

Міністерство освіти і науки України

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ІЛЬІН ЮРІЙ ПАВЛОВИЧ



УДК 551.58+551.465

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ
ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ МОРІВ УКРАЇНИ

11.00.09 – метеорологія, кліматологія, агрометеорологія

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора географічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українському гідрометеорологічному інституті Державної служби з надзвичайних ситуацій України та Національної академії наук України

Науковий консультант: доктор географічних наук, член-кореспондент НАН України

Осадчий Володимир Іванович,
Український гідрометеорологічний інститут ДСНС
України та НАН України, директор

Офіційні опоненти: доктор географічних наук, професор
Хохлов Валерій Миколайович,
Одеський державний екологічний університет
МОН України, проректор з навчально-методичної
роботи

доктор географічних наук, професор
Антоненко Володимир Степанович,
Київський національний університет культури і
мистецтв МОН України, професор кафедри міжна-
родного туризму

доктор географічних наук, старший науковий спів-
робітник
Андріанова Ольга Радомирівна,
ДУ «Відділення гідроакустики Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України», провідний нау-
ковий співробітник

Захист відбудеться 08 грудня 2016 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.001.22 у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка за адресою: м. Київ, МСП-680, проспект Акад. Глушкова, 2-А, географічний факультет, ауд. 312.

З дисертацією можна ознайомитись у Науковій бібліотеці імені М. Максимовича Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 01033, м. Київ, вул. Володимирська, 58, к. 12

Автореферат розіслано 03 листопада 2016 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.001.22,
кандидат географічних наук

А.В. Круківська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах глобального потепління останніх десятиріч актуальність дослідження змін гідрометеорологічного режиму морських регіонів значно зросла. Морські галузі господарства України, національні та міжнародні системи екологічного моніторингу особливо зацікавлені у інформації про метеорологічні (температура повітря, вітер, атмосферні опади) та гідрологічні (рівень моря, хвилювання, течії, температура і солоність морської води, льодові умови) показниках стану морського довкілля, які певною мірою залежать від зовнішніх природних факторів та антропогенних впливів. Кліматична мінливість цих показників, тобто зміни на масштабах десятиріч і сторіч, визначає необхідність періодичного (кожні 20-30 років) перегляду та узагальнення усієї сукупності матеріалів регулярних і спеціалізованих метеорологічних і гідрологічних спостережень, що виконуються на берегових станціях та експедиційних суднах. Традиційним результатом такого узагальнення є видання атласів, монографій та довідникових посібників з океанографії та гідрометеорологічного режиму морів, розрахованих на використання у наукових, освітніх та різноманітних господарських цілях. Як правило, такі роботи фіксують середній багаторічний стан і екстремальні характеристики регіональної морської кліматичної системи, а також описують синоптичну, сезонну та міжрічну мінливість її показників. Попередні фундаментальні монографії з гідрометеорологічного режиму Азовського і Чорного морів видані у 1991 році в серії «Моря ССРСР» на основі масивів даних, отриманих до 1986 року. Минулі після цього десятиріччя характерні найбільш відчутними змінами глобального і регіонального клімату. Вікові ряди морських гідрометеорологічних спостережень доповнилися новими даними, що дозволяють уточнити середні багаторічні характеристики елементів режиму морів і оцінити сучасні тенденції їхніх змін. Таким чином, назріла очевидна необхідність узагальнюючого комплексного дослідження гідрометеорологічного режиму Чорного і Азовського морів в умовах сучасних глобальних змін клімату, на основі усієї сукупності накопичених до цього часу даних натурних морських спостережень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідної тематики Українського гідрометеорологічного інституту, а саме:

«Дослідити мінливість гідрометеорологічного і гідрохімічного режиму та забруднення вод української зони Чорного и Азовського морів, у т.ч. гирлових областей річок. Розробити рекомендації з відтворення та захисту морського довкілля, а також математичні моделі прогнозування основних його параметрів», 2000 - 2002 рр., № держреєстрації 0101U003957.

«Дослідження сучасного гідрометеорологічного режиму Азовського і Чорного морів, удосконалення системи морських спостережень і прогнозування», 2003 - 2005 рр., № держреєстрації 0103U008437.

«Розвиток регіональних ресурсів і комунікацій для модернізації систем контролю і прогнозу стану Чорного моря» (міжнародний проект 5-ї рамкової програми ЄС, шифр «ARENA»), 2003 – 2005 рр., № держреєстрації 0104U006731.

«Дослідження особливостей клімату морської прибережної смуги України», 2006 - 2008 рр., № держреєстрації 0106U010170.

«Розвиток методів автоматизованої обробки даних досліджень для підготовки видань державного водного кадастру по морях і гирлах річок та сучасного каталогу вимірювань рівня моря», 2006 - 2008 рр., № держреєстрації 0106U010169.

«Удосконалення методичної бази досліджень основних показників гідрологічного режиму Чорного і Азовського морів», 2009 – 2011 рр., № держреєстрації 0109U005789.

«Розробка інформаційної технології моніторингу гідрометеорологічного режиму Азовського і Чорного морів», 2012 – 2014 рр., № держреєстрації 0112U003629.

«Дослідження сучасного стану прибережних і шельфових районів морів України і розвиток методів оперативної океанографії», 2015 – 2017 рр., № держреєстрації 0115U002794.

Двосторонній українсько-грецький проект «Взаємодія та обмін між Чорним і Егейським морями: інтеграція контактних вимірювань, супутникових даних та чисельного моделювання» (договір № 2М/28-2001 від 05.05.2001), 2001 - 2003 рр.

Окрім того, автор брав участь у дослідженнях за темами НДР Морського гідрофізичного інституту НАН України (шифри тем «Шельф», «Екошельф», «Моніторинг», «Морські береги Криму», «Фундаментальна океанологія» та ін.), результати яких також використані при написанні дисертації.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є аналіз стану та тенденцій змін гідрометеорологічного режиму Азовського і Чорного морів, а також океанографічних процесів, що визначають структуру і динаміку морських вод.

Для досягнення окресленої мети ставилися такі основні завдання:

- дати комплексну характеристику сучасного гідрометеорологічного режиму морів України за низкою основних показників, з акцентом на тенденції їхніх багаторічних змін, на основі інформації берегової мережі гідрометеорологічних спостережень та баз океанографічних даних;
- дослідити міжрічну та кліматичну мінливість гідрометеорологічних умов чорноморського узбережжя України як єдиного географічного об'єкту у порівнянні зі змінами інформативних індексів глобальних кліматичних сигналів;
- кількісно оцінити відносний внесок глобальних і регіональних чинників у міжрічну та кліматичну мінливість гідрометеорологічних умов чорноморського узбережжя України;
- визначити співвідношення різних видів мінливості (лінійний тренд, низькочастотні квазіперіодичні варіації та високочастотні міжрічні флуктуації) у сумарній дисперсії елементів гідрометеорологічного режиму чорноморського узбережжя України;
- з'ясувати кліматичні зміни складових водного балансу Чорного моря та їхній вплив на водообмін через систему Турецьких проток (Босфор – Мармурове море – Дарданелли);
- за даними багаторічних океанографічних спостережень дослідити реакцію характерних елементів гідрологічної структури і динаміки вод діяльного шару Чорного моря на кліматичні зміни метеорологічних процесів у привідній атмосфері, зокрема:
 - полів солоності на північно-західному та прибосфорському шельфах;

- північної гілки Основної чорноморської течії (ОЧТ);
- холодного проміжного шару (ХПШ) у зоні антициклонічної вихрової активності.

На захист виносяться такі основні положення:

1. Комплексний опис сучасного гідрометеорологічного режиму Чорного і Азовського морів в умовах глобальних змін клімату.

2. Кількісні оцінки відносного внеску глобальних і регіональних факторів у міжрічну та кліматичну мінливість метеорологічних і гідрологічних величин чорноморського узбережжя України.

3. Кількісні оцінки внеску різних видів мінливості у сумарну міжрічну та кліматичну мінливість гідрометеорологічних умов чорноморського узбережжя України як єдиного географічного об'єкту.

4. Характеристика кліматичних змін складових водного балансу Чорного моря та їхнього впливу на водообмін через систему Турецьких проток.

5. Сезонна та багаторічна мінливість поля солоності Чорного моря в районах впливу джерел прісної та солоної води (північно-західний та прибосфорський шельфи).

6. Послаблення Кримської галузки Основної чорноморської течії у період 1960 – 1990-х років під впливом кліматичного потепління та трансформації поля вітру.

7. Сезонна мінливість параметрів холодного проміжного шару води у зоні антициклонічної вихрової активності біля звалення глибин північно-західної частини Чорного моря та зв'язок їхньої міжрічної мінливості з індексом суворості попередньої зими.

Об'єкт та предмет дослідження. Об'єктом дослідження є регіональна кліматична система Азовського і Чорного морів. Предмет дослідження - сучасний стан та зміни гідрометеорологічного режиму Азовського і Чорного морів за даними натурних спостережень.

Матеріали та методи досліджень. Обґрунтованість і достовірність наукових положень і висновків дисертації забезпечена передусім тим, що дослідження базуються на багаторічних даних (кінець ХІХ - початок ХХІ сторіччя), отриманих на основі берегових гідрометеорологічних спостережень та численних наукових експедицій у Чорному та Азовському морях, які пройшли попередній контроль якості. Також залучалися щомісячні дані про поле вітру над морем реаналізу NCEP/NCAR, та ряди індексів глобальних та позаземних кліматичних сигналів - Північно-Атлантичного колювання (ПАК), Атлантичної мультидекадної осциляції (АМО), сонячної активності (СА) з загальнодоступних інтернет-сайтів. Використовувалися сучасні апробовані методи обробки і аналізу даних з дотриманням процедур визначення статистичної значущості результатів.

Обробка і аналіз емпіричних даних для опису показників гідрометеорологічного режиму морів виконувалися за допомогою відомих статистичних методів, які широко використовуються в гідрометеорології (стандартна статистика, кореляційний, регресійний, факторний і кластерний аналізи). Для виявлення тенденцій регіональних кліматичних змін застосовані методи аналізу часових рядів – оцінка лінійних трендів, поліноміальна апроксимація, спектральний аналіз і синусоїдальна апроксимація, реалізовані у загальнодоступних програмних пакетах статистичного

аналізу EXCEL, STATISTICA, SYSTAT, PAST, JoinPoint. Розроблені раніше і модифіковані за участі автора методи розрахунку складових водного балансу Чорного моря застосовані для оцінки їхніх багаторічних трендів. Дослідження впливу регіональних кліматичних змін на водообмін у системі Турецьких проток виконане в рамках одношарової і двошарової бокс-моделей на основі осереднених гідрологічних даних про солоність Азовського, Чорного, Мармурового та Егейського морів і складових їхнього прісноводного бюджету. При дослідженні реакції структури та динаміки морських вод на зміни клімату обробка даних і візуалізація результатів аналізу океанологічних зйомок і розрізів проводилися за допомогою загальноприйнятих в океанології методів, реалізованих у програмних пакетах «Гідролог» (Белокопитов, 1995) та Ocean Data View (Schlitzer, 2011).

Наукова новизна. В результаті проведених досліджень на основі практично усіх накопичених на цей час емпіричних даних за допомогою сучасних методів аналізу уперше за останні 25 років отримано комплексний опис гідрометеорологічного режиму Азовського і Чорного морів, виявлено характер та особливості регіональних кліматичних змін, а також їхній вплив на фундаментальні океанологічні процеси, що визначають структуру і динаміку морських вод.

Автором вперше:

- отримано кількісні оцінки відносного внеску глобальних і регіональних факторів у міжрічну і декадну мінливість основних метеорологічних і гідрологічних показників режиму чорноморського узбережжя України, що дозволило обґрунтувати його розгляд як єдиного географічного об'єкту;
- за комплексом метеорологічних і гідрологічних показників виділено два основних режими (моди) декадної і міжрічної мінливості гідрометеорологічних умов чорноморського узбережжя України як єдиного географічного об'єкту;
- отримано кількісні оцінки відносного внеску різних видів мінливості (лінійного тренду, довгоперіодних коливань і міжрічних флуктуацій) в сумарну дисперсію показників гідрометеорологічного режиму чорноморського узбережжя України як єдиного географічного об'єкту;
- визначено багаторічні тренди складових водного балансу Чорного моря і на основі емпіричних даних показано вплив регіональних кліматичних змін на параметри водообміну у системі Чорного, Мармурового і Егейського морів;
- за даними спостережень на стандартних розрізах через Основну чорноморську течію визначено багаторічні сумарні і сезонні тренди похилів динамічних висот і супутніх параметрів, що свідчать про генеральне послаблення геострофічного потоку Кримської галузки ОЧТ під дією кліматичних змін у другій половині XX сторіччя;
- розроблено і застосовано метод g, R^2 -фільтрації для виключення з аналізу мінливості параметрів ОЧТ випадків перетину розрізами вихрових утворень (відбракування точок у просторі величин динамічного похилу морської поверхні та коефіцієнту детермінації лінійної апроксимації похилу).
- на масовому матеріалі океанологічних зйомок в зоні Севастопольського антициклонічного круговороту показана важлива роль процесу підпитки вод холодного

проміжного шару в інтенсифікації вихрових утворень та отримано емпіричні залежності параметрів ХПШ від ступеню суворості попередньої зими.

Отримали подальший розвиток:

- уявлення про вплив глобальних і позаземних процесів, що описуються індексами Північно-Атлантичного коливання, Атлантичної мультидекадної осциляції та сонячної активності, на регіональну кліматичну систему Чорного і Азовського морів;
- висновки про сезонну і багаторічну мінливість поля солоності поблизу основних джерел прісних та солоних вод (в Азовському морі, на північно-західному, прикерченському і прибосфорському шельфах Чорного моря) під впливом антропогенних факторів і природних кліматичних змін;
- припущення про провідну роль механізму нестійкості Основної чорноморської течії в генерації вихорів Севастопольського антициклонічного круговороту та про їхнє енергетичне підживлення у весняно-літній сезон адвекцією вод холодного проміжного шару, інтенсивність якої залежить від метеорологічних умов попередньої зими.

Запропоновані і апробовані удосконалення:

- методології розрахунків складових водного балансу Чорного моря (сумарного стоку річок, кількості опадів, випаровування з поверхні, середнього рівня моря, сумарного водообміну крізь протоку Босфор) тільки за даними берегових спостережень України, із залученням супутникових альтиметричних вимірювань;
- стратегії морських гідрометеорологічних спостережень (на основі автоматизації берегових станцій та експедиційних робіт), що дозволить здійснювати моніторинг фізичного стану та мінливості морських регіонів України;

Використання результатів роботи. Результати роботи призначені для використання адміністративними органами, проектними та будівельними організаціями, підприємствами морського транспорту, рибного господарства, нафтогазовидобування, морського рекреаційного комплексу, екологічного моніторингу, гідрометеорологічної та рятувальної служб, науково-дослідними інститутами, а також вищими навчальними закладами відповідного профілю. Частина результатів дисертації використана під час підготовки довідникових посібників, Національного атласу України та Океанографічного атласу Чорного і Азовського морів. Отримані результати досліджень впроваджувалися при виконанні контрактних робіт з обґрунтування проектів будівництва технологічних платформ на шельфі і гідротехнічних споруд у прибережній смузі морів. Досвід інтеграції даних спостережень і чисельного моделювання задля виконання подібних робіт узагальнений у низці публікацій і доповідей.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, отримані під час роботи над дисертацією, доповідалися автором особисто на численних наукових семінарах, конференціях, симпозіумах та з'їздах, до переліку яких належать: EARSeL Workshop “Remote Sensing and GIS for Coastal Zone Management” (Delft, The Netherlands, 1994); 34th Congress of CIESM (La Valetta, Malta, 1995); “NATO TU-Black Sea project: Symposium on scientific results” (Crimea, Ukraine 1997); 35th Congress of CIESM (Dubrovnik, Croatia, 1998); Int. Conference “Oceanography of the

Eastern Mediterranean and Black Sea: similarities and differences of two interconnected basins” (Athens, Greece, 1999); Int. Symposium “The Black Sea Ecological Problems” (Odessa, Ukraine, 2000); Робоча група Black Sea GOOS (Поті, Грузія, 22-25 травня 2001 р.); Int. Conference “Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea. Similarities and differences of two interconnected basins” (Ankara, Turkey, 14-18 October 2002); Міжнародна конференція «Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища – 2002», присвячена 70-річчю ОДЕКУ (Одеса, жовтень 2002 р.); Наукова конференція «Ломоносовські читання» (ЧФ МГУ, м. Севастополь, 2003, 2007, 2008, 2009, 2010 pp.); Int. Conference “Scientific and Policy Changes Towards an Effective Management of the Marine Environment in Support of Regional Sustainable Development. Emphasis on the Black Sea and the Mediterranean Regions” (Albena, Bulgaria, 12-18 October 2003); Int. Conference “30th Pacem In Maribus. A Year after Johannesburg. Ocean Governance and Sustainable Development: Ocean and Coasts – a Glimpse into the Future” (Kiev, Ukraine, October 27-30, 2003.); The third Black Sea GOOS Steering Committee meeting (Kiev, 15-16 June 2004); 6-й Міжнародний симпозиум «Екологічні проблеми Чорного моря» (Одеса, Україна, 11-12 листопада 2004 р.); Міжнародна конференція «Сучасний стан екосистем Чорного і Азовського морів» (Крим, Донузлав, 13-16 вересня 2005 р.); 1st Biannual Scientific Conference “Black Sea Ecosystem 2005 and Beyond” (Istanbul, Turkey, 8-10 May 2006); Міжнародна наукова конференція «Фундаментальні дослідження найважливіших проблем природознавчих наук на основі інтеграційних процесів в освіті і науці» (Севастополь, 19-24 серпня 2006 р.); Друга міжнародна науково - технічна конференція «Навколишнє природне середовище – 2007: актуальні проблеми екології та гідрометеорології; інтеграція освіти і науки» (Одеса, ОДЕКУ, 26-28 вересня 2007 р.); Третя Всеукраїнська наукова конференція «Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія» (Київ, 15-17 листопада 2006 р.); 2nd Biannual and Black Sea SCENE EC project joint conference “Climate change in the Black Sea – hypothesis, observations, trends and mitigation strategy for the ecosystem” (Sofia, Bulgaria, 6-9 October, 2008); Міжнародний семінар в рамках проекту ТЕМПУС-2005 «Сучасні проблеми науки і освіти в метеорології та гідрофізиці» (Форос, Крим, Україна, 7-14 вересня 2008 р.); CIESM Workshop No. 39 “Towards a ‘Mediterraneanization’ of the Black Sea? Physical and biological changes” (Trabzon, Turkey, 3-6 June 2009); Міжнародна наукова конференція, присвячена 80-річчю МГІ НАНУ (Севастополь, 8-10 вересня 2009 р.); Міжнародна наукова конференція «Функціонування і еволюція екосистем Азово-Чорноморського басейну в умовах глобальної зміни клімату» (п. Кацівелі, Крим, Україна, 6-11 вересня 2010 р.); Міжнародна конференція «Глобальні і регіональні зміни клімату» (Київ, 16-19 листопада 2010 р.); 3rd Biannual and UP-GRADE BS-SCENE Project Joint Conference “Black Sea Outlook” (Odessa, Ukraine, 1-4 November 2011); Міжнародна наукова конференція «Інтегрована система моніторингу Чорного і Азовського морів» (Севастополь, 24-27 вересня 2013 р.); Науково-практичний семінар з нагоди Всесвітнього метеорологічного дня та Всесвітнього дня води (Київ, 22-23 березня 2016 р.).

Публікації. Усього за темою дисертації опубліковано 66 наукових робіт (17 без співавторів). З них 5 – колективні монографії (1 закордонна), 2 – атласи, 1 – термінологічний стандарт, 8 – статті у наукових журналах (7 закордонних); 26 – статті у

збірках наукових праць (6 закордонних); 12 - статті у збірках матеріалів конференцій (7 закордонних); 12 - тези доповідей конференцій (6 закордонних). 23 статті відповідають вимогам ДАК МОН України щодо публікацій у вітчизняних і закордонних фахових виданнях. Загальний обсяг публікацій 124,5 д.а., з них автору належить 48,5 д.а.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, семи розділів, висновків та списку використаних джерел з 217 найменувань. Загальний обсяг – 280 сторінок, основної частини – 231 сторінок, у тому числі 81 ілюстрація, 40 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання, перераховано основні методи дослідження, висвітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Представлено перелік конференцій, семінарів та інших заходів, на яких було апробовано результати дисертаційної роботи, окреслено зв'язок роботи з науковими темами, її структуру та обсяг.

У **першому розділі** «Інформаційно-методичні основи роботи» представлено історію океанографічних і гідрометеорологічних досліджень Чорного і Азовського морів, розглянуто основні етапи становлення уявлень про структуру і динаміку вод, основних фізичних механізмів, що їх формують та впливають на різномасштабну мінливість. Стисло окреслено сучасний стан морських досліджень в Україні, головна риса якого полягає у суттєвому скороченні експедиційних робіт у відкритих районах морів. У той же час накопичено великий обсяг даних спостережень на береговій мережі станцій і постів гідрометслужби. Охарактеризовано існуючі проблеми цього виду спостережень і накреслено шляхи їхнього подолання, перш за все через упровадження автоматизованих вимірювальних комплексів для берегових станцій і малих експедиційних суден, що, незважаючи на фінансові та інші труднощі, виконують регулярний моніторинг прибережної смуги морів. Узагальнено досвід експериментальної експлуатації таких комплексів у типових умовах морської гідрометеостанції та експедиції на малому судні у прибережних водах Криму.

Сформульовано методологічні основи дисертаційної роботи, які базуються на наступних положеннях.

- Достатньо добра вивченість Азовського і Чорного морів, розвинені наукові уявлення про їхні кліматичні умови і основні процеси, що визначають структуру і динаміку морських вод, є базовою основою для постановки завдань даної дисертації.
- Не дивлячись на сучасні проблеми, система морських спостережень, а також великий обсяг накопичених в Україні натурних даних, дозволяють проводити дослідження гідрометеорологічного режиму морів та його трансформацій в умовах глобальних змін клімату.
- Наявні сучасні методи і засоби кліматологічного і океанологічного аналізу натурних даних дозволяють вирішувати на високому науковому рівні поставлені завдання і визначають достовірність отриманих результатів.

- Регіональна кліматична система морів розглядається як сукупність гідросфери (відкрите море і прибережні акваторії, гирлові області річок, опади й випаровування на поверхні моря), атмосфери (приводне й приземне повітря) та літосфери (орографія берегів, характер і рельєф морського дна). Кожна складова цієї системи впливає на інші та, у свою чергу, зазнає впливу з боку інших складових.
- Поняття «гідрометеорологічний режим (ГМР)», «гідрометеорологічні умови (ГМУ)» та «клімат» у контексті даного дослідження є синонімами і являють собою статистичний опис стану регіональної кліматичної системи морів за низкою метеорологічних і гідрологічних показників. Для подібного опису прийнято розглядати «кліматичний» інтервал часу 30 років (Полонський, 2008; Бойченко, 2008). Сукупність таких оцінок визначає ГМР (або ГМУ). А їхні зміни на масштабах десятиріч і сторіч визначають чинники глобальних і регіональних змін клімату.

У другому розділі «Сучасний гідрометеорологічний режим Азовського моря і тенденції його змін» викладені основні риси метеорологічного і гідрологічного режимів з наголосом на виявлені тенденції багаторічних змін. Для аналізу довготривалої та сезонної мінливості гідрометеорологічних характеристик у прибережній смузі Азовського моря використано усі наявні матеріали спостережень за рівнем моря, температурою повітря і води, льодовими умовами, солоністю води, вітром і вітровим хвилюванням, атмосферними опадами. На основі найбільш повної бази океанологічних даних отримані поля температури і солоності води Азовського моря, що відповідають сучасному рівню антропогенного впливу на стік річок і глобальним кліматичним змінам.

Таблиця 1

Коефіцієнти лінійних трендів річних значень гідрометеорологічних характеристик Азовського моря за періоди 130, 100, 85, 50 и 25 років (виділені коефіцієнти, значущі з ймовірністю не менш, ніж 95 %)

Характеристика	1879-2009	1909-2009	1924-2009	1959-2009	1984-2009
Стік річок, Км ³ /10 років			-1,147	0,910	3,530
Атмосферні опади, Км ³ /10 років			0,569	0,584	1,150
Випаровування, км ³ /10 років			-0,320	-0,553	-0,554
Температура води, °С/10 років			0,098	0,186	0,740
Солоність, ‰ /10 років			0,073	-0,278	-0,713
Рівень моря, мм/рік	0,814	1,551	1,810	2,153	7,200
Температура повітря, °С/10 років	0,086	0,109	0,150	0,187	0,850

Встановлено, що основні кліматичні зміни *метеорологічного* режиму Азовського моря полягають у зниженні вітрової активності, загальній тенденції підвищення температури повітря (особливо у зимовий і весняний сезони), а також збільшення кількості атмосферних опадів. Основні зміни у *гідрологічному* режимі Азовського моря полягають у підвищенні температури води, пом'якшенні льодових умов, зростанні рівня і зменшенні солоності моря. Найбільші величини лінійних трендів притаманні для останніх десятирічч (табл. 1). За цей період спостерігалися підвищені величини бюджету прісних вод (збільшення стоку річок і кількості атмосферних опадів, зниження величин випаровування) і як наслідок - розпріснення Азовського моря (рис. 1).

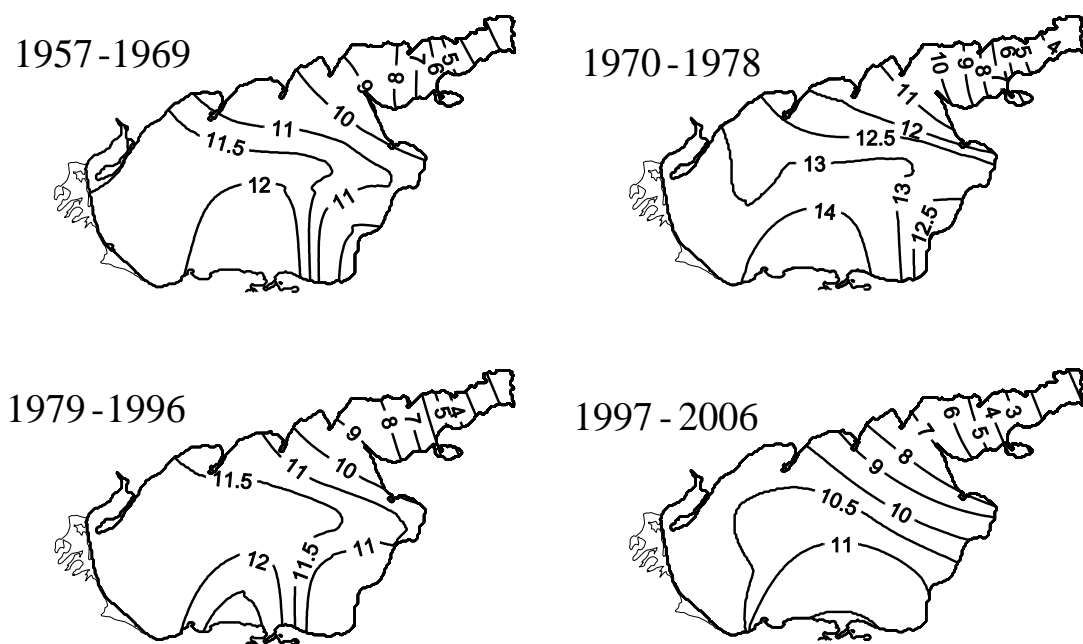


Рис. 1. Розподіл солоності води (‰) у поверхневому шарі Азовського моря за різні періоди осереднення

У **третьому розділі** «Сучасний гідрометеорологічний режим Чорного моря і тенденції його змін» наведено результати досліджень метеорологічного і гідрологічного режимів Чорного моря та їхніх змін традиційними методами аналізу довготривалих спостережень на морських гідрометеостанціях, розташованих на узбережжі колишнього СРСР, при цьому головна увага приділяється берегам України, де накопичені найдовші ряди середньомісячних і річних величин. Багаторічні тренди температур повітря і води, а також атмосферних опадів порівнювалися з трендами індексів ПАК, СА і АМО. Отримано характеристики лінійних трендів і довгоперіодних коливань середньорічних, сезонних і середньомісячних значень опадів, приземної температури повітря, температури і солоності води, рівня моря, параметрів льодового, вітрового і хвильового режимів. Виявлені тенденції довготривалих змін цих показників значною мірою відповідають змінам індексів ПАК, АМО та СА.

Встановлено, що значущі лінійні тренди середньорічної температури повітря і води у більшості районів узбережжя позитивні і відповідають віковому зростанню середньої глобальної приземної температури. На фоні лінійних трендів візуально

спостерігаються коливання з періодом 70 – 80 років і загальним підвищенням температури у середині і кінці ХХ – на початку ХХІ сторіччя. Найбільш помітними, статистично значущими особливостями сезонного ходу вікових трендів гідрометеорологічних параметрів є осіннє похолодання повітря і води та зменшення кількості опадів, які узгоджуються з максимальним зростанням у жовтні індексів СА і ПАК.

З 50-х років ХХ сторіччя до 2011 року солоність прибережних вод України зменшилася, у середньому, майже на 1,0 ‰. Характер сезонної і міжрічної мінливості солоності суттєво різниться залежно від близькості пунктів спостережень до основних джерел прісних або розпріснених вод. Довготривалі зміни солоності на усіх ділянках чорноморського узбережжя України описуються значущими негативними лінійними трендами, найбільші похили яких також відмічені поблизу джерел розпріснення (гирло Дунаю, Дніпровсько-Бузький лиман, Азовське море). На додаток до цього, у придунайському районі і Керченській протоці знайдені зміни знаку тенденцій з позитивної на негативну у середині 70-х років ХХ сторіччя.

У **четвертому розділі** «Глобальні зміни клімату і гідрометеорологічні умови чорноморського узбережжя України» увага концентрується на прибережній смузі Чорного моря - від східного Криму до гирлової області Дунаю. Застосовуються методи поглибленого аналізу структури і основних факторів довготривалої мінливості ГМУ цього узбережжя.

У **п. 4.1** аналізуються довгоперіодні варіації кліматичних індексів АМО і ПАК як показників природних флуктуацій регіонального клімату. Методом спектрального аналізу ряду середньорічних величин індексу АМО, який представляє собою аномалії температури води поверхні Північної Атлантики за 1986 – 2008 рр., встановлено, що він має єдиний значущий період низькочастотних коливань – 66 років. Близькі періоди знайдені шляхом спектрального аналізу ряду середньорічних значень індексу ПАК (різниця атмосферного тиску між Гібралтаром та Рейк'явіком за 1824 – 2008 рр.) та палеорекострукції індексу ПАК (1500 – 2001 рр.). Таким чином, основним періодом кліматичної мінливості останнього сторіччя є період близько 70 років. Окрім того, значущі піки знайдені у рядах ПАК на масштабах вікових (95, 173 років) і більш високочастотних декадних коливань (34, 22 років). Крім низькочастотного коливання АМО (66-70 років), всі ці періоди проявляються і в рядах показників сонячної активності, якщо з них видалити основний 11-річний цикл. Суперпозиція гармонійних функцій з періодами 95, 67 і 34 років задовільно описує багаторічні (кліматичні) флуктуації основних показників гідрометеорологічного режиму Чорного моря, відбиваючи також відмінність кліматичних умов у різних районах узбережжя України.

У **п. 4.2** за допомогою факторного аналізу досліджується кількісний внесок глобальних і регіональних факторів у міжрічну і декадну мінливість гідрометеорологічних умов чорноморського узбережжя України. Для цього побудовані два види часових рядів за даними низки репрезентативних морських гідрометеостанцій. Перша група рядів представляє середньорічні значення швидкості вітру (W), температури повітря (TA) і води (TW), рівня моря (SL), солоності води (S), а також річні суми атмосферних опадів (PR) за період 1945 – 2009 рр. (для солоності 1952 – 2009 рр.). Друга група містить п'ятирічні середні величини тих же показників і відноситься до більш тривалого періоду 1925 – 2009 рр. (для солоності 1950 – 2009 рр.). Застосова-

но модифікацію факторного аналізу через здобуття власних чисел і власних векторів кореляційної матриці одного й того ж показника на різних станціях. Прийнято, що зовнішній (глобальний) фактор стосується синхронних змін показника на усіх станціях, а внутрішній (регіональний) відповідає різнонаправленим варіаціям завдяки впливу різних кліматичних умов в межах узбережжя. Встановлено, що на масштабах міжрічної і декадної мінливості температура повітря і води, а також рівень Чорного моря у прибережній смузі України знаходяться під впливом головним чином зовнішніх (глобальних) факторів, пов'язаних з великомасштабними метеорологічними процесами (таблиця 2). На варіації швидкості вітру, опадів і солоності морської води біля чорноморських берегів України, на додаток до глобальних факторів, впливають також і регіональні компоненти, які визначаються відмінностями орографії берегів, стоку річок і характером мезомасштабних гідрометеорологічних процесів у різних частинах узбережжя.

Таблиця 2

Внесок (%) глобального і регіонального факторів у мінливість гідрометеорологічних елементів (факторний аналіз застосовано до рядів кожного показника на різних станціях)

Показник	Середні річні		Середні п'ятирічні	
	Глобальний	Регіональний	Глобальний	Регіональний
Швидкість вітру	65	17	70	17
Темп-ра повітря	92	-	92	-
Темп-ра води	92	-	91	-
Атмосферні опади	64	15	67	14
Рівень моря	95	-	98	-
Солоність	45	38	56	33

Дані, наведені у табл. 2, слугують обґрунтуванням того, що для узагальненого опису змін гідрометеорологічного режиму можуть бути використані середні величини для усього узбережжя (тобто до величин, усереднених для кожної станції за рік або п'ятирічку, застосовується просторове усереднення). Це певною мірою стосується також і солоності, де регіональний фактор дає найбільший внесок, але близько половини мінливості все ж обумовлює глобальний фактор.

У п. 4.3 факторний аналіз застосовується до багатомірних рядів річних і п'ятирічних величин, осереднених для усіх станцій узбережжя. Аналізуються матриці кореляцій між усіма названими показниками, окрім солоності (через не співмірність довжин рядів і великий внесок регіонального фактору мінливості). В результаті виділено два основних фактори (або режими, моди) декадної і міжрічної мінливості гідрометеорологічних умов чорноморського узбережжя України як єдиного географічного об'єкту. Перша мода описує зміни вітрових умов з протилежним знаком відносно показників термічного фону (TA, TW) і притоку води у море (PR, SL)

тобто «водності». Друга мода – однонаправлені зміни вітрових умов з термічним фоном і протилежні з показниками «водності». При цьому зміни у часі коефіцієнтів першої моди характеризуються наявністю значного позитивного лінійного тренду, а другої – квазіперіодичних коливань на масштабі близько 60 років. Друга мода умовно інтерпретується як вплив природнього автоколивального процесу меридіонального переносу тепла в Атлантичному океані (АМО). Вона вносить лише близько 20 % у мінливість на декадних масштабах і 23 % у міжрічну мінливість, а головний внесок (відповідно 70 і 55 %) вносить перша мода, яку можна пояснити глобальними кліматичними змінами (глобальним потеплінням).

Через аналіз кореляційних матриць багатомірних рядів встановлено, що для характеристики мінливості гідрометеорологічних умов прибережної смуги моря можуть використовуватися три середньорічні або п'ятирічні величини, осереднені для усього чорноморського узбережжя України – швидкість вітру як показник динаміки атмосфери над морем, температура повітря як показник термічного фону і рівень моря як показник «водності». Об'єктивна класифікація (послідовне застосування кластерного аналізу за методом Варда і методом К-середніх) у просторі цих трьох показників виділяє три класи гідрометеорологічних умов. Розподілення класів у часі відбиває тренди глобального потепління останніх десятиріч, а також вплив АМО на декадному (рис.2) і міжрічному масштабах мінливості.

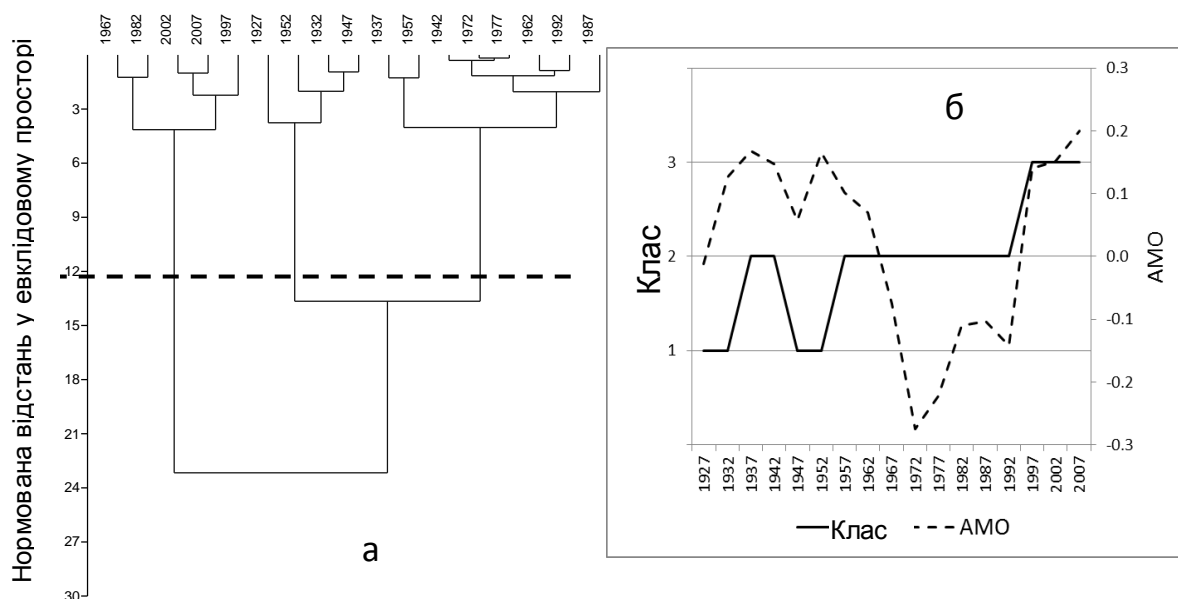


Рис. 2. Дерево кластерів за методом Варда (а) і часові зміни класів у порівнянні з індексом АМО (б) для стандартизованих середніх п'ятирічних величин.

Вказано середні роки відповідних п'ятирічок

У п. 4.4 методом регресійного аналізу середніх для узбережжя річних і п'ятирічних величин отримані оцінки лінійних трендів для регіону у цілому. Для середньорічних величин відхилень від трендів за 1945 - 2009 рр. отримано значущі регресійні залежності: температури води від температури повітря (1); солоності від рівня моря (2); рівня моря від сумарної витрати річок (RD) Дунаю, Дніпра і Півден-

ного Бугу, а також опадів і температури води (3). R^2 , R , Δ - відповідно коефіцієнти детермінації, кореляції та помилка оцінки величини за рівнянням.

$$TW = 0,8916TA \quad \text{при } R = 0,926; R^2 = 0,858; \Delta = 0,274 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (1)$$

$$S = -0,0319SL + 0,0296 \quad \text{при } R = -0,589; R^2 = 0,347; \Delta = 0,24 \text{ } \text{‰}. \quad (2)$$

$$SL = 0,0025RD + 0,0025PR + 1,9821TW \quad (3) \\ \text{при } R = 0,854; R^2 = 0,728.; \Delta = 2,742 \text{ см}.$$

На незалежних даних за 2010 - 2013 рр. виконано перевірку отриманих рівнянь регресії, яка показала, що формули для температури води і рівня моря можуть використовуватися для їхнього розрахунку (прогнозу) за відомими значеннями аргументів, наприклад – гідрологічних величин за відомими або прогнозованими метеорологічними. Залежність солоності від рівня моря через низький коефіцієнт кореляції і значні помилки розрахунку за незалежними даними може рекомендуватися лише для орієнтовних оцінок.

У п. 4.5 методами спектрального аналізу і синусоїдальної апроксимації досліджені квазіперіодичні коливання елементів ГМУ чорноморського узбережжя України як єдиного географічного об'єкту. Для дослідження довготривалих коливань, періоди яких співмірні з довжиною рядів, використовувався адаптивний метод спектрального аналізу – періодограма Ломба, який засновано на оцінюванні гармонійних складових методом найменших квадратів. Попередньо ряди згладжувалися ковзним середнім з вікном 11 років і з них видалялися лінійні тренди, оцінені у попередньому підрозділі. Отже, довгоперіодними (або низькочастотними) вважалися гармоніки з періодом більше 11 років.

Встановлено, що *ряди середньорічних* величин можуть бути апроксимовані сумою лінійного тренду, високочастотного шуму (сукупністю міжрічних коливань і помилок апроксимації) і кількох низькочастотних гармонік (двох - для швидкості вітру, температур повітря і води; трьох - для суми опадів; чотирьох - для рівня моря і солоності води). Аналогічна апроксимація *рядів середніх п'ятирічних* величин дозволила виділити для більшості елементів чотири значущих низькочастотних гармоніки (три - для рівня моря).

Відомі періоди низькочастотних коливань глобальних кліматичних індексів краще проявляються у рядах середніх п'ятирічних величин, що охоплюють більший відтинок часу, ніж ряди середньорічних значень, і вільні від високочастотного «шуму». В усіх елементів, крім рівня моря, виділено періоди, близькі до квазі-70-річного циклу АМО/ПАК. Крім того, усі ряди п'ятирічних величин дозволяють розрізнити періоди, близькі до 22-річного циклу сонячної активності (цикл Хейла).

Отримано кількісні оцінки відносного внеску різних видів мінливості у сумарну дисперсію рядів показників ГМУ (рис.3). Для *середньорічних* показників: основний внесок у мінливість швидкості вітру дає лінійний тренд, а опадів і температури - високочастотні міжрічні флуктуації; частки дисперсії трендів і високочастотних коливань у рядах рівня і солоності приблизно однакові; у чотирьох показників (вітер,

опади, рівень моря, солоність) внесок низькочастотних коливань найменший і тільки у температур повітря і води частка дисперсії довгоперіодних компонент перевищує частку лінійного тренду. Для *середніх п'ятирічних* величин: внесок високочастотної компоненти в усіх показників мінімальний і характеризує практично помилки апроксимації; при цьому суттєво зросла доля дисперсії низькочастотних компонент мінливості.

Апроксимація низькочастотної мінливості сумою лінійного тренду і низькочастотних коливань дозволяє дати прогноз змін елементів гідрометеорологічного режиму чорноморського узбережжя України на найближчі десятиріччя. Незалежні дані за 2010 – 2013 рр., в основному, підтверджують прогностичні оцінки тенденцій з урахуванням високочастотних міжрічних варіацій гідрометеорологічних величин.

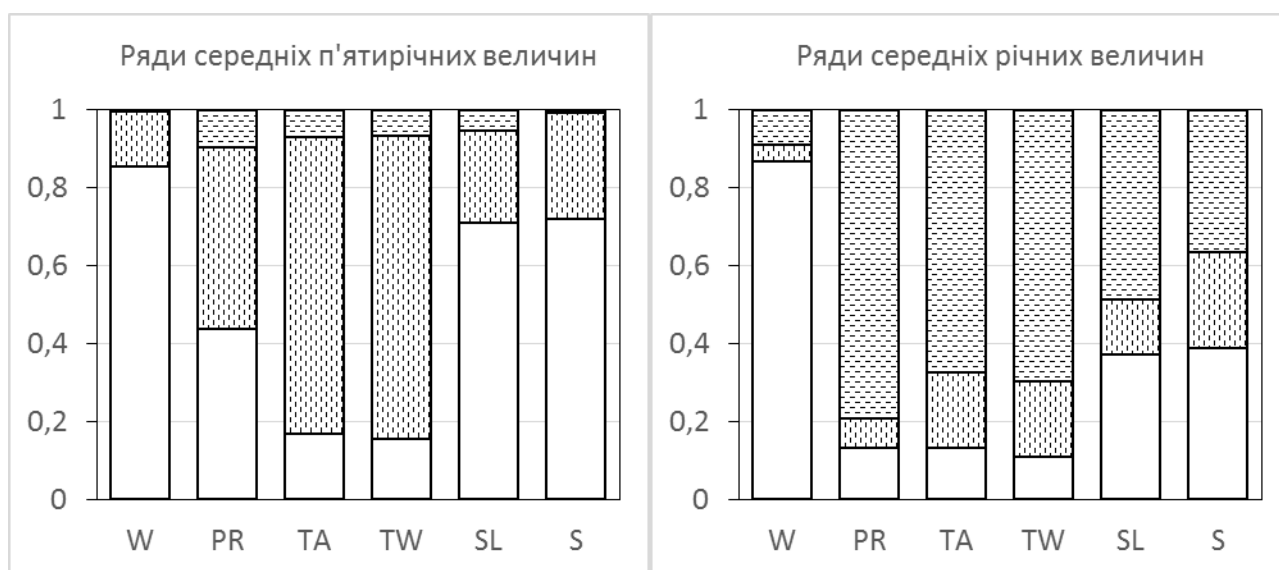


Рис. 3. Частка різних видів мінливості в рядах показників ГМУ українського узбережжя Чорного моря (відносно повної дисперсії): лінійний тренд – біла заливка; довгоперіодні коливання – вертикальний штрих; високочастотна міжрічна мінливість – горизонтальний штрих. W – швидкість вітру; PR – атмосферні опади; TA – температура повітря; TW – температура води; SL – рівень моря; S – солоність води

Останні три розділи присвячені вивченню реакції на великомасштабні атмосферні впливи основних океанологічних параметрів і процесів, що визначають особливості структури і циркуляції вод Чорного моря.

У **п'ятому розділі** «Кліматичні зміни складових водного балансу Чорного моря» аналізуються довготривалі зміни компонент водного балансу, зокрема – водообміну крізь систему Турецьких проток, в умовах кліматичних змін.

Аналіз стану і перспектив моніторингу водного балансу Азовського і Чорного морів показав, що необхідно продовжити роботи з уточнення і подальшого розвитку методик оцінки компонент водного балансу за даними стандартних спостережень, а також із залученням сучасних можливостей супутникової океанології (альтиметрії, скаттерометрії, ІЧ-радіометрії) і даних реаналізу.

На основі виконаних розрахунків можна відзначити, що використання альтиметричних даних про зміни середнього рівня Чорного моря дозволяє адекватно оцінювати одну з важливіших компонент водного балансу – сумарного потоку води крізь

протоку Босфор. Отримано емпіричні формули для узгодження рядів рівня моря і босфорського потоку, розрахованих на основі різних методів рівневих спостережень (контактних берегових і супутникових альтиметричних). Враховуючи відсутність вільного доступу до берегових рівневих спостережень інших країн Азово-Чорноморського басейну, викладений підхід дозволить продовжити регулярний моніторинг водного балансу. Для цього необхідно також переглянути методики оцінки складових прісноводного бюджету у відповідності до можливостей, що надаються сучасними даними супутникових спостережень і реаналізу, які розповсюджуються через інтернет.

Як показали розрахунки за стандартною методикою, значуще зростання кількості опадів і, особливо, зменшення випаровування впродовж другої половини ХХ сторіччя визначили зростання прісноводного бюджету (ПВБ) Чорного моря навіть за відсутності кліматичного тренду сумарного річкового стоку (табл. 3). За стабільного, відносно слабкого результуючого притоку води з Азовського моря збільшення ПВБ Чорного моря визначає зростання відтоку і послаблення притоку води через Босфор.

Таблиця 3

Середні багаторічні складові річного водного балансу Чорного моря та коефіцієнти їхніх лінійних трендів за 1945 - 2005 рр.
(виділені тренди, значущі на рівні не нижче 95 %)

Складова	Середня, км ³	Тренд, км ³ /рік
Атмосферні опади	252,6	1,34
Річковий стік	330,1	0,25
Випаровування	366,9	-2,49
Прісноводний бюджет (ПВБ)	215,7	4,08
Притік через Керченську протоку	48,1	-0,05
Відтік через Керченську протоку	33,8	-0,03
Результуючий потік Керченської протоки	14,3	-0,03
Притік через Босфор	167,7	-1,25
Відтік через Босфор	395,8	2,83
Результуючий потік Босфору	228,0	4,07
Зміна об'єму моря:		
за водним балансом		2,0
за вимірюваннями рівня моря		2,1

В рамках стаціонарної бокс-моделі, яка описує баланси води і солоності у системі Азовського, Чорного, Мармурового і Егейського морів, отримано результати, що підтверджують залежність параметрів водообміну крізь систему Турецьких проток від прісноводного бюджету Чорного моря. Баланс солоності у системі при збільшенні надходження прісної води у Чорне море забезпечується збільшенням середніх швидкостей потоків води у протоках Босфор і Дарданелли. При урахуванні великомасштабної вертикальної стратифікації (двошарова бокс-модель) збільшується

також потік вертикального турбулентного обміну між верхнім та нижнім шарами Чорного і Мармурового морів. У сукупності це призводить до скорочення часу оновлення води у цих морях. Таким чином, довготривалі зміни у прісноводному бюджеті Чорного моря (які пояснюються зменшенням випаровування і збільшенням опадів як регіональним наслідком глобальних змін клімату) призвели у 1960-1998 рр. до значного зростання параметрів водообміну у системі Чорного, Мармурового і Егейського морів порівняно з попереднім періодом 1923-1959 рр.

У шостому розділі «Особливості змін поля солоності Чорного моря поблизу основних джерел прісних і солоних вод» досліджується просторово-часова мінливість поля солоності на шельфах північно-західної частини (ПЗЧ) і прибосфорського району Чорного моря, тобто у районах надходження у море розпріснених і осолонених вод, що формують стійку вертикальну стратифікацію.

Аналіз усіх наявних даних спостережень дозволив уточнити сезонні особливості поширення трансформованих річкових вод на шельфі ПЗЧ і у першому наближенні оцінити його довготривалу мінливість. Отримано підтвердження переважної ролі вітру та викликаних ним течій у процесі весняно-літнього просування розпріснених вод на схід і південний схід від гирлових зон великих річок ПЗЧ. Виявлено багаторічні негативні тренди солоності поверхневих вод у центральній частині ПЗЧ (у липні) і придунайському районі (у серпні), що відповідають тенденціям посилення північної і західної складових вітру над ПЗЧ у другій половині ХХ сторіччя. За допомогою взаємного кореляційного аналізу продемонстровано різну реакцію солоності у окремих районах шельфу на міжрічні коливання річкового стоку з основних джерел – Дунаю і Дніпра з Південним Бугом.

Результати дослідження сезонної мінливості поля солоності ПЗЧ підтверджуються даними стандартного зонального розрізу «Дунай-море», отриманими в 1961 – 1991 роках. Розраховані на їхній основі інтегральні характеристики трансформованих річкових вод (з солоністю не більше 17 ‰) дозволили побудувати рівняння множинної лінійної регресії, що описує міжрічні варіації середньої солоності розпріснених вод у площині розрізу в липні-серпні у залежності від попереднього річкового стоку (Q_p) і зональної компоненти вітру (U) над придунайським шельфом:

$$S_{<17} = 17.0705 - 0.0002Q_p - 0.2873U, \quad (4)$$

де $Q_p = (Q_{\text{Дун}})_{.1} + (Q_{\text{Дн+QB}})_{.3}$ – сума витрат води Дунаю місяць тому та Дніпра з Південним Бугом три місяці тому. Такі різниці у часі необхідні для «добігання» трансформованих річкових вод від замикаючих створів річок до району розрізу.

На основі даних про солоність придонних вод прибосфорського шельфу, зібраних у 1960-2000 роки, отримано сезонні карти поширення язика мармуровоморських вод. Довготривалій мінливості статистичних характеристик солоності у зоні язика солоних вод притаманні значні зміни на масштабах п'ятиріччя і десятиріччя. Для кожної п'ятирічки і десятирічки розраховані статистичні характеристики цих вод – середня солоність придонного шару, середньо-квадратичне відхилення, а також забезпеченість підвищеної солоності (ймовірності перевищення значень 20 і 22 ‰).

Для усіх досліджених статистичних характеристик солоності отримано деяке збільшення їхніх значень від 1960-х до 1970-х років, яке змінилося значним змен-

шенням у 1980-1990-х роках. Ці результати пояснюються кліматичними змінами компонент прісноводного бюджету Чорного моря. Найбільше зниження величин статистичних характеристик солоності в області шельфового язика мармуровоморських вод у 1970-1980-х роках було, ймовірно, наслідком найбільшого зростання загального притоку прісних вод (головним чином, через зменшення випаровування). Ці десятиріччя є також періодом глибоких екологічних змін у Чорному морі.

У **сьомому розділі** «Зміни елементів циркуляції вод Чорного моря в умовах регіональних кліматичних змін» викладено результати дослідження впливу метеорологічних процесів на сезонну і довготривалу мінливість деяких характерних рис циркуляції вод Чорного моря.

У **п. 7.1** на основі даних гідрологічних спостережень на стандартних («вікових») розрізах від берегів Криму і Кавказу за 1959 – 1995 роки досліджено сезонну та багаторічну мінливість характеристик геострофічних потоків у зоні Основної чорноморської течії (рис. 4).

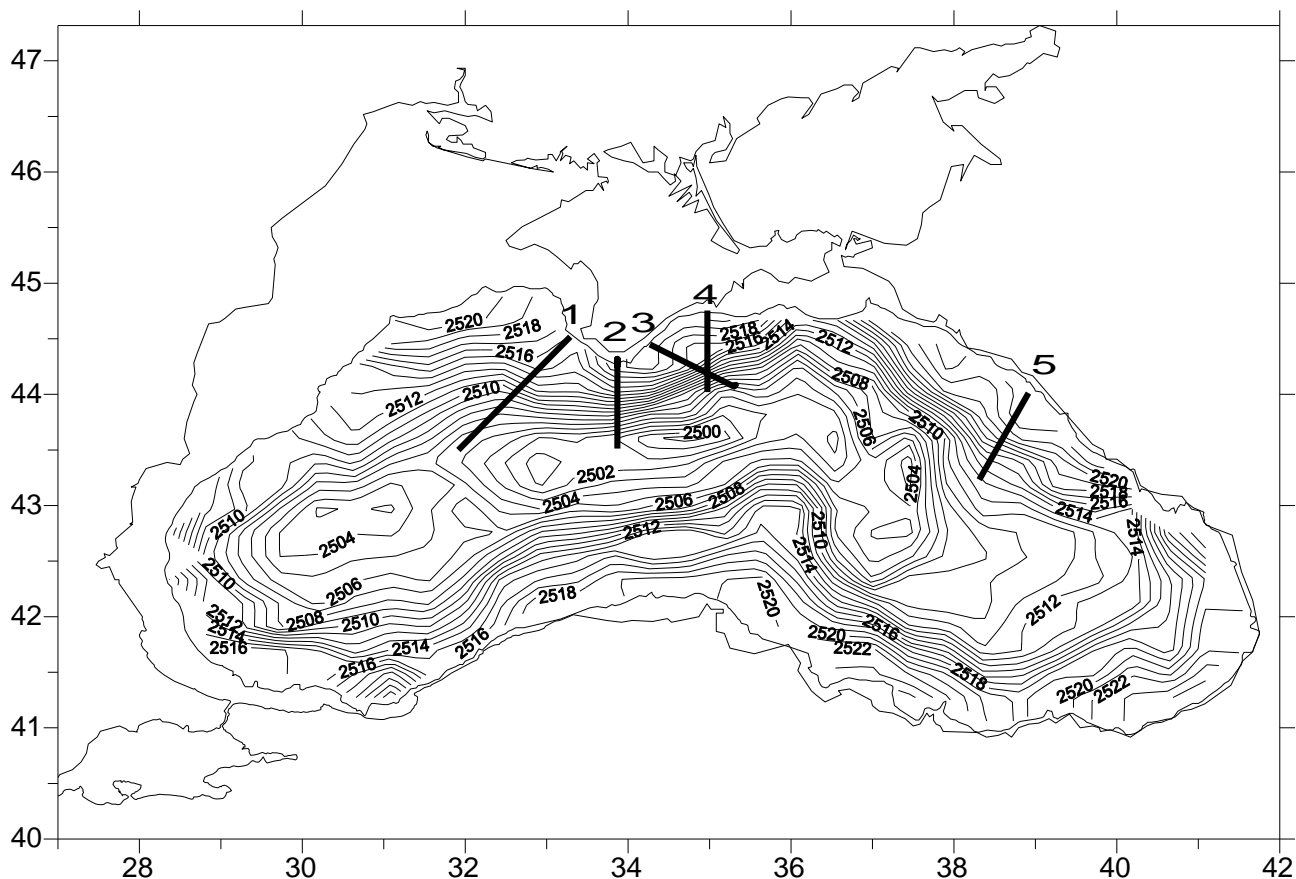


Рис. 4. Середня багаторічна динамічна топографія (дин. см) поверхні глибокової частини Чорного моря у березні відносно горизонту 300 дбар. Вказані ділянки стандартних розрізів, що перетинають ОЧТ: 1 – на південний захід від м. Херсонес; 2 – на південь від м. Сарич; 3 – на південний схід від Ялти; 4 – на південь від м. Меганом; 5 – на південний захід від м. Кадош

За розрахованими величинами динамічних висот $DH(z)$ для станцій кожного розрізу, виконаного упродовж 1-2 діб, методом найменших квадратів апроксимувалася лінія похилу динамічної поверхні

$$DH(z, X) = g(z)X + DH_0(z, X_0), \quad (5)$$

де X – горизонтальна відстань вздовж розрізу, км (позитивний напрямок – до берега); g – коефіцієнт похилу динамічного рівня, см/100км; DH_0 – динамічна висота, дин. см, у початковій (глибоководній) точці розрізу X_0 ; $z = 0$ або 100 – горизонт, м, для якого проводяться розрахунки.

Інформативним показником у кожному випадку слугував коефіцієнт детермінації R^2 , тобто частка дисперсії, що пояснюється апроксимуючою прямою, відносно загального розсіяння величин DH . Близькі до 1 значення R^2 вказують на однорідність струменю ОЧТ, а $R^2 < 0.5$ відповідає нелінійному профілю потоку або наявності вихрового утворення на розрізі. У цих випадках, як правило, отримуються низькі значення g , а інколи і від'ємні похили, що слугує характеристикою слабкого або відсутнього на розрізі струменю ОЧТ. Від'ємні величини g інколи відмічаються і при високих значеннях R^2 ; це може свідчити про великий антициклонічний меандр або вихор, що формує потік протилежного напрямку відносно ОЧТ. Аналіз розсіяння точок на площині g, R^2 дозволяє встановити критерії відбракування даних на основі компромісу: не допустити значного зменшення кількості даних, але відфільтрувати найбільш очевидні випадки, що викривлюють оцінки довготривалих трендів характеристик ОЧТ. Цей метод відбракування названо « g, R^2 -фільтрація».

Аналіз сезонного ходу та багаторічної мінливості застосовано до рядів величин похилів $g(z)$, динамічних висот $DH(z, X_1)$ у деякій проміжній, зафіксованій для кожного району, точці розрізу X_1 , а також різниці динамічних висот $dD(X_1) = DH(0, X_1) - DH(100, X_1)$. Останній показник є динамічною товщиною верхнього діяльного шару і характеризує, перш за все, стеричні зміни рівня моря, які переважно визначаються термічною складовою (розширення об'єму при нагріванні або стискання при охолодженні води).

Сезонний хід характеристик динамічного рівня моря, отриманий за даними спостережень на прибережних ділянках усіх вікових розрізів, що перетинають струмінь ОЧТ, дає реалістичне уявлення про сезонну мінливість геострофічних потоків. Але лише ряди, отримані для розрізу на ПЗ від м. Херсонес, є достатньо тривалими і якісними для оцінки багаторічних трендів. За цими даними встановлено, що у 1959-1995 рр. спостерігалася багаторічне зменшення похилу морської поверхні з середньою швидкістю 0.034 см/100км за місяць (0.407 см/100км за рік), що відповідає загальному падінню величини похилу до 12.84 см/100км (47% від похилу у 1959 році). У точці 44° п.ш. на розрізі у цей же період спостерігалася систематичне зменшення динамічної висоти морської поверхні з середньою швидкістю 0.012 дин. см за місяць (0.143 дин. см за рік), що відповідає падінню величини динамічного рівня за 35 років на 5 дин. см. Відповідно до уявлень про середню динамічну топографію моря у цьому районі (рис. 4), разом з послабленням геострофічного потоку спостерігалася довготривала тенденція зміщення струменю ОЧТ на північ, у напрямку кримського

шельфу. Значущого загального тренду значень різниці dD у шарі 0-100 м не виявлено.

Ряди, отримані для розрізу на ПЗ від м. Херсонес дали також можливість оцінити тренди по сезонам року шляхом поквартального групування місячних даних, з використанням g, R^2 -фільтрації. Результати представлені в табл. 4. Значущі негативні тренди похилів динамічного рівня моря отримані для усіх сезонів, крім літнього. Це означає довготермінове послаблення геострофічної течії для тих сезонів, коли вона проявляється як динамічне утворення ОЧТ (як відомо, влітку ОЧТ слабне і може маскуватися низкою циклонічних і антициклонічних вихорів). Значущі негативні тенденції динамічної висоти у точці, близькій до середнього положення стрижня ОЧТ, отримані для літа і осені, можна інтерпретувати як зміщення потоку ОЧТ або зменшення його ширини у напрямку на північ переважно у ці сезони. На фоні відсутності загального тренду різниці динамічних висот поверхні моря і горизонту 100 м знайдені значущі різнонаправлені тренди цієї характеристики для зими і осені, що пояснюються стеричними змінами рівня моря під впливом зимового потепління і осіннього похолодання другої половини ХХ сторіччя.

Таблиця 4

Коефіцієнти і величини багаторічних трендів похилів динамічного рівня, а також динамічної висоти поверхні моря і різниці динамічних висот горизонтів 0 і 100 м на 44° п.ш. за сезонними даними розрізу на ПЗ від м. Херсонес (виділені коефіцієнти трендів, значущі з ймовірністю не нижче, ніж 95 %)

Сезон (місяці)	Похил рівня		Дин. висота		Різниця дин. висот	
	Коеф. тренду, см/100км/рік	Величина тренду, см/100км (%)	Коеф. тренду, см/рік	Величина тренду, дин. см	Коеф. тренду, см/рік	Величина тренду, дин. см
Зима (1-3)	-0.4886	13.9 (45)	-0.0237	-0.83	0.069	2.42
Весна (4-6)	-0.4563	14.7 (48)	-0.0822	-2.88	0.007	0.25
Літо (7-9)	-0.2111	12.0 (62)	-0.2340	-8.19	-0.057	-2.00
Осінь(10-12)	-0.3735	11.7 (47)	-0.2488	-8.71	-0.097	-3.40

«Гальмування» Кримської гілки ОЧТ у 1959 - 1995 рр. відповідає довготривалій трансформації поля вітру: за даними реаналізу NCEP/NCAR західна компонента вітру (яка діє назустріч ОЧТ у цьому районі) систематично зростала, а переважна циклонічна завихреність 1950 - 1960-х років змінилася у середині 1970-х малими за величиною і змінними за знаком значеннями, що тривало до середини 1990-х років, тобто до скінчення спостережень на стандартних розрізах.

У п. 7.2 проаналізовано сезонну мінливість гідрологічної і динамічної структури вод в області квазістаціонарного антициклонічного круговороту біля звалення глибин ПЗЧ – Севастопольського антициклонічного (САЦ). На основі даних практично усіх океанографічних зйомок у цьому районі показано, що з березня по червень відзначається розвиток САЦ, а з серпня по жовтень – його послаблення. При цьому на фазі розвитку відбувається почергова інтенсифікація західного і східного антицик-

лонічних вихорів (ядер) цього круговороту з усталеною перевагою західного ядра у середині літа. Послаблення ядер САЦ супроводжується їхнім переміщенням і зникненням західного ядра до середини осені.

Охолоджені взимку води шельфу під дією сили гравітації «сповзають» у напрямку похилу дна і накопичуються в зоні конвергенції (заглибленні топографії основного пікноклину) біля звалення глибин. Сюди ж ізопікнічно переміщуються також охолоджені води з куполу великомасштабного Західного циклонічного круговороту глибоководної частини Чорного моря. Під час весняно-літнього прогрівання холодні води «закриваються» теплим перемішаним шаром, відокремленим від холодної води сезонним термоклинном. Так формується і щороку поповнюється холодний проміжний шар води з температурою не більше 8 °С, нижче якого температура зростає з глибиною. Процес накопичення вод ХПШ у зоні антициклонічного круговороту призводить до зростання доступної потенційної енергії, тобто відбувається сезонна енергетична підпитка вихорів, що сприяє їхній весняно-літній інтенсифікації.

Розглянуто внутрішньорічні зміни у структурі вод холодного проміжного шару як індикатора інтенсивності антициклонічного круговороту. Встановлено, що чергування перевищення величин параметрів ХПШ у ядрах відносно одне одного відбувається із запізненням приблизно в один місяць від чергування динамічної інтенсифікації ядер на фазі розвитку САЦ. Цей факт підтверджує провідну роль динамічного джерела генерації САЦ (нестійкість ОЧТ на захід від мису Херсонес).

Отримано емпіричні залежності параметрів ХПШ (мінімальної температури T_{min} та холодозапасу CS шару між верхньою та нижньою ізотермами 8 °С) в зоні круговороту у весняно-літній період від індексу суворості попередньої зими (суми від'ємних температур за даними МГ Одеса, Очаків, Хорли за період з жовтня попереднього року по квітень поточного), рис. 5. Ці зв'язки можна використовувати для оцінки і прогнозу міжрічної мінливості параметрів ХПШ та вихрової активності в районі Севастопольського антициклонічного круговороту. На фоні глобального і регіонального потепління, коли відмічається зменшення повторюваності суворих зим, спостерігається тенденція послаблення енергетичної підпитки антициклонічного круговороту, який грає важливу роль у трансфронтальному обміні вод між шельфом ПЗЧ і глибоководною котловиною Чорного моря.

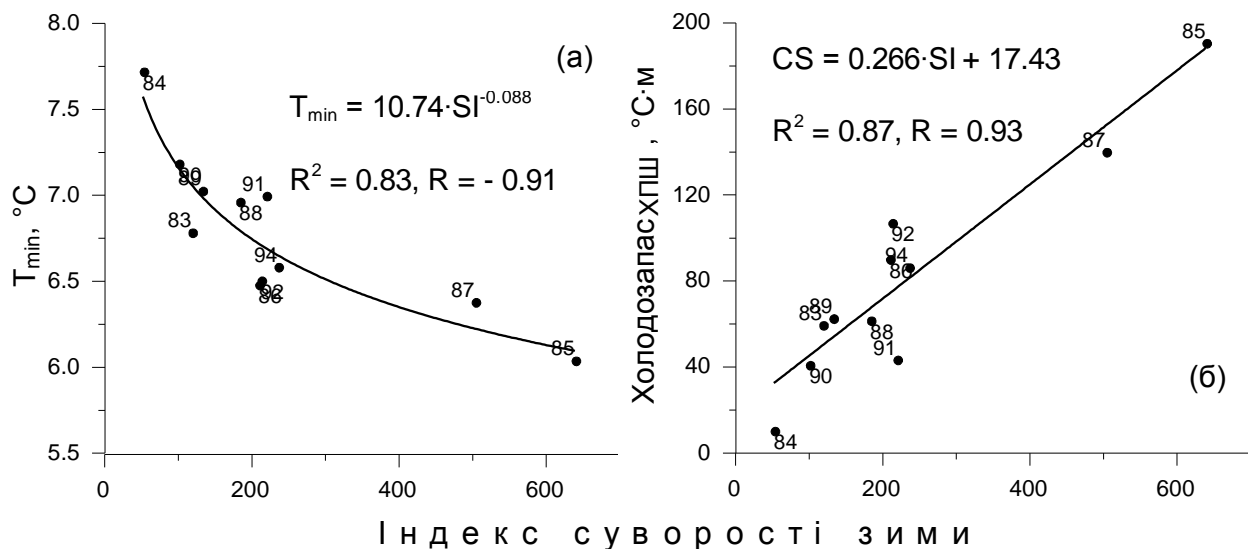


Рис. 5. Залежності мінімальної температури (а) і холодозапасу (б) холодного проміжного шару у Севастопольському антициклонічному круговороті у весняно-літній період від індексу суворості попередньої зими. Цифри біля точок – роки спостережень у ХХ ст.

ВИСНОВКИ

1. Основні кліматичні зміни метеорологічного режиму Азовського і Чорного морів виявляються у зниженні вітрової активності, загальній тенденції підвищення температури повітря (особливо – у зимовий та весняний сезони), а також збільшення кількості атмосферних опадів. Зміни у гідрологічному режимі морів виявляються у підвищенні температури води, пом'якшенні льодових умов, зростанні рівня моря і зменшенні солоності води. Найбільші величини лінійних трендів гідрологічних характеристик Азовського моря визначені для сучасного періоду (після 1977 року). За цей час спостерігалися підвищені значення бюджету прісних вод (збільшення річкового стоку і кількості атмосферних опадів, зменшення випаровування) і як наслідок – розпріснення Азовського моря, яке компенсувало попереднє осолонення, викликане антропогенним фактором – зарегулюванням річкового стоку.

2. Встановлено, що значущі лінійні тренди середньорічної температури повітря і води в більшості районів чорноморського узбережжя України позитивні і відповідають за величиною віковому зростанню середньої глобальної приземної температури повітря. У другій половині ХХ сторіччя спостерігалось загальне зниження швидкості вітру над басейном Чорного моря.

3. Найбільш помітними, статистично значущими особливостями сезонного ходу вікових трендів гідрометеорологічних параметрів чорноморського узбережжя є осіннє похолодання повітря і води, а також зменшення кількості опадів, які узгоджуються з максимальним зростанням у жовтні індексів сонячної активності і Північно-Атлантичного коливання. Синхронізація сезонного ходу багаторічних трендів опадів, температури повітря і води з ходом індексів ПАК і АМО підтверджує вплив глобальних атмосферних сигналів на регіональний клімат.

4. Регіональні кліматичні зміни у Чорному морі обумовлені не тільки антропогенним глобальним потеплінням, а також природними варіаціями параметрів кліматичної системи, які описуються низькочастотними флуктуаціями індексів АМО і ПАК. Основним періодом кліматичної мінливості останнього сторіччя є період близько 70 років. Крім того, значущі піки виявлені у рядах ПАК на масштабах вікових (95, 173 років) і більш високочастотних декадних коливань (34, 22 років). Близькі періоди існують і в рядах показників сонячної активності. Суперпозиція гармонічних функцій з періодами 95, 67 і 34 років задовільно описує багаторічні (кліматичні) флуктуації основних показників гідрометеорологічного режиму Чорного моря, відбиваючи також відмінності кліматичних умов у різних районах узбережжя України.

5. На масштабах міжрічної і декадної мінливості температура повітря і води, а також рівень Чорного моря у прибережній смузі України зазнають впливу переважно зовнішніх (глобальних) факторів, пов'язаних з великомасштабними метеорологічними процесами. На варіації швидкості вітру, опадів і солоності морської води біля чорноморських берегів України, на додаток до глобальних факторів, впливають і регіональні складові, які визначаються відмінностями оротографії берегів, стоку річок і характеру мезомасштабних гідрометеорологічних процесів в різних частинах узбережжя. Отримано кількісні оцінки внеску глобальних і регіональних факторів у міжрічну і декадну мінливість показників гідрометеорологічного режиму чорноморської прибережної смуги України.

6. Виділено два основних режими (моди) декадної і міжрічної мінливості гідрометеорологічних умов чорноморського узбережжя України як єдиного географічного об'єкту. Перша мода описує зміни вітрових умов з протилежним знаком по відношенню до показників термічного фону і притоку води у море («водності»), друга – однаково направлені зміни вітрових умов з термічним фоном і протилежно з показниками «водності». При цьому часові зміни коефіцієнтів першої моди характеризуються наявністю позитивного лінійного тренду, а другої – квазіперіодичних коливань на масштабі близько 50-60 років. Друга мода, що умовно інтерпретується як вплив природного автоколивального процесу меридіонального переносу тепла в Атлантичному океані (АМО), вносить лише близько 20 % у мінливість на декадних масштабах і 23 % у міжрічну мінливість, а головний внесок (відповідно 70 і 55 %) дає перша мода, яку можна пояснити глобальними кліматичними змінами. Виділено 3 класи за ступенем внеску основних мод у міжрічну і декадну мінливість.

7. Встановлено, що для характеристики гідрометеорологічних умов всієї чорноморської прибережної смуги України може використовуватися скорочений набір з трьох середньорічних або п'ятирічних величин: швидкості вітру як показника динаміки атмосфери над морем; температури повітря як показника термічного фону; рівня моря як показника «водності». Об'єктивна класифікація у просторі цих трьох параметрів розрізняє три класи гідрометеорологічних умов. Розподіл класів у часі відповідає трендам глобального потепління останніх десятиріч, а також впливу АМО на декадному і міжрічному масштабах мінливості.

8. Отримано кількісні оцінки відносного внеску різних видів мінливості у сумарну дисперсію рядів показників гідрометеорологічного режиму чорноморського узбережжя України як єдиного географічного об'єкту. Для середньорічних показників: головний внесок у мінливість швидкості вітру дає лінійний тренд, а опадів і температури - високочастотні міжрічні флуктуації; частки дисперсії трендів і високочастотних коливань у рядів рівня і солоності приблизно однакові; у чотирьох показників (вітер, опади, рівень моря, солоність) внесок низькочастотних коливань найменший і тільки у температур повітря й води частка дисперсії довгоперіодних компонент перевищує частку лінійного тренду. Для середніх п'ятирічних величин: внесок високочастотної компоненти в усіх показників мінімальний і характеризує практично помилки апроксимації рядів сумою лінійного тренду і гармонічних коливань; при цьому суттєво зростає частка дисперсії низькочастотних складових мінливості.

9. Відомі періоди низькочастотних коливань глобальних кліматичних індексів чітко виявляються у рядах середніх п'ятирічних величин показників режиму морсь-

кого узбережжя, які охоплюють більший відтинок часу, ніж ряди середньорічних значень, і вільні від високочастотного «шуму». В усіх елементах, крім рівня моря, виділені періоди, близькі до 70-річного циклу АМО/ПАК. Крім того, усі ряди п'ятирічних величин дозволяють розрізнити періоди, близькі до 22-річного циклу сонячної активності. Апроксимація низькочастотної мінливості сумою лінійного тренду і довгоперіодних коливань дозволяє дати прогноз змін елементів гідрометеорологічного режиму чорноморського узбережжя України у найближчі десятиріччя. Незалежні дані за 2010 – 2013 рр., в основному, підтверджують прогностичні оцінки тенденцій з урахуванням високочастотних міжрічних варіацій гідрометеорологічних величин.

10. Значне зростання опадів і, особливо, зменшення випаровування у другій половині ХХ сторіччя зумовили зростання прісноводного бюджету Чорного моря навіть за відсутності кліматичного тренду річкового стоку. За стабільного, відносно слабкого сумарного притоку води з Азовського моря зростання ПVB Чорного моря визначає зростання відтоку й послаблення притоку води крізь Босфор. В рамках стаціонарної по солоності балансової моделі отримані результати, що підтверджують залежність параметрів водообміну крізь систему Турецьких проток від прісноводного бюджету Чорного моря. Довгоперіодні зміни у прісноводному бюджеті Чорного моря, які пояснюються зростанням кількості опадів і зменшенням випаровування як регіональним наслідком глобальних змін клімату, призвели до значного збільшення параметрів водообміну у системі Чорного, Мармурового і Егейського морів впродовж останніх десятиріч ХХ сторіччя (у порівнянні до 1920 – 1960 років).

11. Аналіз усіх доступних даних спостережень дозволив уточнити сезонні особливості поширення трансформованих річкових вод на шельфі Північно-західної частини Чорного моря та його багаторічну мінливість. Отримано підтвердження переважної ролі вітру та викликаних ним течій в процесі весняно-літнього просування розпріснених вод на схід та південний схід від пригирлових зон великих річок ПЗЧ. Виявлені багаторічні негативні тренди солоності поверхневих вод у центральній частині ПЗЧ і придунайському районі, які відповідають кліматичній тенденції посилення північної та західної складових вітру над ПЗЧ у другій половині ХХ сторіччя. Результати дослідження сезонної мінливості поля поверхневої солоності ПЗЧ підтверджуються даними зонального розрізу на схід від гирла р. Дунай. Отримані на їхній основі інтегральні характеристики трансформованих річкових вод дозволили побудувати рівняння множинної лінійної регресії, що описує міжрічні варіації середньої солоності розпріснених вод на розрізі у липні-серпні у залежності від попереднього річкового стоку і зональної компоненти вітру.

12. На основі даних про солоність придонних вод прибосфорського шельфу, зібраних упродовж 1960-2000 років, досліджено особливості поширення солоних мармуровоморських вод у Чорне море. Довготривала мінливість статистичних характеристик солоності у зоні язика солоних вод характеризується значними змінами на масштабах п'ятиріч і десятиріч, які пояснюються кліматичними змінами складових прісноводного бюджету Чорного моря. Найбільше зниження величин статистичних характеристик солоності в області шельфового язика мармуровоморських вод,

відмічене у 1970-1980-х роках, ймовірно було наслідком найбільшого зростання ПVB (див. висновок 10).

13. Виявлені значущі лінійні тренди загального зменшення динамічних похилів і динамічних висот на поверхні моря у зоні Основної чорноморської течії на південному заході від Кримського півострова, що є свідомством багаторічних тенденцій послаблення геострофічного потоку і зміщування його стрижня на північ. Ці тенденції розрізняються по сезонам року: значущі негативні тренди похилів динамічного рівня моря отримані для усіх сезонів, крім літнього. Значущі негативні тенденції динамічної висоти у точці, близькій до середнього положення стрижня ОЧТ, отримані для літа і осені, можна інтерпретувати як зміщення потоку ОЧТ або зменшення його ширини у напрямку на північ. На фоні відсутності загального тренду різниці динамічних висот поверхні моря і горизонту 100 м знайдені значущі різнонаправлені тренди цієї характеристики для зими і осені, узгоджені зі стеричними змінами рівня моря під впливом зимового потепління і осіннього похолодання другої половини ХХ сторіччя. Послаблення інтенсивності Кримської галузки ОЧТ відповідає багаторічному послабленню західної складової швидкості вітру, а також зміні характеру відносної завихреності поля вітру над морем: переважна циклонічна завихреність 1960-х років змінилася на малі за величиною і перемінні за знаком значеннями.

14. Проаналізовано внутрішньорічні зміни в структурі вод холодного проміжного шару (ХПШ) як індикатора інтенсивності Севастопольського антициклонічного (САЦ) круговороту біля звалення глибин ПЗЧ Чорного моря. Встановлено, що чергування перевищення величин параметрів ХПШ у західному і східному ядрах круговороту відносно одне одного відбувається із запізненням приблизно в один місяць від чергування динамічної інтенсифікації ядер на фазі розвитку САЦ. Цей факт підтверджує провідну роль динамічного джерела підпитки енергії САЦ (нестійкість ОЧТ на захід від південної околиці Криму). Отримано емпіричні залежності параметрів ХПШ в зоні круговороту у весняно-літній сезон від індексу суворості попередньої зими.

СПИСОК ОСНОВНИХ ПУБЛІКАЦІЙ

Монографії, розділи у колективних монографіях та атласах:

1. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 1: Азовское море / [Ю.П. Ильин, В.В. Фомин, Н.Н. Дьяков, С.Б. Горбач]. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – 402 с. (Особистий внесок – керівництво роботами, участь у підготовці розділів з гідрологічного режиму, формулювання висновків)

2. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море / [Ю.П. Ильин, Л.Н. Репетин, В.Н. Белокопытов и др.]. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. – 421 с. (Особистий внесок – керівництво роботами, підготовка розділів з температури повітря і води, солоності води, формулювання висновків)

3. Oil spill accident in the Kerch Strait in November 2007 / A. Korshenko, Y. Ilyin, V. Velikova (eds.) // Black Sea Commission Publications. – Moscow: Nauka, 2011. – 288 p. (Особистий внесок – наукове редагування, участь у написанні розділів з гідрологічного та гідрохімічного режиму Керченської протоки)

4. Ильин Ю.П. Распространение речных вод / Ю.П. Ильин // Природные условия взморья реки Дунай и острова Змеиный: современное состояние экосистемы / Под ред. Иванова В.А., Гошовского С.В. – Севастополь: МГИ НАНУ, 1999. – С.59-73.

5. Ильин Ю.П. Климатические изменения гидрометеорологических условий Черного моря / Ю.П. Ильин // Глобальные и региональные изменения климата. – К.: Ника-Центр, 2011. – С. 247-254.

6. Ільїн Ю.П. Кліматичні умови / Ю.П. Ільїн, В.М. Белокопитов, Г.Ф. Кудрявцева та ін. // Національний атлас України / Розділ 13: Моря та їхні ресурси. – К: Картографія, 2007. – С. 231-241. (Особистий внесок – підготовка текстів і карт розподілу температури повітря, опадів, хмарності)

7. Ільїн Ю.П. Розділ 3: Кліматичні умови / Ю.П. Ільїн, В.М. Белокопитов, В.В. Долотов та ін. // Океанографічний атлас Чорного та Азовського морів. – К.: Держгідрографія, 2009. – С. 59-87. (Особистий внесок – участь у редколегії, підготовка частини вступної статті до атласу, текстів та карт розподілу температури повітря, опадів)

Статті у вітчизняних наукових фахових виданнях:

8. Ильин Ю.П. Вековые изменения температуры воздуха в Черноморском регионе и их сезонные особенности / Ю.П. Ильин, Л.Н. Репетин // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – Вып.14. – С. 444-456. (Особистий внесок – постановка задачі, обробка та аналіз частини матеріалів, обговорення результатів та формулювання висновків)

9. Ильин Ю.П. Вклад региональных и глобальных факторов в межгодовую изменчивость гидрометеорологических условий прибрежной зоны Черного моря / Ю.П. Ильин // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. – Вып. 26, Том 1. – С.117-122.

10. Ильин Ю.П. Гидрологический режим распространения речных вод в северо-западной части Черного моря / Ю.П. Ильин // Наук. Праці УкрНДГМІ. – 2006. – Вип. 255. – С. 242-251.

11. Ильин Ю.П. Длиннопериодные колебания показателей гидрометеорологического режима Черноморского побережья Украины / Ю.П. Ильин // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2015. – Вип. 267. – С. 88-95.

12. Ильин Ю.П. Долгопериодные изменения водообмена между Черным и Эгейским морями в рамках крупномасштабной бокс-модели / Ю.П. Ильин // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – Вып. 8. – С. 144-151.

13. Ильин Ю.П. Океанографические исследования прибрежной зоны Южного берега Крыма с применением современных технологий судовых и спутниковых измерений / Ю.П. Ильин, Л.Н. Репетин, А.С. Романов, Г.А. Губарь // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2000. – Вип. 248. – С. 56-70. (Особистий внесок – керівництво роботою, аналіз кліматичних даних про температуру та солоність води, а також супутникової інформації, обговорення результатів та формулювання висновків)

14. Ильин Ю.П. Основные факторы и классы морских гидрометеорологических условий Черноморского побережья Украины на масштабах десятилетней и межгодовой изменчивости / Ю.П. Ильин // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2013. – Вып. 265. – С. 66-77.

15. Ильин Ю.П. Проблемы и перспективы мониторинга водного баланса Черного и Азовского морей / Ю.П. Ильин, В.Г. Симов, Л.Н. Репетин // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. – Вып. 22. – С. 171-181. (Особистий внесок – постановка завдань, обговорення матеріалів, написання основної частини тексту та формулювання висновків)

16. Ильин Ю.П. Регрессионные зависимости среднегодовых показателей гидрометеорологических условий Черноморского побережья Украины / Ю.П. Ильин // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2014. – Вып. 266. – С. 58-61.

17. Ильин Ю.П. Сезонная и межгодовая изменчивость параметров холодного промежуточного слоя в области Севастопольского антициклонического круговорота / Ю.П. Ильин, В.Н. Белокопытов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ и ОФ ИнБЮМ НАНУ, 2005. – Вып. 12. – С. 29-41. (Особистий внесок – постановка проблеми, відбір, обробка та аналіз даних, написання тексту, формулювання висновків)

18. Ильин Ю.П. Сезонные и многолетние изменения динамических высот и их уклонов на стандартных разрезах через Основное черноморское течение / Ю.П. Ильин // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – Вып. 17. – С. 244-257.

19. Ильин Ю.П. Система морских наблюдений гидрометслужбы Украины на пути интеграции в “Black Sea GOOS” / Ю.П. Ильин, Л.Н. Репетин // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2003. – Вып. 2(7). – С. 18-30. (Особистий внесок – керівництво роботою, обговорення матеріалів та формулювання висновків)

20. Репетин Л.Н. Современные оценки атмосферных осадков, их вклада в водный баланс Черного моря / Л.Н. Репетин, Ю.П. Ильин, В.В. Долотов, М.М. Липченко // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – Вып. 18. – С. 193-204. (Особистий внесок – керівництво роботами, обговорення результатів, участь у формулюванні висновків)

21. Симоненко С.В. Розроблення та створення національної колекції морських навігаційних карт і океанографічного атласу Чорного та Азовського морів / Симоненко С.В., Белокопитов В.М., Болтачов О.Р., Борис О.М., Годін Є.О., Голодов М.Ф., Ильин Ю.П. та ін. // Вісник НАН України. – 2012. – №12. – С. 19-27. (Особистий внесок – написання тексту своєї частини роботи, обговорення матеріалів)

Статті у закордонних наукових фахових виданнях:

22. Иванов В.А. Оценка параметров флуктуаций температуры поверхности моря у Южного берега Крыма по данным спутниковых наблюдений / В.А. Иванов, Ю.П.

Ильин // Исследования Земли из космоса. – 1993. – №2. – С. 11-18. (Особистий внесок – висунення ідеї, аналіз матеріалів супутникових вимірювань за власною методикою, фізична інтерпретація результатів)

23. Ilyin Y.P. Satellite observations of similar circulation features in semi-enclosed basins of the Eastern Mediterranean with respect to marine ecosystems investigations / Y.P. Ilyin, E.M. Lemeshko, S.V. Stanichny, D.M. Soloviev // The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems / P. Malanotte-Rizzoli, V.N. Eremeev (eds.). – Kluwer AP, the Netherlands, 1999. – P. 417-422. (Особистий внесок – обговорення проблеми, підбір та аналіз матеріалів, написання тексту)

24. Ilyin Y.P. Water exchange in the Black and Aegean seas system based on the joint assessment of water and salt budgets / Y.P. Ilyin, E.M. Lemeshko, V. Zervakis // Oceanography of Eastern Mediterranean and Black Sea. Similarities and Differences of Two Interconnected Basins / A.Yilmaz (ed.). – TUBITAK Publishers, Ankara/Turkey, 2003. – P. 105-111. (Особистий внесок – висунення ідеї, підбір та обробка даних, виконання модельних розрахунків, формулювання висновків)

25. Ilyin Y.P. Western Black Sea currents by the ship measurements and satellite imagery / Y.P. Ilyin, S. Besiktepe, V.A. Ivanov, H.I. Sur, E.M. Lemeshko, H. Gungor, E. Özsoy // Ecosystem Modelling as a Management Tool for the Black Sea / L.I. Ivanov and T. Oğuz (eds.). – Kluwer AP, the Netherlands, 1998. – P. 119-129. (Особистий внесок – висунення ідеї, комплексний аналіз даних суднових вимірювань та супутникових зображень, написання тексту)

26. Ilyin Y.P. Observed long-term changes in the Black Sea physical system and their possible environmental impacts / Y.P. Ilyin // Climate forcing and its impact on the Black Sea marine biota. № 39 in CIESM workshop monographs / F. Briand (ed.). – Monaco: CIESM, 2010. – P. 35-44.

27. Ilyin Y.P. Climatic variability of salinity features on the Bosphorus and Northwestern shelves revealed from observational data / Y.P. Ilyin // Journal of Environmental Protection and Ecology. – 2010. – vol.11. – No 3. – P. 993-1000.

28. Maderich V. Seasonal and interannual variability of the water exchange in the Turkish Straits System estimated by modelling / V. Maderich, Y. Ilyin, E. Lemeshko // Mediterranean Marine Science. – 2015. – Vol 16, No 2. – P. 444-459. (Особистий внесок – підготовка та аналіз даних про гідрологічні умови морів та складові прісноводного бюджету, участь у обговоренні результатів)

29. Sur H. Evolution of satellite derived mesoscale thermal patterns in the Black Sea / H. Sur, Y. Ilyin // Progress in Oceanography. – 1997. – 39. – P. 109-151. (Особистий внесок – обробка і аналіз супутникових даних, аналіз контактних даних, обговорення результатів, написання тексту)

30. Sur H.I. Coastal/Deep Ocean Interactions in the Black Sea and their Ecological/Environmental Impacts / H.I. Sur, E. Özsoy, Y.P. Ilyin, Ü. Ünlüata // Journal of Marine Systems, 7, 1996. – pp.293-320. (Особистий внесок - обробка і аналіз супутникових даних, аналіз контактних даних, обговорення результатів)

31. Yankovsky A.E. The influence of shelfbreak forcing on the alongshelf penetration of the Danube buoyant water, Black Sea / A.E. Yankovsky, E.M. Lemeshko, Y.P. Ilyin // Continental Shelf Research. – 2004. – 24. – P. 1083-1098. (Особистий внесок – підгото-

вка і аналіз гідрологічних даних, обробка і аналіз супутникових даних, обговорення результатів, редагування тексту)

Статті у інших виданнях:

32. Еремеев В.Н. Океанографические условия и экологические проблемы Керченского пролива / В.Н. Еремеев, В.А. Иванов, Ю.П. Ильин // Морской экологический журнал. – 2003. – т. II, № 3. – С. 27-40. (Особистий внесок – виконання основної частини роботи – підбір та аналіз матеріалів, написання тексту, формулювання висновків)

33. Иванов В.А. Атмосферные и гидрологические условия, способствующие распространению речных вод в северо-западной части Черного моря / В.А. Иванов, Ю.П. Ильин // Комплексные экологические исследования Черного моря. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 1995. – С. 68-81. (Особистий внесок – постановка проблеми, обробка і аналіз даних, написання тексту, формулювання висновків)

34. Ильин Ю.П. Антициклонические вихри у свала глубин северо-западной части Черного моря: формирование поверхностных образований и спутниковые ИК-наблюдения в весенне-летний сезон / Ю.П. Ильин // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. – Севастополь: МГИ НАНУ, 1995. – С.22-30.

35. Ильин Ю.П. Изменения гидрологической структуры вод под действием ветра на придунайском шельфе Черного моря по данным полигонных и спутниковых наблюдений / Ю.П. Ильин, Е.М. Лемешко, С.В. Станичный // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАНУ, 1999. – С.91-110. (Особистий внесок – постановка задачі, аналіз даних експедиційних досліджень та порівняння з матеріалами супутникових зйомок, формулювання висновків)

Матеріали і тези наукових конференцій:

36. Дьяков Н.Н. Современный гидрологический режим Азовского моря / Н.Н. Дьяков, В.В. Фомин, Ю.П. Ильин // Фундаментальные исследования важнейших проблем естественных наук на основе интеграционных процессов в образовании и науке / Тезисы докладов Международной научной конференции (Крым, г. Севастополь, 19-24 августа 2006 г.) – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2006. – С. 18.

37. Ильин Ю.П. Водный баланс Азовского моря и потоки водообмена через Керченский пролив / Ю.П. Ильин, М.М. Липченко, Н.Н. Дьяков // Материалы научной конференции «Ломоносовские чтения» 2003 года и Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2003». – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2003. – С. 22-23.

38. Ильин Ю.П. Изменения солености воды черноморской прибрежной зоны Украины во второй половине XX – начале XXI веков / Ю.П. Ильин // Материалы научной конференции «Ломоносовские чтения» 2009 года и Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2009». – Севастополь: Филиал МГУ в г. Севастополе, 2009. – С. 125-127.

39. Ильин Ю.П. Сезонный ход и многолетние тренды динамического наклона уровня Черного моря по данным гидрологических наблюдений на «вековых» разре-

зах / Ю.П. Ильин // Материалы научной конференции «Ломоносовские чтения» 2007 года и Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2007». – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2007. – С. 8-9.

40. Ильин Ю.П. Современные морские наблюдения и исследования гидрометслужбы Украины / Ю.П. Ильин, Л.Н. Репетин // Матеріали міжнародної конференції «Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища – 2002», Частина II. – Одеса, 2003. – С. 177-183.

41. Ильин Ю.П. Структура и многолетняя изменчивость языка соленых вод в при-босфорском районе Черного моря по данным гидрологических наблюдений / Ю.П. Ильин // Материалы научной конференции «Ломоносовские чтения» 2008 года и Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2008». – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. – С. 15-17.

42. Ilyin Yu.P. Integrated studies of hydrometeorological conditions for the rationale of economic activities in the coastal zone of Ukraine / Yu.P. Ilyin, V.V. Fomin, L.N. Repetin // Abstracts Book of International Conference “30th Pacem In Maribus. A Year after Johannesburg. Ocean Governance and Sustainable Development: Ocean and Coasts – a Glimpse into the Future” (October 27-30, 2003, Kiev, Ukraine). – P. 111-112.

43. Ilyin Y.P. Long-term climatic trends in the Black Sea region and their seasonal features / Ilyin Y.P., Repetin L.N. // Abstracts of 1st Biannual Scientific Conference “Black Sea Ecosystem 2005 and Beyond” (8-10 May 2006, Istanbul, Turkey). – Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution, 2006. – P. 166-167.

44. Ilyin Y.P. Quantitative description of the Black Sea coastal zone dynamical processes by the satellite multi-time images / Y.P. Ilyin, E.M. Lemeshko // Proceeding of EARSeL workshop: "Remote Sensing and GIS for Coastal Zone Management". – Delft, the Netherlands, 1994. – P. 181-190.

45. Ilyin Y.P. Western Black Sea currents by the ship and satellite data / Ilyin Y.P., V.A. Ivanov, E.M. Lemeshko, S. Besiktepe, E. Özsoy, H.I. Sur // Rapp. Comm. int. Mer Médit. – Vol. 35. – 1998 [35th Congress CIESM Proceed. – Dubrovnik (Croatia). – Vol. 35(1). – 1998]. – P. 150-151.

46. Ilyin Y. Global and Regional Factors of Inter-Annual and Inter-Decadal Variability of Hydrometeorological conditions on the Black Sea Ukrainian Shores / Y. Ilyin // Black Sea Outlook. 3rd Bi-annual Black Sea and UP-Grade BS-SCENE EC Project Joint Conference (Odessa, Ukraine, 1-4 November 2011) / Abstracts. – P. 173-174.

47. Maderich V.S. Seasonal and interannual variability of the Black Sea – Bosphorus - Marmara Sea - Dardanelles system / V.S. Maderich, Y.P. Ilyin // Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea. Similarities and differences of two interconnected basins. – Ankara, Turkey, 2002. – P. 233-235.

48. Tokar N. Operational marine services in Ukraine / N. Tokar, Y. Ilyin, V. Belokopitov, L. Repetin // Report of the first Black Sea GOOS Workshop, Albena, Bulgaria, 11-15 October 1999. – Varna, Bulgaria, 2000. – P. 37-41.

АНОТАЦІЯ

Ільїн Ю.П. «Кліматичні зміни гідрометеорологічного режиму морів України». – Рукопис

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора географічних наук за спеціальністю 11.00.09 – метеорологія, кліматологія, агрометеорологія. – Київський національний університет імені Тараса Шевченка Міністерства освіти і науки України, Київ, 2016.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню сучасного гідрометеорологічного режиму Азовського і Чорного морів за низкою основних показників, з акцентом на тенденції їхніх багаторічних змін, на основі інформації берегової мережі гідрометеорологічних спостережень та баз океанографічних даних.

Встановлено, що основні кліматичні зміни метеорологічного режиму полягають у зниженні вітрової активності, загальній тенденції підвищення температури повітря, а також збільшення кількості атмосферних опадів. Зміни у гідрологічному режимі морів виявляються у підвищенні температури води на поверхні моря, пом'якшенні льодових умов, зростанні рівня моря і зменшенні поверхневої солоності води.

Шляхом застосування методів факторного, регресійного і спектрального аналізу досліджено структуру і основні фактори довготривалої мінливості гідрометеорологічних умов чорноморського узбережжя України як єдиного географічного об'єкту у порівнянні зі змінами інформативних індексів глобальних кліматичних сигналів. Вперше за натурними даними кількісно оцінено відносний внесок глобальних і регіональних чинників у міжрічну та кліматичну мінливість показників гідрометеорологічного режиму. Визначено співвідношення різних видів мінливості (лінійний тренд, низькочастотні квазіперіодичні варіації та високочастотні міжрічні флуктуації) у сумарній дисперсії середніх річних і п'ятирічних метеорологічних і гідрологічних величин.

Досліджено кліматичні зміни складових водного балансу Чорного моря та їхнього впливу на водообмін через систему Турецьких проток. Довготривалі зміни у прісноводному бюджеті Чорного моря (які пояснюються зменшенням випаровування і збільшенням опадів як регіональним наслідком глобальних змін клімату) призвели у 1960-1998 рр. до значного зростання параметрів водообміну у системі Чорного, Мармурового і Егейського морів порівняно з попереднім періодом 1923-1959 рр.

За даними багаторічних океанографічних спостережень вивчено реакцію характерних елементів гідрологічної структури і динаміки вод діяльного шару Чорного моря на кліматичні зміни метеорологічних процесів у приводній атмосфері. Показано, що на північно-західному шельфі спостерігається довготривале посилення процесу весняно-літнього розпріснення поверхневих вод під дією кліматичного зростання західної і північної складових вітру. У придонному шарі прибосфорського шельфу відбувалося зниження надходження солоних вод Мармурового моря завдяки кліматичному зростанню прісноводного бюджету Чорного моря і відповідного відтоку води через Босфор. Аналіз рядів динамічних висот на станціях «вікових» розрізів дозволив виявити послаблення Кримської галузки Основної чорноморської течії у період 1960 – 1990-х років під впливом кліматичного потепління та трансформації поля вітру. Проаналізовано внутрішньорічні зміни в структурі вод холодного проміжного шару як індикатора інтенсивності Севастопольського антициклонічного круговороту біля звалення глибин північно-західної частини Чорного моря. Отрима-

но емпіричні залежності параметрів ХПШ в зоні круговороту у весняно-літній сезон від індексу суворості попередньої зими.

Ключові слова: клімат, гідрометеорологічний режим, водний баланс, потепління, розпріснення, Основна чорноморська течія, холодний проміжний шар

АННОТАЦІЯ

Ильин Ю.П. «Климатические изменения гидрометеорологического режима морей Украины». – Рукопись

Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 11.00.09 – метеорология, климатология, агрометеорология. – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко Министерства образования и науки Украины, Киев, 2016.

Диссертационная работа посвящена исследованию современного гидрометеорологического режима Азовского и Черного морей по ряду основных показателей, с акцентом на тенденции их многолетних изменений, на основе информации береговой сети гидрометеорологических наблюдений и баз океанографических данных.

Установлено, что основные климатические изменения метеорологического режима заключаются в снижении ветровой активности, общей тенденции повышения температуры воздуха, а также увеличения количества атмосферных осадков. Изменения в гидрологическом режиме морей проявляются в повышении температуры воды на поверхности моря, смягчении ледовых условий, росте уровня моря и уменьшении поверхностной солености морской воды.

Путем применения методов факторного, регрессионного и спектрального анализа исследована структура и основные факторы долгопериодной изменчивости гидрометеорологических условий черноморского побережья Украины как единого географического объекта в сопоставлении с изменениями информативных индексов глобальных климатических сигналов. Впервые по натурным данным количественно оценен относительный вклад глобальных и региональных факторов в межгодовую и климатическую изменчивость показателей гидрометеорологического режима. Определено соотношение различных видов изменчивости (линейный тренд, низкочастотные квазипериодические вариации и высокочастотные межгодовые флуктуации) в суммарной дисперсии средних годовых и пятилетних метеорологических и гидрологических величин.

Исследованы климатические изменения составляющих водного баланса Черного моря и их влияния на водообмен через систему Турецких проливов. Долгосрочные изменения в пресноводном бюджете Черного моря (которые объясняются уменьшением испарения и увеличением количества осадков как региональным следствием глобальных изменений климата) привели в 1960-1998 гг. к значительному увеличению параметров водообмена в системе Черного, Мраморного и Эгейского морей по сравнению с предыдущим периодом 1923-1959 гг.

По данным многолетних океанографических наблюдений изучена реакция характерных элементов гидрологической структуры и динамики вод деятельного слоя Черного моря на климатические изменения метеорологических процессов в приводной атмосфере. Показано, что на северо-западном шельфе наблюдается долгосрочное усиление процесса весенне-летнего распреснения поверхностных вод под воз-

действием климатического увеличения западной и северной составляющих скорости ветра. В придонном слое прибосфорского шельфа происходило уменьшение поступления соленых вод Мраморного моря благодаря климатическому увеличению пресноводного бюджета Черного моря и соответствующего оттока воды через Босфор. Анализ рядов динамических высот на станциях «вековых» разрезов позволил выявить ослабление Крымской ветви Основного черноморского течения в период 1960 – 1990-х годов под влиянием климатического потепления и трансформации поля ветра. Проанализированы внутригодовые изменения в структуре вод холодного промежуточного слоя как индикатора интенсивности Севастопольского антициклонического круговорота у свала глубин северо-западной части Черного моря. Получены эмпирические зависимости параметров ХПС в зоне круговорота в весенне-летний сезон от индекса суровости предшествующей зимы.

Ключевые слова: климат, гидрометеорологический режим, водный баланс, потепление, распреснение, Основное черноморское течение, холодный промежуточный слой

SUMMARY

Ilyin Y.P. “Climatic changes of the Ukrainian seas hydrometeorological regime”. – Manuscript

The dissertation for the degree of doctor in geographical sciences, specialty 11.00.09 – meteorology, climatology, agrometeorology. – Taras Shevchenko National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kiev, 2016.

The thesis is devoted to the studies of modern hydrometeorological conditions of the Azov and Black seas using the number of main indices with the accent on their long-term changes basing on the observations of the seashore hydrometeorological network and oceanographic data bases.

Main climatic changes of the meteorological regime are manifested in the wind activity weakening, general tendency of the air temperature rise and also precipitation enhancement. Hydrological regime changes appear in the surface water temperature rise, mitigation in ice conditions, sea level growth and sea surface salinity reduction.

Using the factor, regression and spectral analysis methods the structure and main factors of a long-period variability of hydrometeorological conditions were studied in the comparison with informative global climatic indices for the Ukrainian Black Sea coast as a single geographic object. For the first time on the field data the relative contribution of global and regional factors to the interannual and climate variability of hydrometeorological regime was computed. The ratio of different kinds of variability (linear trend, low-frequency quasi-periodic variations and high-frequency interannual fluctuations) in total dispersion of mean annual and five-year meteorological and hydrological values was determined.

Climatic changes of the Black Sea water balance components and their influence on the water exchange across the Turkish Straits system were analyzed. The long-term changes of the Black Sea fresh water budget (which are explained by a water evaporation decrease and precipitation enhancement as a regional consequence of the global climate

changes) led in 1960-1998 to the significant increase of water exchange parameters in the Black Sea - Marmara Sea - Aegean Sea system in comparison with the prior period of 1923-1959.

Basing on the multi-year oceanographical observation data the Black Sea hydrological structure and active layer dynamics character element reaction on the climate changes of meteorological processes in the near-water atmosphere was studied. It was shown that in the north-western shelf a long-term enhancement of the spring-summer surface water freshening under the influence of the climate increase of the west and north wind velocity components was observed. At the bottom layer of the near-Bosporus shelf the decrease of the Marmara Sea salt water input happened due to the climatic fresh water budget of the Black Sea and the corresponding outflow across the Bosporus Strait enhancement. The analysis of dynamic height series at the stations of “secular” sections allowed to find out the decrease of the Black Sea Rim Current’s Crimean branch during 1960-1990 under the action of the climatic warming and wind field transformation. The intra-annual changes in the cold intermediate water layer structure as an intensity indicator of the Sevastopol anti-cyclonic gyre at the shelf break of the north-western part of the Black Sea were analyzed. The empirical dependences were revealed for CIL parameters at the spring-summer season in the gyre zone on the previous winter severity index.

Keywords: climate, hydrometeorological regime, water balance, warming, freshening, Rim Current, cold intermediate layer