plankton structure in the Musura Bay (Danube-Black Sea system) in the conditions of 2005 year. *Limnological Rep.* 2006. Vol. 36. P. 422-427.

2. Panin N., Overmars W. The Danube Delta evolution during the holocene: reconstruction attempt using geomorphological and geological data, and some of [the existing cartographic documents](#). *Geo-Eco-Marina.* 2012. Vol. 18. P. 75-104. DOI: [10.5281/zenodo.56859](#).

3. Coman A., Sandu C. Peculiarities of ecological evolution of Musura Bay (the Danube Delta) between 2005-2007. *Rom. J. Biol.-zool.* 2009. Vol. 54. No. 2. P. 167-180.

4. Sandu C. Relationships between chlorophyll-a and abiotic factors in Danube Delta lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 2006. Vol. 29(4). P. 1857-1860. DOI: [10.1080/03680770.2006.11903012](#)

ВПЛИВ АТМОСФЕРНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ГІДРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВАНДЕЛЬТИ ДУНАЮ

Ю. Ель Хадрі, PhD з наук про Землю, старший викладач

М. А. Берлінський, д-р геогр. наук, професор

М. О. Сліже, канд. геогр. наук, викладач

Кафедра океанології та морського природокористування

magribinetsm@gmail.com

Вступ. Природна річкова дельта перебуває у стані постійної зміни. Сьогодні природні цикли зміни та відродження дельти річки Дунай обмежені діяльністю людини, такою як зведення дамб на річці для навігації та боротьби з повенями, активне судноплавство, інтенсивне використання навколишніх земель для сільськогосподарських потреб, викиди забруднюючих речовин та занесення чужорідних видів, що заклало основу для сьогоденної екологічної кризи.

Водно-болотні угіддя Дельти Дунаю є цінним джерелом екосистемних послуг та середовищем рідкісних і зникаючих видів флори та фауни. Крім діяльності людини, такі природні чинники як штормові нагони і повені надають згубний вплив на дельту, завдаючи шкоди прибережним водно-болотним угіддям.

Багато районів дельти пронизані навігаційними каналами, які доставляють солону воду глибоко в солонуваті та прісноводні водно-болотні угіддя, порушуючи баланс солоності, необхідний рослинам, що утримують ґрунт водно-болотних угідь. Таке вторгнення морської води призводить до появи територій, які здаються здоровими на поверхні, але надто вразливими, щоб витримати додаткові навантаження, включаючи діяльність людини та зміну клімату.

Метою дослідження є визначення кількісних показників зміни гідрологічних характеристик прибережної акваторії Дельти Дунаю під впливом проходження атмосферного циклону в поточних кліматичних умовах.

Матеріали та методи дослідження. Для аналізу розвитку синоптичної ситуації використовувалися карти приземного аналізу за 04-10.02.2020 р. за 00 UTC. Аналіз метеопказників виконано за даними спостережень на метеостанції Вилкове.

Для аналізу гідрологічних характеристик були використані добові та середньомісячні багаторічні дані про складові швидкості течій u і v , температуру поверхні моря (ТПМ) та солоність води на поверхні моря (S), висоту морської поверхні відносно геоїду z , отримані з набору даних Global Ocean Physics Reanalysis.

Результати дослідження. Синоптична ситуація в районі дослідження характеризувалася розвитком циклонічної активності у період 05-06.02.2020 р. над акваторією Чорного моря та прилеглими територіями.

Висотне баричне поле: 04.02.2020 г. над північно-східною Атлантикою розташувався висотний баричний гребінь. Через центральну Європу проходила висотна барична улоговина, пов'язана за осередком циклонічної активності над Гренландським морем та північчю ЄТР. ВФЗ мала меридіональну спрямованість над Західною Європою та квазізональну над акваторією Чорного моря.

У наступні сутки висотна улоговина углиблювалася та змістилася на схід. 07.02.2020 р. її вісь розташовувалася над Чорним морем та ЄТР. Над територією Центральної Європи встановився поширений висотний баричний гребінь. В період 08-10.02.2020 р. він змістився на схід та його вісь була орієнтована з південного заходу на північний.

Біля поверхні землі синоптичні процеси у районі дослідження розвивалися наступним чином: 04.02.2020 г. в 00 UTC над акваторією Чорного моря розташовувалась барична улоговина, вісь якої була орієнтована з північного сходу на південний захід, в якій пролягав холодний фронт, що проходив через південно-східну частину моря та узбережжя Туреччини. Над північно-західною частиною Чорного моря (ПЗЧМ) відзначалися вітри західної складової. На ст. Вилкове вночі вітер мав північно-західний та західний напрямок 1-3 м/с, у другу половину доби відбулося посилення швидкості вітру до 7 м/с напрямком південний. Атмосферний тиск о 00 UTC становив 1011,3 гПа. 05.02.2020 р. на територію західного Причорномор'я та західну частину Чорного моря змістився циклон. Центр циклону 05.02.2020 р. о 00 UTC розташовувався над м. Рені, тиск у центрі дорівнював 990 гПа і він був окреслений трьома замкнутими ізобарами. Через південь ПЗЧМ проходив теплий атмосферний фронт. Над акваторією ПЗЧМ о 00 UTC відзначалися південні вітри. На ст. Вилкове вночі спостерігався південний вітер 6 м/с, вранці він змінився на західно-північно-західний (2-3 м/с), а з 15 UTC встановився північний вітер (10 м/с); тиск знизився до 992,6 гПа. 06.02.2020 р. о 00 UTC центр циклону розташовувався над західною половиною Чорного моря. Він почав заповнюватись і був окреслений однією замкнутою ізобарою. Над ПЗЧМ, яка знаходилася під дією північно-західної периферії циклону сформувалася зона підвищених градієнтів приземного тиску, з якою було пов'язано посилення швидкості вітру зі зміною напрямку на північний. На ст. Вилкове 00-18 UTC спостерігався північний вітер (14 м/с). О 21 UTC швидкість вітру зменшилася до 1 м/с напрямком західний; атмосферний тиск о 00 UTC дорівнював 1002,5 гПа. 07.02.2020 г. над ПЗЧМ проходив теплий фронт, пов'язаний з циклоном над центром ЄТР. В районі дослідження відзначався північно-західний вітер. На ст. Вилкове у нічний час

спостерігався вітер західної складової (1-3 м/с); з 09 UTC встановився північний вітер (3-6 м/с); тиск збільшився до 1015,1 гПа. 08.02.2020 р. акваторія Чорного моря знаходилася під дією перехідної зони між циклоном із центром над східною Туреччиною (тиск у центрі 1002 гПа) та антициклоном над Південно-Східною Європою (тиск у центрі 1033,0 гПа). Над ПЗЧМ було сформовано повітряні потоки північного та північно-західного напрямку. На ст. Вилкове спостерігався північний та північно-західний вітер (3-7 м/с), тиск о 00 UTC становив 1024, 8 гПа. 09.02.2020 р. на Балканський п-ов змістився антициклон (тиск центрі 1033,1 гПа). ПЗЧМ знаходилася у полі дії баричного гребеня, вісь якого була орієнтована з південного заходу на північний схід та проходила через територію України. Баричні градієнти над Чорним морем зменшилися, що призвело до зниження швидкості вітру. На ст. Вилкове вночі зберігався північно-західний вітер (2 м/с), в 12 UTC він змінився на південний (до 1 м/с); приземний тиск в 00 UTC становив 1031,5 гПа. 10.02.2020 р. в результаті перебудови баричного поля акваторія Чорного моря перебувала під дією малоградієнтного поля підвищеного тиску, що призвело до зменшення швидкості та зміни напрямку вітру. На ст. Вилкове відзначався південний вітер, який у нічні часи мав швидкість 3-4 м/с, а у другій половині доби – 7-8 м/с. Атмосферний тиск о 00 UTC становив 1030,5 гПа.

Розвиток синоптичних процесів супроводжувався зміною гідрологічних характеристик у прибережній частині акваторії Дельти Дунаю. Відомо, що течії на гирловому узмор'ї переважно визначаються стоком річки та його розподілом по рукавам дельти, вітром, припливами, градієнтами густини води, хвилюванням.

Упродовж періоду 04-10.02.2020 р. в районі дослідження відбувалася зміна синоптичних умов, що супроводжувалося зміною циркуляції повітря. При проходженні циклону 05-06.02.2020 р. встановився північний вітер (14 м/с), при зміні напрямку течії з північно-східної на південно-західну чверть при посиленні модуля швидкості до 28,5 см/с (у районі біля точки злиття Очаківського гирла з Чорним морем) і 70,4 см/с (у районі біля точки злиття Георгіївського гирла з Чорним морем). 07.02.2020 р. швидкість течії зменшилась (модуль швидкості знаходився в межах від 1,6 см/с (біля Очаківського гирла) до 22,9 см/с (біля Георгіївського гирла), та 10.02.2020 р. напрямок течії змінився на північно-східну чверть зі швидкістю від 17,9 см/с (біля Очаківського гирла) до 34,1 см/с (біля Георгіївського гирла).

Аналіз висоти морської поверхні відносно геоїду з показав, що 04-10.02.2020 р. у всіх точках з була нижче середніх багаторічних значень на 0,65-0,66 м. У період 04-06.02.2020 р. відзначалося збільшення z в точках біля узбережжя на 0,14-0,16 м, а в точці, яка розташовувалася на зовнішній межі авандельти на 0,06 см. Зміна z в період 04-08.02.2020 р. має схожий характер із зміною рівня h річки Дунай на ст. Вилкове.

Середньодобове h 04.02.2020 р. було нижче середньомісячного на 0,13 м та становило 0,74 м. Однак 06.02.2020р. h збільшилося на 0,22 м (добовий максимум h збільшився на 0,28 м та досяг 1,23 м). При проходженні циклону 05.02.2020р. на ст. Вилкове випало 9,0 мм опадів (6 мм в строк 00 UTC), що супроводжувалося збільшенням h в період 01-03 UTC до 0,98 м. В цей період на станції відзначався південний вітер (6 м/с).

Наступної доби (06.02.2020 р.) на станції випало 39,8 мм (понад половину місячного значення) і спостерігалось посилення вітру до 14 м/с північний напрямком. Максимум h спостерігався 06.02.2020р. у 06 UTC (1,23 м – місячний максимум у лютому 2020 р.), після чого h зменшився. 07.02.2020 р. h знизився на 0,26 м до величини 0,7 м, що було нижче на 0,04 м рівня 04.02.2020 р.

Аналіз ТПМ показав, що при проходженні циклону (05.02.2020 р.) відзначалося її збільшенням на значення від 0,97 °C до 1,27 °C в різних точках авандельти. 09.02.2020 р. ТПМ зменшилася на 2,02-2,19 °C на всіх ділянках авандельти, крім зовнішньої межі, де ТПМ знизилася на 1,68 °C.

Протягом 04-06.02.2020 р. солоність води на поверхні (S) збільшилася на 0,71 ‰ (біля Очаківського гирла) до 2,15 ‰ (біля Георгіївського гирла), і становила 16,58 ‰ та 16,94 ‰, відповідно. 09.02.2020 р. S зменшилася на 0,19 ‰ (на зовнішній межі авандельти) і 0,86 ‰ (біля Георгіївського гирла), але загалом була вищою за значення 04.02.2020 р. Тобто найменші коливання відзначалися у зовнішній частині авандельти Дунаю, а найбільші в районі Георгіївського рукава. Такі зміни у S , які відбувалися на фоні випадіння атмосферних опадів, пов'язані з надходженням більш солоних вод з районів відкритого моря до узбережжя.

Висновки. При формуванні сильного вітру (14 м/с) напрямком течій у прибережній зоні авандельти Дунаю відхиляється від середніх багаторічних значень та відзначається значне зростання швидкості течії. Проходження циклону супроводжувалося виникненням короткоперіодичних коливань рівня моря та води у річці Дунай, а також у гідрологічних показниках. Формування течії напрямку південно-західної чверті з посиленням швидкості викликало надходження більш солоних вод у прибережну зону. При встановленні малоградієнтного поля підвищеного тиску відбулось зниження швидкості течії та рівня моря у прибережній зоні, а також зменшення ТПМ та солоності води, що свідчить про посилення впливу стоку Дунаю при формуванні гідрологічних характеристик вод прибережної акваторії у ці дні.

Подяки. Це дослідження підтримується проектом «Відновлення вод басейну річки Дунай для екосистем та людей від гір до узбережжя - DANUBE4all». Автори висловлюють подяку Європейському виконавчому агентству з питань клімату, інфраструктури та навколишнього середовища (CINEA) за надання фінансової підтримки цьому дослідженню в рамках гранту 101093985.

СУЧАСНІ ПОКАЗНИКИ БЛАКИТНОЇ ЕКОНОМІКИ В СЕКТОРІ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ У ЧОРНОМУ МОРІ

М. О. Сліже, канд. геогр. наук, викладач

М. А. Берлінський, д-р геогр. наук, професор

Ю. Ель Хадрі, PhD з наук про Землю, старший викладач

Кафедра океанології та морського природокористування

m.o.slizhe@gmail.com

Вступ. Сьогодні морське управління ЄС керується принципами блакитної економіки. Загальна концепція підходу блакитної економіки включає низку принципів, пов'язаних з управлінням інвестиціями в людський (інтелектуальний) капітал, раціональним використанням природних ресурсів та створенням «розумних» стійких до ризиків регіональних еколого-економічних систем кластерного типу.

У країнах Чорного моря блакитна економіка у 2019 році створила 2 мільярди євро валової доданої вартості (ВДВ) та 0,16 мільйона робочих місць. Основними секторами були прибережний туризм, який забезпечив 0,09 мільйона робочих місць та 1 мільярд євро ВДВ, суднобудування та ремонт, а також портова діяльність.

Метою дослідження є визначення тенденцій у 2010-2022 роках показників виробництва у секторі морського транспорту в державах-членах ЄС та країнах-кандидатах Чорноморського регіону.

Результати дослідження. У Болгарії середньорічна зареєстрована кількість торговельних суден становить 86 одиниць. За останній період розмір флоту зменшився на 28,4 %, досягнувши найнижчого значення в 78 суден у 2023 році. Станом на 2023 рік болгарський торговельний флот включає судна із середнім віком 43 роки. У Грузії середній розмір торговельного флоту у 2011-2023 роках становив 80 суден, що реєструються щорічно в країні. Слід зазначити, що Грузія зазнала найбільшого скорочення свого торговельного флоту, його чисельність зменшилася на 87,9 % порівняно з 2011 роком. У 2023 році розмір флоту становив 26 суден. Водночас склад флоту мало змінювався до 2018 року. У 2011 році середній вік суден становив 32 роки (побудовані в 1979 році), у 2019 році спостерігалось зменшення віку суден до 30 років, а в наступні роки цей показник не змінювався, що свідчить про постійне оновлення флоту молодшими суднами. У Румунії середньорічний розмір торговельного флоту у 2011-2023 роках становив 122 судна. Загалом, за останнє десятиліття кількість суден у румунському торговельному флоті зменшилася на 13,4 % порівняно з 2011 роком, але протягом цього періоду спостерігалася як тенденція до зниження, так і до зростання. Найбільш суттєва зміна розміру торговельного флоту відбулася у 2013 році, коли він зменшився на 29,2 % за один рік, досягнувши мінімальної кількості за

досліджуваний період – 104 судна. У наступні роки кількість суден румунського торговельного флоту поступово збільшувалася до 127 суден (у 2023 році). Слід додати, що склад торговельного флоту мало змінився, що відображається у щорічному збільшенні середнього віку суден (судна, побудовані в 1979 році). У Туреччині в середньому щорічно у 2011-2023 роках реєструвалося 1252 судна. Турецький торговельний флот демонструє тенденцію до зниження своєї чисельності. За останнє десятиліття вона зменшилася на 11,4 %, з 1333 суден у 2012 році до 1181 судна у 2023 році. Турецький торговельний флот є наймолодшим серед країн Чорного моря. Середній вік суден становить 25 років і загалом залишається практично незмінним протягом останніх десяти років, тобто відбувається постійне оновлення торговельного флоту. В Україні в середньому щорічно реєструється 430 торговельних суден. Станом на 2023 рік кількість одиниць торговельного флоту становила 407, що на 18,4 % менше, ніж у 2011 році. Загалом, протягом досліджуваного періоду найменша кількість суден спостерігалася у 2018 році (403 судна), після чого відбулося незначне збільшення до 413 одиниць у 2021 році. Слід зазначити, що склад українського торговельного флоту залишається практично незмінним. Так, якщо середній вік суден у 2011 році становив 30 років (тобто це судна, побудовані в 1981 році), то у 2023 році він становив 41 рік.

Аналіз вантажних перевезень у Чорному морі показав, що Болгарія у 2011-2022 роках перевозить в середньому 27,9 млн тонн вантажів щорічно. Найвищі значення були зафіксовані у 2017 та 2019 роках (31,0 млн тонн), зменшення обсягів вантажних перевезень спостерігалось у 2011 та 2020 роках (25,2 та 25,3 млн тонн відповідно). У Грузії щороку морем перевозиться в середньому 10,3 млн тонн вантажів. За останні роки цей показник збільшився в 1,8 рази порівняно з попереднім періодом. Найбільший обсяг вантажних перевезень був зафіксований у 2021 році та склав 16,5 млн тонн. У Румунії морський транспорт щорічно перевозить в середньому 46,2 млн тонн вантажів. Водночас щороку відзначається збільшення обсягів вантажних перевезень. Таким чином, середньорічний обсяг вантажів, перевезених морем у 2017-2022 роках, перевищує аналогічний показник за період 2011-2016 років у 1,2 рази. У Туреччині в Чорноморському регіоні щорічно морським транспортом перевозиться в середньому 159,9 млн тонн вантажів. Більше того, у 2017-2022 роках обсяг вантажних перевезень перевищив аналогічний показник за період 2011-2016 років у 1,23 рази. В Україні у 2011-2021 роках морським транспортом щорічно перевозиться в середньому 2,7 млн тонн вантажів. Водночас у 2017-2021 роках спостерігалось зменшення обсягів вантажних перевезень у 1,75 рази порівняно з 2011-2016 роками.

Імпорт послуг морських вантажних перевезень та супутніх послуг (надання послуг виробниками-нерезидентами резидентам країн) перевищує експорт у всіх чорноморських країнах. У Болгарії імпорт

послуг перевищує експорт у 13,7 рази. У 2010-2022 роках середньорічний імпорт послуг становив 677 млн доларів США у поточних цінах, а вартість експорту послуг – 49,28 млн доларів США. Високі значення імпорту послуг були зафіксовані у 2014 році (983,22 млн доларів США), 2017 році (1,07 млрд доларів США) та 2022 році (989,246 млн доларів США). Слід зазначити, що обсяг експорту морських вантажних перевезень у Болгарії за останні роки зріс з 33,23 млн доларів США у 2010 році до 73,00 млн доларів США у 2022 році. Чистий експорт (рис. 1) має від'ємне значення, що свідчить про те, що в Болгарії імпорт послуг перевищує експорт. В останні роки спостерігається зменшення чистого експорту з -589 млн доларів США у 2010-2016 роках до -673 млн доларів США у 2017-2022 роках.

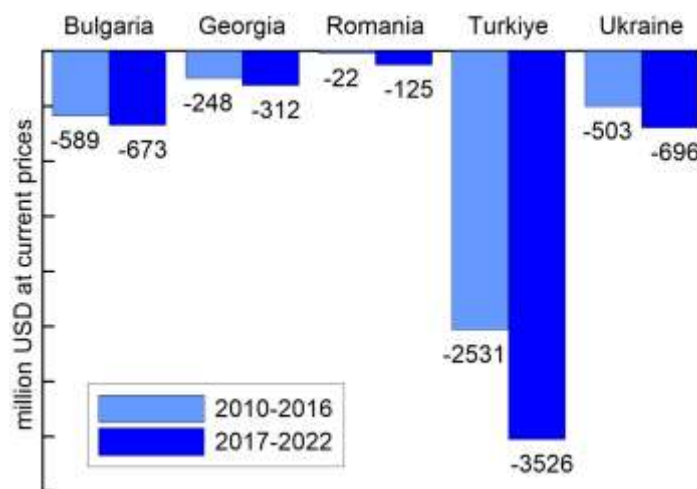


Рисунок 1 – Середній чистий експорт морських вантажних перевезень та супутніх послуг (млн доларів США за поточними цінами) у 2010-2016 рр. та 2017-2022 рр.

У Грузії середньорічний імпорт морських вантажних перевезень та супутніх послуг перевищує середньорічний експорт у 22,7 рази. Чистий експорт послуг у 2010-2016 роках становив -248 млн доларів США, а у 2017-2022 роках він зменшився до -312 млн доларів США. Водночас, з 2010 року спостерігається збільшення річного обсягу імпорту та експорту послуг. Так, імпорт послуг зріс зі 149,28 млн доларів США у поточних цінах у 2010 році до 484,02 млн доларів США у 2022 році, а експорт послуг зріс з 8,3 млн доларів США у поточних цінах у 2010 році до 78,53 млн доларів США у 2022 році.

Дані про морські вантажні перевезення та пов'язані з ними послуги в Румунії охоплюють період 2013-2021 років. У Румунії середньорічний імпорт послуг перевищує експорт у 1,7 рази та становить 247,88 млн доларів США та 147,23 млн доларів США, відповідно. Слід зазначити, що у 2021 році імпорт послуг був у 2,3 рази вищим, ніж у попередні роки, та становив 493,4 млн доларів США. Найвищий показник експорту послуг

був зафіксований у 2014 році (236,84 млн доларів США), після чого спостерігався спад. Чистий експорт послуг зменшився та досяг -125 млн доларів США у 2017-2022 роках.

У Туреччині середньорічний імпорт морських вантажних перевезень та пов'язаних з ними послуг у 2,4 рази вищий за експорт, становить 5,1 млрд доларів США та 2,11 млрд доларів США, відповідно. З 2010 по 2022 рік імпорт послуг подвоївся та склав 10,08 млрд доларів США (у 2022 році). Причому найнижче його значення спостерігалось у 2015-2017 роках (3,4-3,5 млрд доларів США у поточних цінах). Експорт послуг у 2022 році збільшився вдвічі порівняно з 2010 роком та склав 2,5 млрд доларів США. Водночас максимальний експорт послуг з перевезення вантажів морським транспортом спостерігався у 2017 році та склав 2,7 млрд доларів США у поточних цінах. У Туреччині вартість чистого експорту зменшилася з -2,5 млрд доларів США у поточних цінах у 2010-2016 роках до -3,5 млрд доларів США у 2017-2022 роках. В Україні середньорічний обсяг імпорту морських вантажних перевезень та супутніх послуг перевищує обсяг експорту в 17,5 рази, а їх вартість становить 628,15 млн доларів США та 35,85 млн доларів США, відповідно. Водночас спостерігаються протилежні тенденції. Так, у 2022 році імпорт послуг зріс у 1,2 рази порівняно з 2010 роком і склав 1,03 млрд доларів США. Це призвело до зменшення вартості чистого експорту у 2017-2022 роках до -696 млн доларів США. Найнижчі значення імпорту послуг були у 2015-2016 роках, коли іноземні компанії надали Україні послуг морських перевезень на суму від 340 до 348 млн доларів США у поточних цінах. Найвищі темпи експорту послуг були зафіксовані у 2011 та 2013 роках, коли українські компанії надали іноземним компаніям послуг на суму 50 млн доларів США та 54 млн доларів США у поточних цінах відповідно. Найнижчі значення експорту послуг були зафіксовані у 2015 та 2022 роках і становили 14 млн доларів США та 10 млн доларів США, відповідно.

Для порівняння, Греція (найбільший власник торговельного флоту в Європі) імпортувала у 2017-2022 роках послуг морських вантажних перевезень та супутніх послуг щорічно на 187,0 млн доларів США, а експортувала послуг на суму 12,78 млрд доларів США. Чистий експорт послуг становить 12,59 млрд доларів США.

Висновки. Країни Чорноморського регіону мають високий потенціал для розвитку блакитної економіки, який не реалізується повною мірою. Головною проблемою торговельного флоту країн Чорного моря є застаріла матеріально-технічна база флоту, старі судна.

Необхідно оновити та збільшити розмір торговельного флоту в усіх країнах Чорного моря. Імпорт морських вантажних перевезень та пов'язаних з ними послуг перевищує експорт у всіх країнах Чорного моря, а це означає, що країни щороку витрачають кошти на вантажні перевезення, а не заробляють на них.

АКТУАЛЬНІСТЬ ВИВЧЕННЯ ЗАМУЛЕННЯ МОРСЬКИХ ДОННИХ ВІДКЛАДЕНЬ ЯК НЕГАТИВНИЙ ФАКТОР ВПЛИВУ НА ДОННІ БІОЦЕНОЗИ

М. А. Берлінський, д-р геогр. наук, професор

М. Г. Золотарьов, аспірант

Кафедра океанології та морського природокористування

nberlinsky@ukr.net, maksim89@gmail.com

Реседиментація (вторинне замулення) в межах північно-західної частини Чорного моря (ПЗЧМ) є наслідком багатьох чинників, серед яких виділяють два основних, істотно діючих, на геохімічні процеси и процеси седиментації:

- зміна річкового стоку, що пов'язана із зарегулюванням стоку річок і викликає зміни в загальному балансі надходження осадового матеріалу;
- зміна складу річного стоку, що обумовлена розвитком промисловості, енергетики, сільського господарства.

Водна товща північно-західного шельфу формується за участю стоку Дніпра, Південного Бугу, Дністра и Дунаю. На долю цих річок приходить 80 % всього річного стоку що надходить в Чорне море і в середньому за рік складає 260 км³. Фізичні і хімічні властивості морських вод впливають на умови опадонакопичення і функціонування екосистем.

Важливою особливістю шельфової області є присутність гідрологічних фронтів, що утворюються уздовж побережжя між опрісненими річковими і морськими водами. Гідрохімічні фронти в районі впливу річок Дунаю, Дністру і Дніпру спостерігаються в прибережних водах до 20-30 км. У зоні гідрологічних фронтів відмічається збільшення швидкості седиментації, що пов'язане з коагуляцією суспензій в пригирлових районах річок.

Забруднення морського середовища від господарчої діяльності людини на шельфі досить специфічне і за характером впливу його можна розмежувати на такі, що мають безпосередній вплив на морські екосистеми при надходженні поллютантів і такі, що утворюють умови до порушення екосистем.

До першого типу належать такі види діяльності:

- днопоглиблювальні роботи, дампінг ґрунтів;
- розвідка та експлуатація нафтогазових родовищ.

До другого типу відносять наступні види діяльності:

- добича будівельних матеріалів та будівництво берегозахисних споруд;
- донний траловий вилов риби.

Термін «дампінг» визначається як загальна кількість відходів, що скидаються в море з метою їх поховання. За літературними даними дампінг відходів складає 10% всіх забруднюючих речовин, що надходять в Світовий океан. Роботи з днопоглиблення є специфічний вид господарської діяльності, при якому і розробка і складування ґрунтів проводиться безпосередньо в водному середовищі. За даними , щорічно в північно-західній частині Чорного моря складається щорічно 5 млн. тон ґрунту.

Дампінг суттєво впливає на морські екосистеми, вплив може мати постійний та тимчасовий характер. Постійний вплив – це зміни рельєфу, якісного складу донних ґрунтів, що призводять в свою чергу, до змін гідродинамічного та літодинамічного режимів, умов існування гідробіонтів. Тимчасовий вплив в період скидання ґрунту обумовлює підвищену мутність та вторинне забруднення води при відборі ґрунту на техногенно насичених ділянках, в акваторіях портів та ін.

Метою досліджень є оцінка ареалів розповсюдження реседиментації донних відкладів північно-західної частини Чорного моря що відмічалися під час експедиційних спостережень УкрНЦЕМ в 1998-2019 рр., а також визначення показників Доброго екологічного стану (ДЕС) відповідно дескриптору D6 Директиви ЄС 2008/56/ЄС, по виділених районах в межах виключної морської економічної зони України.

Об'єктом досліджень є сучасні голоценові донні відклади джеметинського ярусу (Q_{IVdj}) північно-західної частини Чорного моря та узмор'я р. Дунай.

Оцінка процесів сучасної реседиментації на шельфі Чорного моря виконувалася в рамках НДР «Базова оцінка та визначення Доброго екологічного стану (ДЕС) морського середовища Чорного моря в межах виключної морської економічної зони України» згідно Закону України «Про Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2020 року» від 21 грудня 2010 р. № 2818-VI та міжнародних зобов'язань України щодо захисту Чорного моря від забруднення, відповідно до «Стратегічного Плану дій до відновлювання і охорони Чорного моря», згідно виконання завдань «Загальнодержавної програми охорони та відтворення довкілля Азовського і Чорного морів».

Необхідно заборонити скидання ґрунту в море, а також донний траловий лов риби. Замулення морської донної поверхні призводить до загибелі бентосних організмів, що призводить до зменшення продуктивності екосистеми. Необхідно заборонити скидання ґрунту в море, а також донний траловий лов риби. Обмежити видобуток корисних копалин на шельфі та контролювати господарську діяльність людини.

СТАТИСТИЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК МАКСИМАЛЬНОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ КРИГИ В ПРОТОЦІ ДЕЙВІСА ТА МОРІ ЛАБРАДОР З АТМОСФЕРНИМ ТИСКОМ І ШВИДКІСТЮ ВІТРУ В КОНТЕКСТІ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

Е. Є. Малюга, аспірант

Р. В. Гаврилюк, канд. геогр. наук, доцент

Кафедра океанології та морського природокористування

eduard241965@gmail.com, raaisagavr@gmail.com

З огляду на все більше зростання кількості вантажоперевезень на традиційних океанських шляхах, виникає нагальна потреба прогнозування льодової обстановки в арктичних морях, щоб перенести частину трафіку у високі широти. Там, через швидкі кліматичні зміни останніх десятиліть (так зване «арктичне посилення»), наряду з іншим, спостерігається значне скорочення площі морської криги [1], зменшення товщини льодового покриву [2], строки танення стали довшими [3], а також сезонна однорічна крига починає домінувати над багаторічною [4]. Це може відбуватися внаслідок термічного чи термодинамічного впливу атмосфери, або їх комбінації. Звісно, складність і багатофакторність атмосферних і океанічних процесів, наявність великої кількості прямих і зворотних зв'язків, різниця у підходах і методах вирішення, відмінність структур прогностичних моделей, невідомість еволюції антропогенного впливу та природня мінливість клімату призводять до певної невизначеності [2]. Встановлено, що великомасштабні поля тиску і атмосферної циркуляції статистично пов'язані з розповсюдженням арктичного льодового покриву [5, 6, 7]. Тому розрахунки охоплювали досить велику ділянку земної кулі – від 0 до 90° Пн.Ш. і від 0 до 100° Зх.Д. (з деякими винятками біля екватору), та в полосі 70–90° Пн.Ш., 100–180° Зх.Д.

Представлена робота є етапом дослідження максимального поширення крижаного покриву в протоці Дейвіса та морі Лабрадор. На першому етапі було отримано цифровий ряд аномалій поширення льоду на 15 квітня за період з 1979 по 2023 рік. Щоб зробити його квазістаціонарним, розглядалися не самі аномалії, а їх зміни протягом року (річний приріст). При встановленні статистичних зв'язків, значущими коефіцієнтами кореляції на рівні 0,01 для отриманого нового ряду виявилися коефіцієнти від 0,48 і вище. Вибір району, що вивчається і дати (15 квітня), було пояснене в [8].

На даному етапі проводився кореляційний аналіз між максимальним поширенням льоду в районі дослідження, (тут - рядом річного приросту) і двома величинами: атмосферним тиском на рівні моря (SLP) і швидкістю вітру на висоті 10 м (WS), також приведеними до квазістаціонарного вигляду. Розрахунки проводилися для трьох місяців до 15 квітня (далі у

тексті - січень, лютий і березень) і для 12 місяців попереднього року (перші місяці – «січень, лютий і березень попереднього року»). Середньомісячні тиск та швидкість вітру з 1979 до 2023 рр. отримані за допомогою Європейського центру середньострокових прогнозів погоди (ECMWF European Reanalysis V5 (ERA5)) [9]. Спочатку визначалася статистично значуща кореляція на 10-градусних квадратах, далі на 5-них.

Розрахунки коефіцієнтів кореляції між атмосферним тиском та річним приростом поширення льоду на 10-градусних квадратах показали, що всюди в полосі $70 - 90^\circ$ північної широти, $0-100^\circ$ західної довготи вони дорівнюють, або перевищують значення $-0,5$ для грудня (в 20 випадках). Найвищі показники коефіцієнта кореляції дорівнюють $-0,563$ у квадраті $70-80^\circ$ північної широти, $10-20^\circ$ західної довготи і по $-0,56$ у двох квадратах – $70-80^\circ$ північної широти, $70-80^\circ$ західної довготи та $70-80^\circ$ північної широти, $80 - 90^\circ$ західної довготи. Між $20-70^\circ$ північної широти значущі коефіцієнти кореляції спостерігалися вже лише в 5 квадратах, з них 4 для грудня та 1 для травня. Близькі до значущих, але нижчі, були для липня, серпня і листопада. Від 0 і до 20° північної широти між $10-70^\circ$ західної довготи майже в кожному квадраті коефіцієнти кореляції знаходяться в межах $0,48 - 0,49$ (в 7 випадках для липня і у 2 для лютого).

Зовсім іншою виглядає картина зв'язків між річним приростом поширення льоду і швидкістю вітру на висоті 10 м. Отримано тільки 6 значущих коефіцієнтів кореляції, з них три для червня ($0,48; 0,49; 0,53$) і по одному для січня попереднього року ($-0,50$), жовтня ($-0,51$) і грудня ($0,54$). Тобто, на цьому рівні статистичний зв'язок між розповсюдженням криги в протоці Дейвіса та морі Лабрадор проявляється сильніше з атмосферним тиском, ніж зі швидкістю вітру.

На 5-градусних квадратах максимальна концентрація коефіцієнтів кореляції більш $-0,5$ між атмосферним тиском та річним приростом поширення льоду спостерігалася для грудня майже в тому ж районі, що й для 10-градусних – в полосі $70-85^\circ$ північної широти, $5-100^\circ$ західної довготи. Максимальний показник дорівнює $-0,582$ у квадраті $70 - 75^\circ$ північної широти, $15 - 20^\circ$ західної довготи. Між $20-70^\circ$ північної широти значущі коефіцієнти спостерігалися вже на 24 квадратах (проти 5 на 10-градусних), з них 21 для грудня ($-0,48...-0,58$), 2 для травня та, як і очікувалося, 1 для листопада. Зв'язок з липнем і серпнем підвищився, але рівня значущості не досяг. Від 0 і до 20° північної широти між $10 - 70^\circ$ західної довготи показники вирости, майже в кожному квадраті (в 26 випадках для липня і у 5 для лютого).

Ситуація на 5-градусних квадратах з коефіцієнтами кореляції між швидкістю вітру і річним приростом поширення льоду, порівняно з розрахунками на 10-градусних квадратах, значно поліпшилась. Отримано вже 28 значущих коефіцієнтів, з них 9 для грудня ($0,49-0,596$), 8 для червня ($0,48-0,52$), 4 для січня попереднього року ($-0,5...-0,55$), 3 для

березня попереднього року (0,49 – 0,51), 2 для жовтня (-0,50; -0,58), 1 для лютого попереднього року (0,50) і 1 для березня (0,59).

Підсумовуючи, можна зробити наступні висновки. Значущі коефіцієнти кореляції між атмосферним тиском і максимальним розповсюдженням криги в протоці Дейвіса та морі Лабрадор значно переважають по кількості. Вони зосереджені в основному на ділянках вище 70° північної широти та в тропічних широтах Північної Атлантики. Серед них більше за все коефіцієнтів кореляції для грудня, потім по низхідний для липня, лютого, травня і листопада. Значущі коефіцієнти кореляції зі швидкістю вітру, хоча й програють кількісно, але переважають за величиною і різноманітністю. Серед них більше за все коефіцієнтів для червня і грудня, а потім по низхідний для січня попереднього року, березня попереднього року, жовтня, лютого та березня. Статистично значущі зв'язки між змінами льодового покриву та атмосферним тиском та швидкістю вітру вказують на можливість в подальшому прогнозувати розповсюдження криги у протоки Дейвіса та морі Лабрадор.

Перелік посилань

1. Arctic sea ice hits record low maximum extent for the year. (2025). *National Snow and Ice Data Center*. URL: <https://nsidc.org/news-analyses/news-stories/arctic-sea-ice-hits-record-low-maximum-extent-year>
2. Serreze M., Meier W. The Arctic's sea ice cover: Trends, variability, predictability, and comparisons to the Antarctic. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2019. **1436**. Pp. 36–53. <https://doi.org/10.1111/nyas.13856>.
3. Maksimovich E., Vihma T. The effect of surface heat fluxes on interannual variability in the spring onset of snow melt in the central Arctic Ocean. *J. Geophys. Res.* 2012. **117**, C07012. <https://doi.org/10.1029/2011JC007220>
4. Merkouriadi I. et al. Quantifying the Potential for Snow-Ice Formation in the Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*. 2020. Vol. 47 (4). <https://doi.org/10.1029/2019GL085020>
5. Wang Q. et al. Lasting impact of winds on Arctic sea ice through the ocean's memory. *The Cryosphere*. 2021. 15. Pp. 4703–4725. <https://doi.org/10.5194/tc-15-4703-2021>
6. Jakobson L., Vihma T., Jakobson E. Relationships between Sea Ice Concentration and Wind Speed over the Arctic Ocean during 1979–2015. *Journal of Climate*. 32(22). 2019. Pp. 7783-7796. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0271.1>
7. Papritz L., Hauswirth, D., Hartmuth, K. 2022. Moisture origin, transport pathways, and driving processes of intense wintertime moisture transport into the Arctic. *Weather Clim. Dynam.* 2022. 3. Pp. 1–20. <https://doi.org/10.5194/wcd-3-1-2022>
8. Малюга Е. Є., Гаврилюк Р. В. Міжрічна мінливість льодового покриву в протоці Дейвіса та морі Лабрадор за період з 1979 по 2023 рр. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. №32. С. 80-94.
9. Climate Reanalyzer. URL: https://climatereanalyzer.org/reanalysis/monthly_tseries/ (Дата звернення: 20.11.2025).



Підсекція
ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА



ФОРМ-ФАКТОРИ РОЗСІЯННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ НА СТРУКТУРОВАНИХ МІКРО-МЕХАНІЧНИХ КОНГЛОМЕРАЦІЯХ

О. І. Герасимов, д-р фіз.-мат. наук, професор

Кафедра екології та охорони довкілля

gerasymovoleg@gmail.com

Діагностика домішкових компонент у різних за агрегатним станом середовищах складає актуальну і не до кінця вирішену задачу в багатьох галузях, як фундаментальній так і прикладній науці.

В пропонуємій роботі запропонований метод класифікації та параметризації даних розсіяння електромагнітних хвиль у террагерцівському діапазоні на багаточастинкових мікро-механічних системах за допомогою постулювання неевклідовської (фрактальної) структури формфакторів розсіяння .

Такий підхід був обраний з урахуванням складної морфології гранульованих речовин (яка робить складним характер як поверхневого так і об'ємного розсіяння і незважаючи на можливість отримання формально точного розв'язку задачі багатократного розсіяння на багаточастинкових конгломераціях унеможливує його практичне використання для параметризації даних експериментальних вимірів [1]).

Запропонована модель спрямована на визначення розмірності фрактального простору в якому визначається формфактор розсіяння на відповідних зразках мікро-механічних матеріалів із наступним калібруванням до референтних даних(не збурених домішками матеріалів). Фактично, розсіяння на зразках із складною морфологією моделюється як дифракція террагерцівського випромінювання на компактному зразку субміліметрового масштабу із фрактальною геометрією поверхні. При цьому ми не відмовляємося і від врахування в перерізах (інтенсивностях) розсіяння впливу просторових конфігурацій в положеннях частинок (гранул) ансамблю, які визначають структурні фактори розсіяння.

Запропонований підхід дозволяє встановити не тільки наявність домішок в системі, яка досліджується, але й визначити їх власні параметри (середній розмір, густину, координатне число, ступінь впакування).

Метод є достатньо універсальним і може з певними уточненнями бути ефективно застосований для структурної діагностики не тільки для мікро-механічних, але й для інших агрегатних станів конденсованих середовищ, рідин, розчинів, кристалів та полікристалів, запорошеної плазми, біологічної матерії деяких інших.

Діапазон терагерць вибраний тому, що саме цей тип випромінювання не іонізує середовище і є найменш руйнівним і найбільш безпечним зокрема для діагностики біологічної матерії. Саме він також дозволяє здійснювати контрастну прецизійну діагностику дрібно-дисперсних мульти-компонентних систем, які складають широкий спектр речовин, які використовуються у багатьох технологіях і підлягають контролю та захисту і мають, як природне так і антропогенне походження.

Спектроскопія терагерцового (ТГц) діапазону довжин хвиль електромагнітного випромінювання (0,1–10 ТГц; 3–300 см⁻¹; ~ 3 мм – 30 мкм) в даний час отримує все більший розвиток [2]. Проникнення такого випромінювання в конденсоване (і, особливо, в органічне) середовище не викликає подальшої іонізації (як у випадку іонізуючого випромінювання), що стимулює активні дослідження можливостей використання приладів, дія яких базується на використанні терагерцового випромінювання в дослідженнях біологічної матерії.

Активно розширюється використання ТГц-технологій для контролю технологічних процесів виробництва продуктів, аналізу складу матеріалів, контролю безпеки, для дистанційного виявлення отруйних, вибухових, наркотичних речовин, для тестування напівпровідникових матеріалів.

Тому розробка відповідної теоретичної бази опису та параметризації розсіювання випромінювань у терагерцовому діапазоні довжин хвиль на складних, структурованих, декорованих домішками або таких, що містять різного роду дефекти, конденсованих системах є актуальним завданням.

В якості теоретичного підходу до використання терагерцової спектроскопії для детектування вищеописаних станів розглянемо метод, що полягає в порівнянні форм-факторів розсіювання.

Формфактор розсіювання – функція, що описує вплив форми розсіюючого об'єкта на перетин (інтенсивність) розсіювання зовнішніх випромінювань. Введення формфактора базується на тому, що розсіюючі об'єкти розподілені в просторі з певною щільністю $\rho(r)$.

Для конгломерації, яка складається з N монодисперсних частинок інтенсивність розсіяння задається формулою

$$I(q) = N^2 P(q) S(q), \quad (1)$$

де q -хвильовий вектор, $P(q)$ -формфактор, $S(q)$ -структурний фактор розсіяння.

Формфактор розсіяння $P(q)$ визначається за допомогою інтегрального перетворення функції густини розподілу частинок $\rho(r)$

$$P(q) = \left| \int \rho(r) \exp(i\vec{q}\vec{r}) d\vec{r} \right|^2. \quad (2)$$

Наприклад, у випадку монодисперсних частинок сферичної форми з радіусом r_0 , як неважко перекопати, він має наступний вигляд

$$P(q) = \left\{ [24(\sin(qr_0/2) - (qr_0/2) \cos(qr_0/2))] / (qr_0)^3 \right\}^2 \quad (3)$$

В загальному випадку на вид формфактору впливає характер густини розподілу $\rho(r)$.

Для великих значень хвильового вектору розсіяння формфактори стають практично незалежними від форми частинок і майже повністю залежать від розсіяння на поверхні. Останнє особливо контрастно проявляється коли має місце слабка полідисперсність у розмірах частинок, що в значній мірі є притаманним реальним умовам. Саме такі ефекти відображає відомий закон Порода [3]:

$$P(q) = 2\pi r^2 S / q^4, \quad (4)$$

де S позначає площу поверхні розсіяння.

Якщо вважаємо, що поверхня є фрактальним об'єктом розмірності d_f :

$$S = (r/r_0)^{d_f} \quad (5)$$

отримуємо наступний вираз для формфактора розсіяння:

$$P(q) = \pi r^2 S \Gamma(5 - d_f) \times \sin[\pi(d_f - 1)/2] q^{-(6-d_f)}, \quad (6)$$

де $\Gamma(5-d_f)$ – Гама-функція.

Очевидно, що коли $d_f=2$ вираз (6) переходить у форму закону Порода.

Структурний фактор розсіяння визначається співвідношенням:

$$S(\vec{q}) = (1/N^2) \sum_j^N \sum_i^N \exp[i\vec{q}(\vec{r}_i - \vec{r}_j)] \quad (7)$$

а також за допомогою інтегрального перетворення кореляційної функції $H(r)$

$$S(\vec{q}) = (1/N) [1 + \int H(r) \exp(i\vec{q}\vec{r}) d\vec{r}], \quad (8)$$

де $H(r)$ – кореляційна функція.

Приймаючи фрактальний характер та постулюючи $H(r)$ у вигляді

$$H(r) \sim r^{d_f-3} h\left(\frac{r}{R_g}\right) \quad (9)$$

де $h(x)$, так звана “обрізаюча” функція, яку вибираємо наступним чином:

$$h(x) = \exp(-x^2), \quad x = rd_f^{1/2} / 2R_g \quad (10)$$

та користуючись визначенням, отримуємо вираз для структурного фактору, який відповідає об’ємному фрактальному розподілу розсіювачів:

$$S(q) = \exp[-(qR_g)/d_f] F_1[(3-d_f)/2; 3/2; (qR_g)^2/d_f] \quad (11)$$

де $F_1[(3-d_f)/2; 3/2; (qR_g)^2/d_f]$ – гіпергеометрична функція, R_g – так званий радіус інерції (фактично, масштаб, який визначає область малокутового розсіювання).

Справа в тому, що в методах статичного розсіювання інтенсивність зазвичай вимірюють не у всьому доступному діапазоні кутів розсіювання, а тільки в області, яка визначає так зване малокутове розсіювання: $a < q^{-1} < R_g$. При цьому, інтенсивність розсіювання змінюється за законом:

$$I(q) \sim (qR_g)^{-d_f} \quad (12)$$

Користуючись (12), за вимірами інтенсивності розсіювання можна визначати, як фрактальну розмірність об’ємного розподілу розсіювачів так і радіус інерції (тобто границю інтервалу в якому відбувається малокутове розсіювання).

Таким чином в роботі розглянуто модельний підхід в якому метод фрактального моделювання розсіювання само узгоджено застосовується до опису як поверхневих, так і об’ємних ефектів. Це дозволяє здійснити, як аналіз форми так і об’ємного розподілу розсіювачів та виконати відповідну класифікацію.

Метод практично без ускладнень розповсюджується на полідисперсні системи, що відкриває можливості його застосування для детектування дефектів та домішкових компонентів у однорідних та квазі-однорідних системах, що є актуальною задачею багатьох технологій, як в фундаментальних, так і прикладних галузях науки і виробництва.

Треба зауважити, що строго кажучи монодисперсні системи зустрічаються на практиці досить не часто. Але і в цьому випадку викладений вище підхід опису розсіяння на компактній конгломерації може бути корисним якщо ввести скажімо, усереднений по розподілу частинок за розмірами структурний фактор [4, 5].

Структурна діагностика складних структурованих компактних конгломерацій за допомогою розсіяння на об'єкті з фрактальною інфраструктурою може бути застосована для вивчення структурних властивостей пін, кластеризації біологічно активних молекул іммобілізованих у низько вимірному просторі(на поверхні),структуризації нуклеотидів в молекулах ДНК, стадій радіаційного охрупчування та дефектоутворень у полікристалах, та деяких інших.

Важливо підкреслити, що хоча фізичний зміст самої фрактальної розмірності не є, строго кажучи, послідовно визначеною за змістом величиною(хоча й знаходиться явно!), вона надає можливість розрізнити (і фактично вводити відповідну класифікацію)різні за структурою(локальною симетрією)стани складних систем на підставі експериментальних вимірів інтенсивностей розсіяння зовнішніх випромінювань.

Перелік посилань

1. Borghese F., Denti P., Saija R., Toscano G., Sindoni O. I. Multiple Electromagnetic Scattering from a Cluster of Spheres. I. *Theory, Aerosol Science and Technology*. 1984. 3:2, P. 227-235. DOI: <https://doi.org/10.1080/02786828408959010>
2. Peiponen KE, Zeitler JA, Kuwata-Gonokami M (eds) (2013) Terahertz spectroscopy and imaging, *Springer Series in Optical Sciences*, vol 171. Springer, Berlin. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29564-5>
3. Martin J.E., Hurd A.J. Scattering from Fractals. *Journal Application Crystallographie*. 1987. Vol. 20. P. 61-78. DOI: <https://doi.org/10.1107/S0021889887087107>
4. Герасимов О.І. *Функції розподілу груп частинок у статистичній фізиці*: монографія. Одеса: Екологія, 2008. 84 с.
5. Герасимов О.І., Співак А.Я. *Окремі задачі фізики м'якої матерії*: монографія. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2020. 200 с.

СТИСЛИВІСТЬ БІНАРНИХ РІДКИХ РОЗЧИНІВ

О. І. Герасимов, д-р фіз.-мат. наук, професор
А. Я. Співак, канд. фіз.-мат. наук, старший викладач

Кафедра екології та охорони довкілля

gerasymovoleg@gmail.com

В загальному випадку, теоретичне визначення ізотермічної стисливості $\beta_T^{(1,2)}$ бінарної суміші в замкнутому вигляді було запропоновано у роботах [1,2,3], шляхом комбінації результатів теорій Кірквуда-Баффа (КБ) [4] та Карнахана-Старлінга-Мансурі (КСМ) [5]. Підстановка формули КСМ для $\beta_T^{(1,2)}$ до відповідного співвідношення КБ дає модельне аналітичне розв'язання проблеми не замкнутості рівняння КБ для стисливості в термінах параметра впакування η . Апробацію цього підходу до простих рідких розчинів зроблено із використанням даних експериментальних вимірювань рідкої суміші $\text{CCl}_4/\text{CHCl}_3$.

Користуючись результатами прямих вимірювань у суміші масової густини (ρ) та швидкості розповсюдження звуку (u), адіабатична стисливість (β_S) може бути розрахована за наступною формулою [6]:

$$\beta_S = \frac{1}{\rho u^2}. \quad (1)$$

Щоб визначити ізотермічну стисливість (β_T) суміші, можна скористатися відомим співвідношенням:

$$\beta_T = \beta_S + \frac{\alpha^2 T}{\rho C_p}, \quad (2)$$

де α - коефіцієнт термічного розширення, K^{-1} ; T - абсолютна термодинамічна температура, K ; C_p - питома теплоємність суміші при сталому тиску, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

Оскільки значення β_T , β_S , ρ , C_p , α , різні для CCl_4 та для CHCl_3 , вони залежать від молярної/об'ємної фракції компонентів суміші. Для визначеності, позначимо як x молярну частку CHCl_3 , та як f - відповідну об'ємну фракцію цієї ж компоненти. Надалі, для контрольованих параметрів розглянутої суміші, будемо використовувати наступні апроксимації квадратного полінома (які впливають з експериментальних даних отриманих за схемою аналогічною вимірюванням у роботі [6]):

$$\rho(x) = 1576.55 - 80.01x - 22.333x^2, \quad (3)$$

$$\beta_S(x) = (6.21966 - 0.0963737x - 0.5148186x^2) \cdot 10^{-10}, \quad (4)$$

$$C_p(x) = 870.71 + 5.74x + 174.78x^2. \quad (5)$$

Через відносно невеликі відмінності в абсолютних значеннях α у випадку CCl_4 і CHCl_3 значення цього коефіцієнта можна наближено визначити як:

$$\alpha(x) = [1.22(1-x) + 1.27x] \cdot 10^{-3}. \quad (6)$$

У табл. 1 зібрані значення ізотермічної стисливості β_T (розрахованої за формулою (2)) для різних молярних часток хлороформу та для відповідних значень β_S , ρ , C_p , α) за температури $T = 302.5 \text{ K}$.

Таблиця 1 – Ізотермічна стисливість (β_T) для рідинної суміші $\text{CCl}_4 + \text{CHCl}_3$ та відповідний параметр компактизації (η), які розраховано з експериментальних даних (3)-(5)

| x | ρ , kg/m^3 | α , $\times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ | C_p , $\text{J/(kg}\cdot\text{K)}$ | β_S , $\times 10^{-10} \text{Pa}^{-1}$ | β_T , $\times 10^{-10} \text{Pa}^{-1}$ | β_{exc} , $\times 10^{-11} \text{Pa}^{-1}$ | η |
|-----|-----------------------------|--|---|---|---|--|--------|
| 0 | 1576,55 | 1,22 | 870,71 | 6,21966 | 9,49958 | 0 | 0,4643 |
| 0,1 | 1568,326 | 1,225 | 873,0318 | 6,20487 | 9,52024 | 0,9494 | 0,4624 |
| 0,2 | 1559,655 | 1,23 | 878,8492 | 6,17979 | 9,51861 | 1,6759 | 0,4608 |
| 0,3 | 1550,537 | 1,235 | 888,1622 | 6,14441 | 9,49472 | 2,1798 | 0,4593 |
| 0,4 | 1540,973 | 1,24 | 900,9708 | 6,09874 | 9,44888 | 2,4642 | 0,4579 |
| 0,5 | 1530,962 | 1,245 | 917,275 | 6,04277 | 9,38164 | 2,5347 | 0,4567 |
| 0,6 | 1520,504 | 1,25 | 937,0748 | 5,9765 | 9,29379 | 2,3990 | 0,4556 |
| 0,7 | 1509,6 | 1,255 | 960,3702 | 5,89994 | 9,18628 | 2,0666 | 0,4547 |
| 0,8 | 1498,249 | 1,26 | 987,1612 | 5,81308 | 9,06017 | 1,5483 | 0,4539 |
| 0,9 | 1486,451 | 1,265 | 1017,448 | 5,71592 | 8,91661 | 0,8556 | 0,4532 |
| 1 | 1474,207 | 1,27 | 1051,23 | 5,60847 | 8,75677 | 0 | 0,4527 |

Як відомо, значний інтерес становить вивчення впакування η молекул різних компонентів у сумішах. Для чистих компонент (тобто коли $x = 0$

або $x = 1$) щоб знайти впакування η можна скористатися співвідношенням КСМ підставляючи значення стисливості β_T та густини $n = N/V$ (вони добре відомі і затабульовані для чистих складових суміші). Знаючи величину впакування η чистих компонент суміші можна оцінити розмір самих молекул. Останні дають змогу нарешті визначити *параметр асиметрії у розмірах частинок*, який визначається відношенням діаметрів частинок 1 та 2 ($r = \sigma_1/\sigma_2$), нехтуючи при цьому залежністю параметра r від мольної фракції x однієї з компонент ($r(x) = \text{const} = r$).

Користуючись зазначеним вище алгоритмом, було знайдено наступні характеристики чистих компонентів:

$$\begin{aligned}\eta(\text{CCl}_4) &= 0.4643, \quad \eta(\text{CHCl}_3) = 0.4527, \\ \sigma_1 &= 5.2373 \text{ \AA}, \quad \sigma_2 = 4.8805 \text{ \AA}, \\ r &= 1.0731.\end{aligned}$$

Параметр впакування суміші η , знаходимо розв'язуючи чисельно алгебраїчне рівняння 5-го степеня, яке утворюється з формули КСМ переходом від густини до η .

Розрахунок структурного фактора $S_{12}(0)$ та його поліноміальна апроксимація. Отримані вище параметри впакування суміші η , були використані для розрахунку структурного фактору $S_{12}(0)$, який необхідний для використання теорії КБ (за відсутності даних про кореляційні інтеграли G_{12}). Ці розрахунки відповідають окремим дискретним значенням мольної фракції x для яких у таблиці 1 зазначені експериментальні значення.

Апроксимація отриманих значень $S_{12}(0)$ здійснювалась за допомогою пакету MatLab із використанням штатної функції POLYFIT, а також з врахуванням співвідношення:

$$S_{12}(0) = x(1-x)n_{12}G_{12}. \quad (7)$$

де $n_{12}G_{12}$ – добуток щільності кількості частинок суміші на кореляційний інтеграл Кірквуда-Баффа. Зважаючи на наявність у виразі (7) квадратичного множника $x(1-x)$, для апроксимації безпосередньо використовувались значення саме $n_{12}G_{12}$.

Результати апроксимації $n_{12}G_{12}$ поліномом 4го степеня ($P_4(x)$) наведено нижче:

$$P_4(x) = -0.1247 x^4 + 0.1342 x^3 - 0.1930 x^2 + 0.1107 x - 0.3042, \quad (8)$$

тоді вважатиме, що $S_{12}(0)$ апроксимоване поліномом 6го степеня ($P_6(x)$):

$$S_{12}(0)=x(1-x)P_4(x) = P_6(x). \quad (9)$$

Результати апроксимації $n_{12}G_{12}$ поліномом 5го степеня ($P_5(x)$) наведено нижче:

$$P_5(x) = -0.0899 x^5 + 0.1002 x^4 - 0.0621 x^3 - 0.1233 x^2 + 0.1022 x - 0.3041, \quad (10)$$

тоді вважатиме, що $S_{12}(0)$ апроксимоване поліномом 7го степеня ($P_7(x)$):

$$S_{12}(0)=x(1-x)P_5(x) = P_7(x). \quad (11)$$

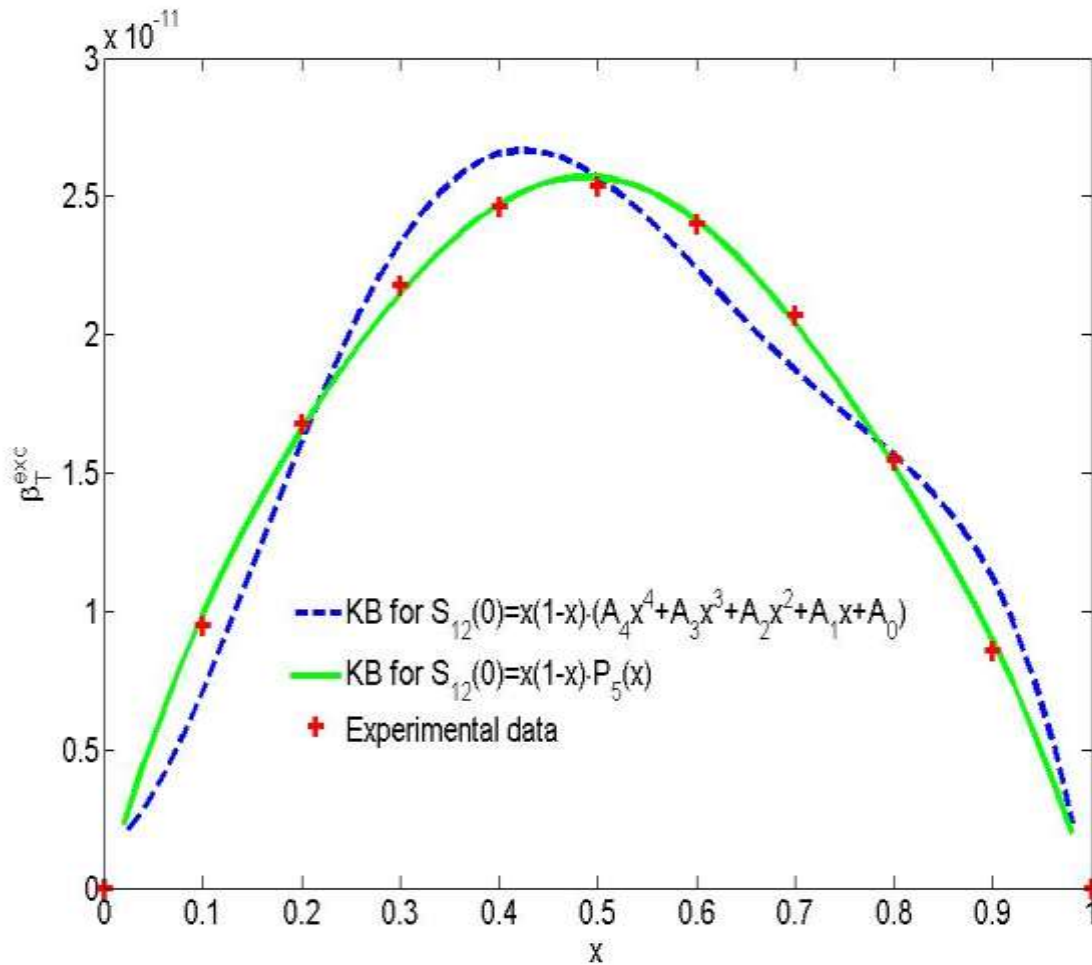
Відновлення ізотермічної стисливості $\beta_T^{(1,2)}$ суміші для довільного значення мольної фракції компонентів. В рамках запропонованого підходу, прирівнюємо праві частини співвідношень КБ та КСМ для $\beta_T^{(1,2)}$ (див. наприклад [2]). Підстановка у таку комбінацію отриманої вище апроксимації парціального структурного фактора $S_{12}(0)$ для довільного значення мольної фракції компонентів x , разом з іншими парціальними структурними факторами $S_{11}(0)$ та $S_{22}(0)$ (див. наприклад [1]), дозволяють сконструювати алгебраїчне рівняння 12ої степені відносно параметра впакування η . Навести тут це рівняння нажаль немає можливості внаслідок громіздкості його коефіцієнтів (наприклад, найдовший у кодї MatLab має довжину строки у 1148 знаків). Чисельний розв'язок такого рівняння дозволяє встановити η для довільного значення мольної фракції компонентів x . За розрахованими величинами η можна відновити значення ізотермічної стисливості $\beta_T^{(1,2)}$ суміші як з формули КБ (за наявності апроксимації $S_{12}(0)$) так і з формули КСМ, для довільної мольної фракції x .

На рис. 1 наведені результати теоретичних розрахунків надлишкового фактору ізотермічної стисливості $\beta_T^{exc} = \beta_T - \beta_T^{id}$ для рідкої суміші $CCl_4/CHCl_3$ від мольної фракції x другого компонента визначений за допомогою розвиненого в розділі підходу. Стисливість β_T^{id} ідеальної суміші була розрахована за допомогою закону Рауля. Плюси (червоним) – експериментальні дані. Суцільна лінія (зеленим) та пунктирна лінія (синім) – теоретичні дані, отримані за теорією КБ, після підстановки до рівняння КБ поліноміальних апроксимацій $S_{12}(0)$, відповідно, 7го та бго степеня.

Ми спостерігаємо (див. рис. 1) гарний збіг теорії та експериментів, що дозволяє нам (враховуючи формально універсальний характер формулювань КБ та КС) застосовувати обговорену теоретичну

конструкцію також для дослідження інших (не тільки рідких) простих бінарних сумішей.

Запропонований теоретичний підхід до вивчення $\beta_T^{(1,2)}$ приводить нас до визначення цієї характеристики через η . Зазначимо, що за допомогою цього визначення ми можемо належним чином вивчити роль, яку відіграє ущільнення у формуванні молярної x (або об'ємної f) залежності β_T . Оскільки модель КСМ була розроблена для бінарних сумішей твердих сфер [5]), ми очікуємо, що запропонований вище підхід буде працювати краще для сумішей, у яких ми можемо майже знехтувати взаємодіями між компонентами.



Плюси (червоним) – експериментальні дані. Суцільна лінія (зеленим) та пунктирна лінія (синім) – теоретичні дані, отримані за теорією КБ, після підстановки до рівняння КБ поліноміальних апроксимацій $S_{12}(0)$, відповідно, 7го та 5го степеня.

Рисунок 1 – Надлишковий фактор ізотермічної стисливості $\beta_T^{exc} = \beta_T - \beta_T^{id}$ для рідкої суміші $\text{CCl}_4/\text{CHCl}_3$ від мольної фракції x другого компонента визначений за допомогою розвиненого в розділі підхода. Стисливість β_T^{id} ідеальної суміші була розрахована за допомогою закону Рауля.

Таким чином можна зробити наступні висновки:

1) Встановлені закономірності відкривають можливість застосувань запропонованого підходу до принципово різних за фізичними властивостями систем, як мікромеханічних [3], так і рідин (із принципово різним характером міжчастинкових взаємодій) з метою формування їх прогнозованих властивостей у відповідності до потреб та умов їх використання в технологічних процесах.

2) Внаслідок того що надлишкові властивості впакування є негативні, коли у той самий час надлишкові властивості ізотермічної стисливості є позитивними, зроблено висновок про обернений вплив компактизації на стисливість $\beta_T^{(1,2)}$ для випадку суміші простих рідин

Перелік посилань

1. Gerasymov O., Spivak A., Andrianova I., Sidletska L., Kuryatnikov V., Kilian A. Micro-mechanical (granular) mixtures for environmental safety technologies. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 234 [The International Conference on Innovation, Modern Applied Science & Environmental Studies (ICIES2020) Kenitra, Morocco (December 25-27, 2020)]. P. 00075.

2. Gerasymov O.I., Andrianova I.S., Spivak A.Y., Sidletska L.M., Kuryatnikov V.V., Kilian A.M. Tightening (Compaction) of Bi-Component Micromechanical (Granular) System [Ущільнення (компактизація) впакування у бі-компонентній мікромеханічній (гранульованій) суміші]. *Science and Innovation*. 2021. Vol. 17, No. 4. P. 79-88.

3. Герасимов О.І., Співак А.Я. Впакування та стисливість бікомпонентних мікромеханічних (гранульованих) систем. *Український Фізичний Журнал*. 2025. Т.70, № 8. С. 550-556.

4. Kirkwood J.G., Buff F.P. The statistical mechanical theory of solutions. I. *The Journal of Chemical Physics*. 1951. Vol. 19, No. 6. P. 774-777.

5. Mansoori G.A., Carnahan N.F., Starling K.E., Leland Jr. T.W. Equilibrium Thermodynamic Properties of the Mixture of Hard Spheres. *The Journal of Chemical Physics*. 1971. Vol. 54, No. 4. P. 1523-1525.

6. Aliotta F., Gapiński J., Pochylski M., Ponterio R.C., Saija F., Salvato G. Excess compressibility in binary liquid mixtures. *The Journal of chemical physics*. 2007. Vol. 126, No. 22. 224508.

ЕКРАНУВАННЯ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОЛІДИСПЕРСНИХ ГРАНУЛЬОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

О. І. Герасимов, д-р фіз.-мат. наук, професор

Г. В. Кудашкін, аспірант

rocksoul95@ukr.net

Гранульовані матеріали, що складаються з твердих частинок різних розмірів, є перспективною основою для створення композитів із заданими механічними, термодинамічними та захисними властивостями [1,2]. Особливу увагу привертають полідисперсні гранульовані системи, у яких взаємодія частинок різного масштабу забезпечує ефект внутрішнього екранування від зовнішніх збурень — механічних, акустичних, теплових або радіаційних.

Дослідити механізми екранування зовнішніх збурень у гранульованих середовищах за рахунок варіювання мольних фракцій, розмірів частинок та ступеня упаковки системи.

Особлива увага приділяється зв'язку між мікроструктурними параметрами (кореляційними інтегралами (G_{ij}) та макроскопічними характеристиками, зокрема ізотермічною стисливістю (β_T), яка виступає критерієм ефективності екранування.

Для опису властивостей системи використано два підходи:

1. Модель Кірквуда–Баффа (КБ) – визначає ізотермічну стисливість через інтеграли кореляції (G_{ij}), які моделюються на основі наближення Перкуса–Свіка для функції розподілу ($g_{ij}(r)$).

Формула для багатокомпонентної суміші (формула (42) зі статті *Kang&Smith, 2008* [3]) дозволяє врахувати внесок кожної компоненти:

$$\beta_T = \frac{1}{RT} \left[1 + \sum_i \sum_j \chi_i \chi_j G_{ij} \right]$$

2. Модель Карнахана–Старлінга–Мансурі (КСМ) – використовується для порівняння та визначення залежності ($\beta_T(\eta)$) від параметра упаковки. Нижче, для прикладу наведемо застосування КСМ до найпростішої суміші – бідисперсної.

Як впливає з роботи [4] і продемонстровано у [5], ізотермічна стисливість ($\beta_T^{(1,2)}$) бінарної багато-частинкової суміші твердих сфер може бути представлена в наступному вигляді:

$$\beta_T^{(1,2)} = \frac{1}{n_{12} k_B T} \cdot \frac{(1-\eta)^4}{1 + a\eta + b\eta^2 + c\eta^3 + d\eta^4},$$

де η - параметр компактизації бінарної суміші (з компонентами 1 та 2)

$$\eta \equiv \eta_{12} = \frac{1}{6} \pi n_{12} \sigma_{12};$$

n_{12} - щільність кількості частинок для бінарної суміші;

σ_{12} - ефективний розмір, який можна визначити через мольну частку x -

$$\sigma_{12}^3 = (1-x)\sigma_1^3 + x\sigma_2^3,$$

або через об'ємну частку f -

$$\sigma_{12}^3 = \frac{\sigma_1^3 \sigma_2^3}{(1-f)\sigma_2^3 + f\sigma_1^3};$$

де σ_1 та σ_2 - твердосферні діаметри компонентів суміші, відповідно; коефіцієнти

a, b, c, d - залежать від мольної фракції компонентів суміші x (або їх об'ємної фракції $f = V_S / (V_L + V_S)$), а також від відношення розмірів частинок $r = \sigma_1 / \sigma_2$).

Як показано в [5] ці коефіцієнти визначаються за допомогою наступних співвідношень:

$$a = 4 - 6y_1, \quad b = 4 - 3y_1 - 9y_2, \quad c = -4y_3, \quad d = y_3,$$

де y_1, y_2 та y_3 мають вигляд:

$$y_1 = \Delta \cdot \left(\sqrt{r} + \frac{1}{\sqrt{r}} \right), \quad y_2 = \Delta \cdot \left(f\sqrt{r} + \frac{1-f}{\sqrt{r}} \right),$$

$$y_3 = \left[(1-f)^{2/3} \cdot (1-x)^{1/3} + f^{2/3} \cdot x^{1/3} \right]^3, \quad \Delta = \sqrt{f(1-f)x(1-x)} \cdot \left(\sqrt{r} - \frac{1}{\sqrt{r}} \right)^2.$$

Зауважимо, що зв'язок між об'ємною та молярною фракціями, а також відношенням розмірів, дається співвідношеннями:

$$f = \frac{x}{r^3 - (r^3 - 1)x}, \quad x = \frac{r^3 f}{1 + (r^3 - 1)f}, \quad r^3 = \frac{x}{1-x} \cdot \frac{1-f}{f}.$$

Для чисельного моделювання розглянуто бінарні та трикомпонентні системи твердих куль із діаметрами ($d_1 = 1.0$; $d_2 = 0.8$; $d_3 = 0.5$) і змінними мольними фракціями (χ_i).

За результатами чисельного розрахунків встановлено, що:

- у бінарній системі спостерігається немонотонна залежність стисливості від складу, з мінімумом, який відповідає стану максимальної упаковки (“фаза гравію”);
- додавання третьої компоненти викликає згладження кривих та зсув екстремумів, що вказує на можливість керування ефектом екранування через дрібнодисперсну фракцію (“фаза пудингу”);
- порівняння результатів за моделями КБ і КСМ показує узгодженість тенденцій, хоча КСМ дає нижчі значення β_T у щільно упакованих станах, що відповідає ефективнішому екрануванню.

Отже можна сформулювати наступні висновки:

1. Полідисперсність суттєво впливає на ефективність екранування зовнішніх збурень у гранульованих матеріалах.
2. Модель Кірквуда–Баффа дозволяє кількісно описати зміни стисливості, пов’язані з варіюванням складу.
3. Модель КСМ може бути використана для прогнозування межових щільних станів системи.
4. Найменші значення (β_T) (мінімальна стисливість) відповідають станам з максимальною упаковкою, що можна інтерпретувати як оптимальні умови екранування.

Перелік посилань

1. Герасимов О. І. *Фізика гранульованих матеріалів*: монографія. Одеса: ТЕС, 2015. 264 с.
2. Герасимов О. І., Співак А. Я., Сідлецька Л. М. *Фізичні механізми процесів, на яких базуються технології очистки та дезактивації забруднених систем*: монографія. Одеса: ОДЕКУ, 2024. 98 с.
3. Kang M., Smith P. E. Kirkwood–Buff theory off our and higher component mixtures. *J. Chem. Phys.* 2008. Vol.128. P.244511.
4. Mansoori G. A., Carnahan N. F., Starling K. E., Leland T. W. Equilibrium thermodynamic properties of the mixture of hard spheres. *J. Chem. Phys.* 1971. Vol.54. P.1523–1525.
5. Герасимов О.І., Співак А.Я. Упакування та стисливість бікомпонентних мікромеханічних (гранульованих) систем. *Український фізичний журнал.* 2025. Т.70, № 8. С. 550–556.

КОМПОЗИТНІ СТРУКТУРИ В ЗАДАЧАХ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ

О. І. Герасимов, д-р фіз.-мат. наук, професор

Л. М. Сідлецька, зав. лаб.

Кафедра екології та охорони довкілля

milapolonskaa@ukr.net

Питання радіаційного екранування, особливо стосовно управління радіоактивними залишками, постає як одне з ключових при промисловому застосуванні ядерної енергетики. Атомна енергетика вирізняється від інших способів енергозабезпечення тим, що генерує значні маси радіоактивних викидів (РАВ), які виникають майже на кожному етапі паливного циклу атомних станцій [1].

Радіоактивні викиди становлять собою особливий розряд радіоактивних субстанцій, що виникають, коли радіоактивні матеріали втрачають свою корисність з погляду нинішнього технологічного рівня. Першочерговими джерелами, де формуються ці радіоактивні залишки (РАВ), є робочі атомні електростанції. Радіоактивні сполуки генеруються під час функціонування АЕС унаслідок розпаду ядер урану-235, урану-233 чи плутонію-239 у зоні реактора, а також внаслідок взаємодії нейтронів із матеріалами, що перебувають у цій же зоні — тобто як наслідок ядерних перетворень. Їхня потенційна шкода зумовлена насамперед здатністю радіонуклідів, які вони містять, поширюватися біосферою, спричиняючи згубний радіаційний вплив на людство та довкілля (ДМ).

Під час роботи енергетичних блоків АЕС виникають три основні категорії радіоактивних відходів (РАВ): газоаерозольні, рідкі та тверді. Критичною умовою для забезпечення безпеки є недопущення їхнього шкідливого впливу на навколишнє середовище. Зважаючи на негативний ефект, який РАВ чинять на здоров'я людей та природу, життєве необхідно організувати зважене збирання та гарантоване відмежування цих відходів, беручи до уваги специфіку окремих різновидів радіонуклідів [2].

Для наступного розміщування радіоактивних відходів використовують спеціально розроблені захисні оболонки (модулі), в які вміщують ємності, що містять радіоактивні сполуки. Між зовнішньою оболонкою контейнера та внутрішніми стінками модуля лишаються проміжки, які можуть спричинити зниження ефективності екранування. Щоб уникнути цього небажаного ефекту, передбачено заповнення цього незайнятого простору. У якості наповнювача застосовуються речовини, здатні до затвердіння (цементування). Зазвичай таку засипку подають у рідкому стані та заливають у модуль з метою усунення пустот. З плином часу ця маса твердне, утворюючи єдине (монолітне) тіло, що покращує ступінь захищеності.

Затверділа цементована маса, функціонуючи як засіб заповнення порожнин, забезпечує достатній бар'єр проти можливого виходу радіації у навколишнє середовище. Проте їх застосування, на жаль, пов'язане з неминучими мінусами. Згодом, внаслідок постійного впливу іонізуючого випромінювання, у об'ємі цього монолітного захисту починають виникати порушення. Зокрема, радіаційний вплив викликає ламкість захисного матеріалу (явище, відоме як "статичний вибух"). Крім того, певні зовнішні дії на АЕС (наприклад, сейсмічна активність) можуть спровокувати механічні пошкодження, такі як утворення розколин, вищербленості або інші дефекти. Певна незручність у використанні таких цілісних елементів захисних модулів полягає також у тому, що після їхнього застигання усередині модуля, заміна цих заповнень стає неможливою без повного розбирання конструкції.

Таким чином, незважаючи на високу експертну оцінку, яку отримують подібні модулі, вони мають певні виразні недоліки, що потенційно можуть призвести до, наприклад, радіаційного окрихчення суцільного цементного матеріалу і загалом до позаштатної ситуації у функціонуванні системи. Також, фінансові витрати на таку технологію є суттєвими.

На кафедрі загальної та теоретичної фізики Одеської державної екологічної університету, професором Герасимовим О.І. [3] була запропонована методика використання гранульованих субстанцій як рухомого заповнювача у системі захисних модулів для радіаційного екранування та утилізації радіоактивних речовин.

Особливі фізичні та механічні якості, притаманні матеріалам у вигляді гранул [4], спонукають до їх залучення задля оптимізації певних етапів промислового циклу, а саме – для застосування у компонентах захисних структур від радіації. Цей напрямок є частиною інноваційних, наукомістких методик, що стосуються радіаційного екранування і поводження з небезпечними радіаційними відходами. Гранульовані субстанції численні у середовищі та знаходять застосування у різних галузях: будівництво, хімічна промисловість, металургія, аграрний сектор та харчова індустрія.

Гранульований склад – це сукупність окремих твердих, помітних неозброєним оком частинок, чиєю ознакою є втрата енергії, що відбувається через тертя (у спокої чи при взаємодії) між цими елементами.

Природні гранульовані субстанції, які можуть бути інкорпоровані у складові радіаційно-захисних систем, включають, скажімо, пісок, бентоніт, щебінь, а також їхні комбінації. Наявність великої кількості таких матеріалів робить їх застосування не лише науково обґрунтованим, але й економічно доцільним. Розглядаючи ж фізичні характеристики гранульованих наповнювачів, вони здатні гідно конкурувати з

традиційними монолітними (цементними) наповнювачами у спорудах, призначених для блокування іонізуючого випромінювання [5].

Пісок, бентоніт та гравій добуваються у природному середовищі, застосовуючи усталені методики. Природний рівень їхньої радіонуклідної активності є несуттєвим. В межах України розташовані значні запаси цих природних ресурсів [4]. Застосування заповнювача, що має гранульовану структуру, у захисних конструкціях є логічним та економічно обґрунтованим технологічним вибором. Робота з ним простіша, а його вартість є нижчою. Такі матеріали придатні до негайного використання без потреби у додатковій обробці. Для досягнення кращого захисту від іонізуючого випромінювання, доцільно застосовувати комбінацію піску та бентоніту [5].

Суттєвою перевагою застосування гранульованих речовин для екранування залишкового випромінювання є їхня значна здатність до поглинання та абсорбції зовнішнього (радіаційного) потоку, а також локалізації енергії проникнення. Гранульовані матеріали демонструють стійкість до тривалого радіаційного впливу та до дії екстремальних зовнішніх умов. Вони дозволяють досить легко модифікувати їхні ключові фізико-механічні та радіаційні характеристики через зовнішні впливи. Впровадження «гранульованих екранів» дозволить запобігти труднощам, пов'язаним із радіаційним крихченням та іншими видами деформацій, які, безсумнівно, проявляються під час експлуатації модулів, виготовлених із монолітного цементного матеріалу.

Перелік посилань

1. Штангрет В.П. *Радіоекологія: навчальний посібник*. Хмельницький: ХНУ, 2004. 101 с.
2. Денисевич К.Б., Ландау Ю.О., Нейман В.О., В. М. Сулейманов, Б. А. Шиляєв. *Енергетика: історія, сучасність і майбутнє*. Кн. 4: Розвиток атомної енергетики та об'єднаних енергосистем. Наук. ред. Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал. 2013. 303 с.
3. Герасимов О.І., Худинцев М.М, Андріанова І.С., Співак А.Я. Гранульовані матеріали в технологіях утилізації радіаційно шкідливих речовин. *Національний форум «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології»*. Київ, 2016. С. 40-42.
4. Герасимов О.І. *Фізика гранульованих матеріалів: монографія*. Одеса: ТЕС, 2015. 264 с.
5. Герасимов О.І. *Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища: навчальний посібник*. Одеса: ТЕС, 2018. 228 с.

КОНВЕКТИВНО-ДИФУЗІЙНІ МОДЕЛІ МІГРАЦІЇ ЗАБРУДНЕНЬ

В. В. Курятников, канд. фіз.-мат. наук, доцент

О. І. Герасимов, д-р фіз.-мат. наук, професор

Кафедра екології та охорони довкілля

kuryatnikov1@ukr.net

Елементи систем довкілля, якими є природні або штучні об'єкти, атмосферне повітря, водне середовище, ґрунти та ін., є нерівноважними системами, вивчення яких проводиться в напрямку досліджень технологій захисту навколишнього середовища. Цей висновок [1, 2] потрібно враховувати при моделюванні релаксації систем до їх рівноважного стану, враховувати вплив дисипації енергії на незворотність процесів. Потрібно мати на увазі елементи термодинаміки замкнених та відкритих систем, питання стаціонарних станів у відкритих системах, зміни ентропії відкритих систем, динаміку дифузійних процесів міграції забруднень в цих системах.

Одним із шляхів підвищення ефективності технологій очищення водних об'єктів і атмосферного повітря є удосконалення методів фізичного і математичного моделювання дифузійних масообмінних процесів як при вивченні міграції забруднень, так і при експлуатації сучасних апаратів і систем очищення, що дозволяє оптимізувати конструкцію і роботу технологічного обладнання ще на етапі його проектування.

Очищення води та повітря від аерозольних частинок і газових домішок є нагальною проблемою у багатьох промислових галузях, таких як хімічна та будівельна індустрії, нафтогазова промисловість, теплоенергетика.

В залежності від виду забруднення дифузійні процеси масообміну відбуваються у дисперсних і суцільних фазах, які за своїм характером можуть бути однорідними або неоднорідними із рисами фрактальних об'єктів.

Зазначимо також, що відомі моделі дифузійних процесів можна використовувати для розрахунків тільки в окремих випадках, так як внаслідок багатьох факторів, зокрема фрактальності турбулентних двофазних потоків, практично неможливо визначити в них поверхню контакту фаз, а значить і розподіл концентрацій у фазах та інші потрібні для розрахунків параметри.

Опис дифузійних процесів міграції забруднень може ускладнювати неоднорідність багатофазних систем, у яких забруднення присутнє у вигляді декількох фаз, як наприклад аміак, який може розподілятися у

потоці повітря або води, як у виді газової, так і у вигляді крапельної дисперсної фази.

Динаміка дифузійних процесів може визначатися різними фізичними механізмами масопереносу - молекулярними або молярними (конвективними). До конвективних механізмів належить, зокрема, явище стефанівських потоків, обумовлених дією джерел або стоків маси речовини.

При опису конвективних процесів стає питання одномірності або трьохмірності диференціальних дифузійних рівнянь та отримання їх аналітичного розв'язку, що являє певний інтерес розв'язання подібних задач теорії і практики.

Вивчення міграції радіонуклідних забруднень у водному середовищі ускладнюють конвективні потоки, наприклад, морські течії, що мають гравітаційне походження та пов'язані із кліматичними і сезонними змінами. Тому питання моделювання конвективної дифузії у задачах захисту навколишнього середовища безперечно є актуальними.

Мета роботи - розглянути дифузійні процеси, що обумовлюють міграцію забруднень, зокрема, радіонуклідних забруднень, у потоках водного середовища або повітря з врахуванням конвективних механізмів, провести верифікацію цих моделей з доведенням їх до розрахунків.

В роботі розглянуті моделі фізичних процесів, що супроводжують гравітаційне осадження дисперсних частинок у природних гідрологічних потоках та штучних апаратах очищення повітря та гідромеханічних відстійниках, в яких враховуються броунівський рух цих частинок, здатний, як виявляється, викликати їх коагуляцію. А коагуляція переводить забруднюючі речовини у дисперсний стан із більшим розміром частинок.

Моделювання [3] динаміки радіоактивних домішок в умовах річкових стоків в райони морського узбережжя надали наступні результати.

Запропонована конвективно-дифузійна модель перенесення забруднень у водному середовищі. Конвективно - дифузійний механізм поширення радіонуклідів пояснює переміщення домішкової забруднюючої речовини за сумісною дією конвекції та дифузії у воді. Конвективний потік води завдається вектором $\vec{j}_v = \vec{v} \cdot C$.

Переніс може здійснюватися течією річки або морськими течіями. В цьому випадку він носить назву адвективного.

Молекулярним переносом маси \vec{j} здійснюється під дією градієнта концентрації (закон Фіка), градієнта температури (закон Соре) та градієнта тиску P:

$$\vec{j} = -D \text{grad}C - K_T \text{grad}T - K_P \text{grad}P, \quad (1)$$

де K_T - термодифузійний коефіцієнт, бародифузійний коефіцієнт, пов'язаний із зміненням хімічного потенціалу в ізотермічному процесі.

Основне рівняння в конвективно - дифузійній моделі, що охоплює перелічені вище механізми, має вигляд:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla(vC) + D(\nabla^2 C + \frac{K_T}{T} \nabla^2 T + \frac{K_P}{P} \nabla^2 P) + I, \quad (2)$$

де: C – концентрація радіонуклідів, t – час, v - швидкість конвекції (переміщення середовища), I – джерела або стоки, D - коефіцієнт дифузії.

Показано, що адвективна модель масштабного перенесення радіонуклідів у водному середовищі при цілком реальних значеннях коефіцієнта дифузії (для дифузії водних розчинів - 10^{-9} м²/с, а для броунівської дифузії - $10^{-10} \div 10^{-11}$ м²/с) слушно описує динаміку радіоактивних домішок, що надходять із забруднених територій і поширюються у Дніпровському басейні річок та водосховищ, попадаючи у північно західну частину Чорного моря.

Результати розрахунків за цією моделлю добре співпадають із значеннями активності радіонуклідів Чорнобильського походження, представленими у звіті [4] Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського у вигляді даних вимірювань, отриманих в 2019-2020 р.р. у різних місцях Дніпровського басейну і північно-західної частини Чорного моря. Це свідчить про суттєву роль дифузійного розбавлення в процесі водної міграції радіонуклідів і потребу врахування його при моделюванні динаміки процесу.

Результати розрахунків за конвективно-дифузійною моделлю вказують на те, що наявність конвекції сприяє збільшенню масштабів розподілу домішок (іншими словами, сприяє більш широкомасштабному поширенню домішок), і на відміну від випадку чистої дифузії максимум розподілу зміщується у напрямку конвективного потоку.

При розв'язанні задачі зручно мати деякий показник, який здатний був вказувати область застосування моделі, роль тих чи інших процесів. З цією метою введемо для розгляду фактор, який назовемо фактором автотельності.

Розглянемо такий фактор автотельності у вигляді функції

$$\sim e^{-\frac{2U(x-Ut)}{D}} \quad (3)$$

Цей фактор являє собою математичний вираз, який може бути застосований для отримання розв'язку деякого рівняння в часткових похідних в області великих конвекційних рухів з дифузійними процесами.

У виразі (3) U - визначає форму функції і може залежати від конкретної фізичної системи. Фактор автотельності $\sim e^{-\frac{2U(x-Ut)}{D}}$ вказує на залежність концентрації (або іншої величини) від просторового та часового розподілу швидкості конвекції (U), просторової координати (x) і

часу (t). Цей вираз може бути використаний для аналізу і моделювання процесів переносу та дифузії у фізичних системах з рухомим середовищем.

Так, стосовно гравітаційного осадження дисперсних домішок в стічних водах [5] фактор автотомодельності b показує превалюючу роль одного з двох фізичних механізмів осадження – стоксівський під дією гравітаційних сил або броунівський рух завислих частинок.

Експонента виразу (3) показує у скільки разів вздовж напрямку осі X відбувається зменшення передекспоненціального множника, тобто концентрації, або активності радіоактивного ізотопу.

При переході від одновимірного випадку до двовимірної та тривимірної дифузії фактор автотомодельності враховує просторову залежність адвективних складових: $x = v_x \cdot t$; $y = v_y \cdot t$; $z = v_z \cdot t$.

Седиментація дисперсних частинок, теплові конвективні рухи відбуваються у вертикальному напрямку з швидкістю $v_y = v_s$. Цю швидкість визначає формула (4):

$$v_s = \frac{d^2 [g(\rho_c - \rho_0) + 2\rho_c v \omega]}{18\eta}, \quad (4)$$

де d – діаметр дисперсних частинок, ρ_c – густина речовини частинок, ρ_0 – густина води, η – в'язкість води, g – прискорення вільного падіння.

Швидкість осадження v_s визначається із умови рівності нулю рівнодіючої діючих на дисперсну частинку сил. У формулі (4), на відміну від формули Пуазейля, враховується поправка на дію сили Коріоліса у вигляді добутку густини частинки на горизонтальну швидкість частинки v і кутову швидкість обертання Землі ω , що стоїть у чисельнику цієї формули.

Якщо розмір d частинок близький до середньої довжини вільного пробігу молекул води, відбувається хаотичний броунівський рух частинок з відхиленням від закону Стокса. Броунівський рух частинок, який прагне порушити механізм гравітаційного осадження, розподілити частинки рівномірно по всьому об'єму, перешкоджає осіданню (або спливанню) частинок. Унаслідок броунівського руху в полідисперсній системі встановлюється певний розподіл частинок за висотою.

Розрахунки за формулою (4) показують, що вертикальна швидкість v_y залежить перш за все від розміру дисперсних частинок і для частинок 0,1 мкм – 60 мкм лежить в межах 10^{-8} - 10^{-2} м/с. При обраних значеннях коефіцієнту дифузії (10^{-9} - 10^{-11}) м²/с оцінки фактору автотомодельності уздовж вертикальної осі Y є цілком слушними, вони достатньо добре можуть пояснити зменшення концентрації радіонуклідів та їх радіоактивності по даних вимірів у воді Дніпра і північно-західній частині Чорного моря. Зрозуміло, що порівняння швидкості еволюційних процесів у трьох різних напрямках має відбуватися при однакових умовах та при порівняних параметрах, характерних для цих процесів.

Таким чином, застосовуючи фактор автомодельності до відповідного рівняння, можна отримати аналітичні або числові розв'язки, які відображатимуть перенос і розподіл домішок або інших фізичних величин в системі за умови великих конвекційних рухів і дифузійних процесів.

Запропонований фактор автомодельності може бути застосований для отримання розв'язку деяких рівнянь в часткових похідних в області великих конвекційних рухів з дифузійними процесами та може бути використаний для аналізу і моделювання процесів переносу та дифузії у фізичних системах з рухомим середовищем.

Для двовимірної та тривимірної дифузії фактор автомодельності визначатиме просторову залежність адвективних складових: горизонтальний рух у напрямку адвективних потоків, течії річки або морської течії, седиментацію дисперсних частинок, теплові конвективні рухи з врахуванням сили Коріоліса та ін.

Сформульовані і представлені фізичні моделі процесу абсорбційного очищення газів з урахуванням змін концентрації газу по висоті абсорбційного апарату. Розроблені математичні моделі диференціальних рівнянь масообміну, основу яких складає рівняння конвективної дифузії.

Для дослідження масообміну на вільній границі фаз в технологіях очищення повітря проведена верифікація простих фізичних моделей в різноманітних конвективно-дифузійних задачах із найбільш простою геометрією конструктивних форм. Отримані співвідношення та залежності надали можливість оперативно проводити оцінки регулюючих факторів, режимів процесів та розраховувати параметри апаратів очищення.

Перелік посилань

1. Герасимов О.І. *Технології захисту навколишнього середовища*: підручник. Одеса: ТЕС, 2019. 268 с.

2. Герасимов О.І. *Фізичні основи технологій захисту навколишнього середовища*: підручник. Одеса: ОДЕКУ, 2022. 168 с.

3. Герасимов О.І., Курятников В.В. Моделювання динаміки радіоактивних домішок в умовах річкових стоків в райони морського узбережжя. *Фізика аеродисперсних систем*. 2024. № 62. С.130-149. <https://doi.org/10.18524/0367-1631.2024.62.318617>

4. *Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2020 р.* Київ: Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського, 2021. 43 с. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/data/ukr-zabrud-viz-1/oglyad-stanu-zabrudnennya-2020-sayt.pdf>

5. Герасимов О.І., Курятников В.В. Фізичне моделювання в технологіях водоочищення. *Фізика аеродисперсних систем*. 2023. № 61. С.17-31. <https://doi.org/10.18524/0367-1631.2023.61.290835>

Наукове видання

МАТЕРІАЛИ

**80-ї звітної наукової конференції
професорсько-викладацького складу і наукових працівників
факультету гідрометеорології і екології
Одеського національного університету імені І. І. Мечникова**

Секція «Гідрометеорологія і екологія»

**Підсекції: «Агromетеорологія та агроєкологія»,
«Водні біоресурси та аквакультура», «Гідрологія суші», «Екологія»,
«Метеорологія і кліматологія», «Океанологія та гідрографія»,
«Технології захисту навколишнього середовища»**

Одеса, 26–28 листопада 2025 року

Електронне видання мережевого використання

В авторській редакції

Затв. авт. 25.12.2025. Шрифт Times New Roman.
Системні вимоги: операційна система сумісна з програмним
забезпеченням для читання файлів формату PDF.
Обсяг 9,3 МБ. Зам. № 3069.

Видавець і виготовлювач:

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
вул. Університетська, 12, м. Одеса, 65082, Україна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.
Тел.: (048) 723 28 39, E-mail:druk@onu.edu.ua