

УДК 551.465:504.2(262.5)

## ТЕНДЕНЦІЇ ДОВГОТЕРМІНОВИХ ЗМІН ПОЛІВ ТЕМПЕРАТУРИ, СОЛОНОСТІ ТА РІВНЯ ВОД В ПІВНІЧНО-ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО МОРЯ

М. А. Берлінський, Р. В. Гаврилюк, **О. О. Даниленко**

Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна,  
nberlinsky@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4576-4958>

Виконано аналіз мінливості гідрологічних характеристик в північно-західній частині Чорного моря для різних часових масштабів – багаторічних, сезонних і синоптичних. Використовувались традиційні методи географічних досліджень – порівняльно-географічний, ретроспективний і картографічний. В аналізі масивів даних з рівня моря і термохалінних характеристик використовувались математичні методи – статистичний, кореляційний і регресійний аналіз.

В результаті виконаних досліджень отримано кількісні оцінки тенденцій довготермінових змін термохалінних характеристик і рівня в північно-західній частині Чорного моря.

За період 1982-2005 рр. в північно-західній частині Чорного моря спостерігалось зростання температури води: в поверхневому шарі в зимовий період температура води підвищилась на 2°C, а придонному – більш, ніж на 3°C. В Одеському районі за період 1990-2005 рр. підвищення середньої річної температури води склало 1,2°C. Найбільш суттєве і статистично значуще підвищення температури відбувалось в літній гідрологічний сезон: середня літня температура підвищилась за цей період на 2,7°C. В перехідні сезони (восени та навесні) також спостерігалась тенденція підвищення температури, однак статистично значущий тренд відзначався лише в осінній період.

В багаторічних змінах солоності води спостерігався статистично значущий від'ємний тренд. За період 1990-2005 рр. середня річна солоність води знизилась на 1,36 ‰. Тенденція зниження солоності спостерігалась у всі сезони року, але ж статистично значущі тренди відзначались лише в зимовий і літній сезони. Встановлено тісний зв'язок багаторічних змін солоності води і стоку Дніпра.

На всіх станціях північно-західної частини Чорного моря спостерігалось підвищення рівня моря. За період 1947-2012 рр. середній річний рівень моря в районі Одеси підвищився на 14 см. Аналіз кліматичних змін характеру відгінно-нагінних коливань рівня моря показав, що повторюваність нагонів різної інтенсивності практично не змінилась, а в повторюваності відгонів відбулись суттєві зміни. За період 1980-2012 рр., в порівнянні з періодом 1947-1979 рр., повторюваність незначних відгонів (не більш 30 см) зросла, а значних (більш 30 см) і дуже значних (більш 50 см) – навпаки, знизилась приблизно на 5%-6%. Зміни характеру відгінно-нагінних коливань добре узгоджуються зі змінами напрямів і швидкості вітру над північно-західною частиною Чорного моря.

**Ключові слова:** північно-західна частина Чорного моря, часова мінливість температури, солоності і рівня моря, відгінно-нагінні коливання.

### 1. ВСТУП

Термохалінний режим Чорного моря в цілому формується в результаті складної взаємодії безперервно змінюваних великомасштабних та дрібномасштабних гідрометеорологічних процесів, що протікають за межами і всередині самого моря. Суттєву роль відіграють географічне положення і особливості морфометрії моря. Зовнішній та внутрішній волого-, тепло-, і сольовий обміни, що визначаються співвідношенням складових водного, теплового і сольового балансу, циркуляція повітряних і вод-

них мас створюють характерні особливості просторово-часової мінливості солоності і температури вод, і, в першу чергу, це стосується північно-західного шельфу (ПЗШ) Чорного моря. Цей район моря являє собою велику мілководну шельфову зону, гідрологічний і гідрохімічний режими якої формуються, в основному, під впливом річкового стоку Дунаю, Дніпра, Дністра та Південного Бугу. Головною особливістю усієї ПЗШ Чорного моря є короткочасна і сезонна мінливість гідрологічного стану, пов'язана з географічним положенням, морфометрією, клі-

матичними умовами, значним надходженням річкових вод та систематичним розвитком процесів відгону та нагону.

Аналіз інтенсивності сезонних змін гідрологічних полів та відгінно-нагінних процесів дозволяє виявити залежність від них тих антропогенних і природних факторів, які мають вплив на морську екосистему.

В науковій літературі доволі повно представлено характеристики мінливості різного часового масштабу термохалінних полів в північно-західній частині Чорного моря [1-4]. В той же час моніторинг гідрологічного і екологічного стану морських вод продовжується, і матеріали, отримані в результаті виконання океанографічних зйомок останніх років, можуть доповнити і уточнити характеристики мінливості. В статті представлені результати досліджень, які опубліковані в літературних джерелах попередніх років, так й власних досліджень авторів, виконаних в останній час.

*Мета роботи* полягає в комплексному аналізі тенденцій довготермінових змін термохалінних характеристик і рівня моря в північно-західній частині Чорного моря.

## 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Кліматичні характеристики полів солоності і температури води, отримані за даними гідрологічних спостережень за період 1903-1982 рр., представлені в роботі [1]. Їх можна використовувати як порівняльну базу, так, як вже відзначалося в багатьох дослідженнях, період інтенсивного підвищення приземної температури і відповідних кліматичних змін почався з кінця 80-х років ХХ століття. Зміни режимних характеристик термохалінних полів, що відбулися за останні три десятиліття [2-4], дозволяють оцінити масштаби і тенденції кліматичних збурень в полях температури і солоності води північно-західного шельфу (ПЗШ).

Використовувались спостереження за рівнем моря на станціях Одеса (1947-2012 рр.), Чорноморськ (1986-2013 рр.), Южний (1986-2011 рр.), Цареградське гирло (1975-2010 рр.). Данні до 1990 року опубліковані в [5], а за останні роки ряди доповнювались спостереженнями з таблиць ТГМ. Для аналізу багаторічної та сезонної мінливості рівня моря використовувались його середньомісячні значення, а мінливості відгінно-нагінних коливань – екстремальні (максимальні та мінімальні) строкові значення рівня.

Найбільш тривалий ряд спостережень є для станції Одеса – довжина ряду складає 66 років. Цей ряд був розбитий на два періоди – 1947-

1979 рр. та 1980-2012 рр. тривалістю 33 роки. За рекомендаціями Всесвітньої Метеорологічної Організації для оцінки кліматичних змін гідрометеорологічних характеристик ряд спостережень повинен бути не менш 30 років. Таким чином, за даними спостережень на станції Одеса виконано аналіз кліматичних змін міжрічних, сезонних та відгінно-нагінних коливань рівня. На інших станціях тривалість рядів спостережень є такою: станція Цареградське гирло – 36 років, станція Чорноморськ – 28 років, станція Южний – 26 років. Тривалість рядів спостережень є достатньою для оцінки мінливості рівня різного часового масштабу.

Для отримання кількісних характеристик мінливості використовувались традиційні математичні методи обробки інформації – статистичний, кореляційний, регресійний аналіз.

## 3. АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

*Поле температури.* Водну товщу Чорного моря, за характером сталих у багаторічному плані просторових неоднорідностей і наявності сезонних коливань в полі температури, можливо умовно поділити на три шари. Найбільш мінливим є діяльний шар, в якому спостерігаються сталі вертикальні, горизонтальні і сезонні зміни поля температури. За його нижню границю орієнтовно приймають горизонт 200 м, де розмах сезонних коливань, пов'язаних з річним циклом потоків тепла через поверхню, зменшується більше ніж у сто разів у порівнянні з розмахом на поверхні.

Діяльний шар Чорного моря за механізмом зміни тепловмісту вод, в свою чергу, можна поділити на два шари. Перший – з переважно вертикальним обміном тепла, включає в себе верхній квазіоднорідний шар (ВКШ) і шар сезонного термокліну. Другий – холодний проміжний шар (ХПШ), зміна тепловмісту якого (принаймні в зимовий сезон) відбувається, головним чином, за рахунок горизонтальної адвекції вод, що ізопікнічно розповсюджуються у верхніх шарах постійного халокліну.

В цілому Чорне море відносно тепле. Середня річна температура верхнього десятиметрового шару близька до 14,7 °С. Однак північні райони моря в зимовий сезон зазнають значного охолодження, що призводить до замерзання вод.

Характерною особливістю поля температури в верхніх шарах моря є сезонна сталість мінімуму температури в північно-західній частині моря і максимуму – в південно-східній. На нульовому горизонті найменша температура води від-

мічається в середньому в лютому (від 2 °С до 9,5 °С), а найбільша – в серпні (від 21 °С до 25 °С).

Для прибережних районів моря характерні різкі внутрішньодобові коливання температури води, викликані відгінно-нагінними явищами. Найбільш помітні ці явища в теплі періоди року, коли вертикальні градієнти температури води максимальні і термоклін розташований на невеликій глибині. Відгінно – нагінна циркуляція не обмежується вузькою прибережною смугою, вона є невід’ємною частиною переважаючих в Чорному морі вітрових течій і приймає участь в перерозподілі водних мас по глибині і акваторії моря, обумовлюючи обмін поверхневих і глибинних прибережних вод з водами центральних частин моря [6].

У діяльному шарі Чорного моря чітко відстежуються закономірності внутрішньорічної мінливості. Наприкінці зими в шарі 0-50 м встановлюється відносна гомотермія.

Весняне підвищення температури в західній частині моря спостерігається вже в березні. До середини квітня процеси формування сезонного термокліну охоплюють усе море, і до травня вертикальні градієнти температури в поверхневих шарах перевищують 0,5 °С·м<sup>-1</sup>. Максимум травневої температури води (15-16 °С) співпадає з основними осередками опріснення. Весняний термоклін, що примикає до поверхні моря, легко руйнується вітровим перемішуванням, що обумовлює велику мінливість весняного поля температури, яке може суттєво відрізнитися від кліматичного.

У мірі прогріву вод просторова мінливість температури поверхневого шару зменшується. Уже в червні вона становить 2 °С. Положення мінімумів температури влітку відповідає районам з найбільшою повторюваністю відгінних синоптичних ситуацій, які викликають прибережні апвелінги.

Осіннє вихолодження вод моря починається у вересні. До листопада температура поверхневого шару падає порівняно з серпнем в середньому на 10 °С. Глибина осінньо-зимового перемішування обмежується сталою халінною структурою вод. Термічне згущення при зимовому охолодженні невелике. Влітку внесок термічної компоненти в густину стратифікацію верхньої чорноморської водної маси значно перевищує внесок сольової.

Сезонний термоклін стає визначаючим елементом структури вод на глибинах 20-30 м. В зимовий період середнє багаторічне поле температури води на горизонті 20 м однотипне з пове-

рхневим. У мірі прогріву сформований термоклін починає заглиблюватися. Добре просліджується фазове запізнення досягнення річного максимуму температури, пропорційне глибині горизонту. Поблизу берегів шар стрибка температури має більшу товщину і заглиблення, ніж у відкритому морі. В кліматичному плані осереднені найбільші градієнти в термокліні відмічаються в середньому по морю на глибині 20 м і становлять – 0,25 °С·м<sup>-1</sup>. Однак нестабільність положення сезонного термокліну створює значні горизонтальні градієнти температури води на горизонті 20 м і суттєві відмінності конкретних розподілів від середнього багаторічного.

Інтенсивність вертикального турбулентного обміну теплом швидко зменшується з глибиною. У весняно – літній період цей процес блокується в сезонному термокліні. В осінньо-зимовий – розповсюджується приблизно до глибин 50 м. Тому в холодний період року розподіл температури на горизонті 50 м подібний тому, який є у верхніх шарах. В теплий період року неоднорідність поля температури на цьому горизонті зменшується, і значення температури води в серпні становлять в основному 7,5-8 °С. Суттєва перебудова поля температури починається восени, коли сезонний термоклін поглиблюється в результаті вітрового перемішування. Інтенсивність вертикального турбулентного обміну значно вище на периферії моря і тому на горизонті 50 м прибережні води прогриваються до 10 °С. Максимальний розмах сезонних коливань температури на поверхні приходить на захід північно-західної частини моря і становить 3,4 °С.

Аналіз тенденцій кліматичних змін температури вод північно-західного шельфу (ПЗШ) показує, що в основному вони стосуються зимового сезону. В західній частині ПЗШ у поверхневому шарі середня температура підвищилася в зимовий період на два градуси, а в придонному – більше ніж на 3 °С за період 1962-2002 рр. [4].

Багаторічна мінливість температури води в Одеському районі за даними ГМС «Одеса-порт» в період 1962-2002 рр. розглянута в роботі [7]. Кліматична норма середньої річної температури води в поверхневому шарі складала 11,0 °С, при зимовій нормі 1,9 °С і літній 19,8 °С. За період 1990-2005 років середня річна температура поверхневого шару води становила 11,5 °С, температура зимового сезону 2,7 °С, літнього 20,2 °С.

Найбільш холодними були 1993, 1997 і 2003 роки, із середньорічною температурою води відповідно 9,4; 10,0 і 10,4 °С. Високі значення температури води (12,0; 12,8; 12,7; і 12,9 °С) припадають відповідно на 1994, 1999, 2001 і

2002 роки.

Середній багаторічний розмах внутрішньорічних коливань температури води склав  $20,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при відзначеному максимумі  $22,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  у 1999 році і мінімумі  $16,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  – у 1990 році. За період 1990-2005 рр. у міжрічному ході спостерігається значущий тренд зростання температури води. У цілому за цей період середня річна температура води підвищилася на  $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , від  $10,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  – на початку періоду до  $12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  – наприкінці.

У багаторічному ході температури води зимового гідрологічного сезону виділяється одна явно виражена хвиля з періодом 7 років. Мінімуми температури води ( $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) відзначались в 1996 і 2003 роках відповідно. Найбільш теплими в ряді міжрічної мінливості температури води зимового гідрологічного сезону були 1990 і 2001 роки ( $4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), відповідно. Розмах коливань середньої місячної температури води в зимовий сезон у середньому склав  $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при максимумі  $5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (2002 р.) і мінімумі  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1993 р.). Статистично значущий тренд в ході зимової температури води за розглянутий період не спостерігався.

Найбільш виражений і статистично значущий тренд підвищення температури води спостерігався в літній гідрологічний сезон. Середня літня температура води за цей період підвищилася на  $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (від  $18,8$  до  $21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

У міжрічному ході літньої температури води виявляються цикли з періодом 3 і 5 років. Максимуми припадають на 1992, 1994, 1999 і 2001 роки з температурою води відповідно  $20,5$ ;  $21,9$ ;  $22,0$ ; і  $23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Найбільш холодними в ряді міжрічної мінливості температури води літнього гідрологічного сезону були 1993, 1998 і 2003 роки ( $16,7$ ;  $18,6$ ; і  $18,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , відповідно). Розмах коливань середньої місячної температури води влітку в середньому складав  $3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при максимумі  $6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1991 р.) і мінімумі  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1994 р.).

У перехідні сезони (навесні і восени) також відзначена тенденція підвищення температури води, однак статистично значущий тренд відповідає тільки осінньому періоду.

У середньому розмах змін середньої місячної температури води весняного гідрологічного сезону складає  $8,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а осіннього  $10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Інтенсивне прогрівання поверхневих вод навесні спостерігалось в 1999 році ( $11,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а інтенсивне вихолодження – восени 2001 року ( $13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Найбільш стабільні умови весняного гідрологічного періоду в режимі температури води відзначені в 2000 році (розмах  $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а осіннього – у 1996 році (розмах  $6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). У багаторічному ході температури води весняного сезону виявляються

коливання з періодом 4 роки. В осінньому сезоні виділяються два дворічних і один п'ятирічний цикли.

Слід зазначити, що підвищення температури води весняно-осіннього сезонів обумовлено як умовами радіаційного режиму, так і іншими факторами. Поряд з радіаційним режимом, значно впливає на температуру поверхні моря режим вітру, а також прісний стік річок. При підвищеному стоці річок, за рахунок великих вертикальних градієнтів солоності, підвищується стійкість поверхневого шару води, в результаті чого вертикальний обмін ослаблений, і теплонакопичення відбувається у більш тонкому шарі. Це сприяє зростанню температури поверхневого шару води. В умовах зниженого стоку річок сталість поверхневого шару вод зменшується, і тепло в результаті турбулентного обміну поширюється в більш глибокі шари. При цьому температура поверхні води за рівних умов радіаційного і вітрового режимів знижується. Це підтверджується наявністю від'ємної кореляції між середніми річними значеннями температури і солоності води.

В період 1990-2005 років коефіцієнт кореляції температури і солоності води склав мінус  $0,67$  (при 95 % довірчому рівні значущості  $0,5$ ). За більш тривалий період 1950-2005 рр. коефіцієнт кореляції складав мінус  $0,34$  (при 95 % довірчому рівні значущості  $0,25$ ) [2].

Таким чином, можна констатувати, що у період 1990-2005 рр. спостерігалася тенденція до підвищення температури поверхневого шару води (статистично значуща в літньо-осінній період). У цілому ж за весь період наявних даних спостережень на ГМС «Одеса-порт» (1950-2005 рр.) температура поверхневих вод підвищилася на  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  [7].

*Поле солоності.* Аналіз поля солоності в північно-західній частині Чорного моря в останні три десятиліття показав, що багаторічні зміни середньої зимової солоності вод ПЗШ мають достатньо означені тренди, які вказують на її зниження в кліматичному плані. В якійсь мірі це обумовлено значним зростанням кількості пізніх осінніх і, особливо, зимових водопіль. В 1990-2011 рр. спостерігалось вісім (2 пізніх осінніх і 6 зимових) водопіль, в той час як за 1947-1989 рр. їх було тільки чотири.

Кліматична норма середньої річної солоності за період 1948-2002 рр. за даними ГМС «Одеса-порт» дорівнює  $14,67\text{ }‰$  [2] із мінімумом навесні ( $12,96\text{ }‰$ ) і максимумом  $15,74\text{ }‰$  (у літній гідрологічний сезон) (табл. 1).

Таблиця 1 – Середня місячна солоність поверхневих вод за даними ГМС «Одеса-порт», ‰, за період 1948 - 2002 рр.

Солоність, ‰	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	15,05	14,43	13,90	13,09	12,96	14,25	15,74	15,74	15,72	15,27	14,80	15,07

У період 1990-2005 років середня річна солоність поверхневого шару води ПЗШ трохи знизилася і склала 14,63 ‰, (13,66 ‰ у весняний гідрологічний період і 15,39 ‰ – у літній).

На режим солоності поверхневого шару вод ПЗШ значно впливає прісний стік річок.

Між стоком р. Дніпро і середньою річною солоністю на ГМС «Одеса-порт» за даними спостережень за період 1948-1982 рр. виявлено зв'язок з коефіцієнтом кореляції мінус 0,75.

Аналогічна оцінка кореляції, яка була отримана за даними спостережень у 1950-2005 роках, показала, що значення коефіцієнту кореляції не змінилося і склало мінус 0,75. За період 1990-2005 рр. коефіцієнт кореляції склав мінус 0,86 при 95 % довірчому рівні значущості 0,5 [2]. У міжрічному ході середньорічних витрат води за період 1990-2005 рр. відзначається тенденція збільшення витрат води з  $1196,8 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$  (1990 р.) до  $1411,3 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$  (2005 р.). Однак характеристика тренда не перевищує 95 % рівня значущості, оціненого за F-критерієм Фішера. Вірогідно значущих трендів не спостерігається й у багаторічній мінливості середніх сезонних витрат Дніпра. В осінній гідрологічний сезон, на відміну від зимово-літнього періоду з тенденцією до підвищення витрат, відзначається слабка не значуща тенденція до їхнього зменшення.

У ході середньої річної солоності води за період 1990-2005 рр. виділяються коливання з періодом 3, 5 і 6 років. Найбільш високий солеміст поверхневих вод спостерігався в 1993, 1997 і 2003 роках, із середньою річною солоністю води відповідно 16,05; 16,08 і 15,41 ‰. Низькі значення солоності води (14,37; 13,73; 12,67 і 13,51 ‰) припадають відповідно на 1991, 1994, 1999 і 2005 роки. Середній багаторічний розмах внутрішньорічних коливань солоності води склав 4,82 ‰, при відзначеному максимумі 9,11 ‰ у 1998 році і мінімумі 2,95 ‰ у 1990 р.

В цілому по гідрологічних сезонах найбільший розмах у змінах солоності води спостерігався навесні (2,72 ‰) при повеневому стоці річки Дніпро. Екстремальні значення середньої місячної солоності води спостерігалися в квітні 1999 року – 8,04 ‰ (мінімум) і в березні 1997 року – 18,75 ‰ (максимум).

За період 1990-2005 рр. у міжрічному ході середньої солоності води спостерігався значущий тренд зниження солемісту. В цілому за розглянутий період середня річна солоність води знизилася на 1,36 ‰ – від 15,34 ‰ у 1990 р. до 13,98 ‰ – у 2005 р.

Достовірні тренди середніх сезонних значень солоності спостерігалися в зимовий і літній гідрологічні сезони року. Зміни весняних і осінніх значень солоності води не перевищували 95 % рівня значущості. Однак багаторічна тенденція до зниження солоності відзначалася й у ці сезони.

Особливістю багаторічного ходу солоності в літні сезони є кліматичне підвищення її в західній частині. Слід відзначити, що в період 1986-1995 рр. мінімум солоності поверхневих вод в районі острова Зміїний спостерігався на рівні 4 ‰, що пояснюється надходженням слабо трансформованих дунайських вод. За період 1996-2005 рр. мінімальна солоність мала величину 11,50 ‰, але за декаду 1986-1995 рр. 25 разів спостерігалася солоність нижче 11,40 ‰.

У цілому можна констатувати, що спостерігалася тенденція до збільшення стоку Дніпра і зниження солоності в Дніпро-Бузькому районі (переважно в зимові і літні сезони року) в період 1990-2005 рр.

*Рівень.* За даними спостережень за середньомісячними значеннями рівня на різних станціях виконано розрахунки середнього багаторічного значення рівня моря за всі місяці року та за рік. Для порівняння в таблиці 2 наведено середньомісячні та середні за рік значення рівня всього Чорного моря за два кліматичні періоди з роботи [8].

Згідно з дослідженням [8], середній багаторічний рівень Чорного моря за період 1976-2005 рр. дорівнює 480 см.

На всіх станціях північно-західної частини моря рівень вище середнього рівня всього моря. Найбільші позитивні відхилення спостерігаються на станції Цареградське гирло – 14 см, на інших станціях відхилення складають 7-9 см [9]. Перевищення рівня моря на станціях північно-західної частини в порівнянні з усім морем обу-

Таблиця 2 – Рівень Чорного моря за різні кліматичні періоди [8], см

Період	Місяць												За рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1946-1975 рр.	473	474	476	478	480	483	481	476	469	464	464	468	474
1976-2005 рр.	479	479	479	482	487	487	484	480	476	473	473	477	480

мовлено природними факторами – річковим стоком, стеричними ефектами, характером відгінно-нагінних коливань.

Середні багаторічні значення рівня моря на станціях Одеса, Чорноморськ та Южний приблизно співпадають, а на станції Цареградське гирло рівень моря приблизно на 15 см вище, що можна пояснити впливом стоку р. Дністер. Міжрічна мінливість середнього за рік рівня характеризується розмахом коливань. На станціях Южний, Чорноморськ та Цареградське гирло розмах коливань складає 36-37 см, а на станції Одеса – 23 см.

Мінімальні абсолютні річні значення рівня на різних станціях спостерігаються в різні роки. Максимальні абсолютні річні значення рівня на всіх станціях припадають на 2010 рік. Це підтверджує результати роботи [9], що рівень Чорного моря в цьому році досягнув свого абсолютного максимуму за всю 150-річну історію спостережень. Якщо порівняти розмах міжрічних коливань за різні кліматичні періоди на станції Одеса, то можна зазначити, що за останні 33 роки розмах коливань середнього річного рівня моря знизився з 33 см до 23 см, тобто на 30 %.

Взаємозв'язки міжрічних коливань середнього річного рівня на різних станціях за період 1986-2012 рр. наведено в таблиці 3. Як видно з таблиці, міжрічні коливання рівня моря за середніми річними даними на станціях Южний, Чорноморськ та Цареградське гирло практично синфазні. Коефіцієнти кореляції є близькими до 0,9, а при осередненні ковзним середнім по 5-ти рокам зростають практично до 1.

Коливання середніх річних значень рівня моря на станції Одеса статистично слабо пов'язані з міжрічними коливаннями на інших станціях. При осередненні по 5-ти рокам виявляються статистично значущі від'ємні коефіцієнти кореляції, які свідчать про протилежний характер коливань.

В роботі [10] наведені результати аналізу декадної мінливості середнього річного рівня на станціях західної частини моря. Показано, що на тлі загального підвищення рівня в десятирічних трендах спостерігаються періоди поперемінного

зростання або зниження рівня. Зокрема, за період 1980-2000 рр. на станції Одеса в десятирічних коливаннях середнього річного рівня спостерігається від'ємний тренд. Винятковість станції Одеса можливо пов'язана з вертикальними рухами суші [11].

Таблиця 3 – Коефіцієнти кореляції між парами станцій середніх річних значень рівня моря (нижче діагоналі), та при осередненні ковзним середнім по 5-ти рокам (вище діагоналі)

Станція	Станція			
	Одеса	Чорноморськ	Южний	Цареградське гирло
Одеса	1	-0,566*	-0,606*	-0,555*
Чорноморськ	0,178	1	0,966*	0,993*
Южний	0,342	0,864*	1	0,993*
Цареградське гирло	0,381	0,948*	0,889*	1

Примітка: \* – кореляція значуща на рівні 0,01

В роботі [10] наведені результати аналізу декадної мінливості середнього річного рівня на станціях західної частини моря. Показано, що на тлі загального підвищення рівня в десятирічних трендах спостерігаються періоди поперемінного зростання або зниження рівня. Зокрема, за період 1980-2000 рр. на станції Одеса в десятирічних коливаннях середнього річного рівня спостерігається від'ємний тренд. Винятковість станції Одеса можливо пов'язана з вертикальними рухами суші [11].

Виконувався також аналіз лінійних трендів рядів середніх річних значень рівня моря на різних станціях. В таблиці 4 наведено характеристики лінійних трендів – кутові коефіцієнти, коефіцієнти детермінації, величини загальної зміни рівня та внесок тренду в загальну дисперсію ряду. Як видно з таблиці 4, найбільш суттєві зростання середнього річного рівня спостерігаються на станціях Южний та Чорноморськ, і дорівнюють близько 20 см. На станції Цареград-

**Таблиця 4** – Характеристики лінійних трендів в коливаннях середніх річних значень рівня в північно-західній частині Чорного моря

Характеристика	Станція, період					
	Одеса 1947- 979 рр.	Одеса 1980-2012 рр.	Одеса 1947-2012 рр.	Южний 1986-2011 рр.	Чорноморськ 1986-2013 рр.	Цар.Гирло 1986-2010 рр.
a (см·рік <sup>-1</sup> )	0,30	-0,08	0,21	0,79	0,70	0,64
R <sup>2</sup>	0,20	0,02	0,30*	0,56*	0,47*	0,39*
Δ (см)	10,9	-2,6	13,9	20,5	19,6	16,0
v (%)	11,1	10,0	26,7	23,2	27,8	28,6

**Примітка:** a – кутовий коефіцієнт тренду ( см рік<sup>-1</sup> ), R<sup>2</sup> – коефіцієнт детермінації, Δ – зміна рівня, см, v – внесок тренду в загальну дисперсію ряду (%), \* – значущі тренди на рівні 0,01.

ське гирло за той же період підвищення рівня склало 16 см. Внески лінійних трендів в загальну дисперсію рядів дорівнюють 23-28 %, що підтверджує значущість тренду. На станції Одеса найбільш суттєві зростання рівня спостерігались за період 1947-1979 рр., а за період 1980-2012 рр. рівень моря відчував хвильові коливання зі слабким від’ємним трендом. Підвищення рівня за 66-річний період (1947-2012 рр.) склало 14 см.

*Відгінно-нагінні коливання рівня в північно-західній частині Чорного моря.* Основними факторами, які визначають режим коливань рівня в синоптичному діапазоні частот є вітер та атмосферний тиск. При цьому вітру належить вирішальна роль, а коливання рівня проявляються в вигляді відгінно-нагінних коливань. Їх розвиток визначається співвідношеннями напрямів діючого вітру та конфігурації берегової смуги. З цієї причини розмах відгінно-нагінних коливань рівня на різних станціях, навіть близько розташованих одна від одною, може суттєво відрізнятися.

Визначення показників штормової активності в останні роки привертає увагу багатьох вчених, зокрема в зв’язку зі змінами клімату в Чорному морі. Для північно-західної частини моря такі дослідження не виконувались. В той же час в цьому районі розташовані найважливіші морські порти і вплив відгінно-нагінних коливань рівня на їх роботу а також на екосистему регіону є суттєвим.

Аналіз значних відгінно-нагінних коливань рівня (відхилення більш за 30 см) показує, що повторюваність відгонів на всіх станціях вища за повторюваність нагонів – перевищення складає 7-10 %, за виключенням станції Цареградське гирло, де воно досягає лише 1.5 %. Повторюваність значних нагонів за два кліматичних періоди на станції Одеса практично не змінилась, а

повторюваність аналогічних відгонів знизилась з 51 % до 45 %. Зниження повторюваності значних відгонів в останні роки добре узгоджується зі зниженням середньої швидкості вітру над Чорним морем [12].

Для дуже значних відгінно-нагінних коливань рівня (відхилення більш за 50 см) повторюваність відгонів також є вищою за повторюваність нагонів, крім станції Цареградське гирло, де ці величини приблизно однакові. Перевищення повторюваності відгонів над нагонами є найбільшим для станції Южний – 6.73 % та 0.96 %, відповідно. Для станції Одеса за останній кліматичний період повторюваність дуже значних відгонів зменшилась з 13.64 % до 8.08 %, але ж є найбільшою величиною для всіх станцій північно-західної частини Чорного моря, що підтверджує відомості з літературних джерел про найбільш інтенсивні відгони на станції Одеса.

Небезпечні відгони на станції Одеса обумовлені діями вітру північного, північно-західного та північно-східного напрямів. Згідно з роботою [12] за даними спостережень на станції Одеса за період 1945-2011 рр. в багаторічній мінливості сумарної повторюваності швидкості вітру північного та північно-східного напрямів спостерігаються значущі, на рівні не нижче 95 %, від’ємні тренди, а північно-західний вітер має не значущий позитивний тренд.

Таким чином, зниження повторюваності небезпечних відгонів викликано зменшенням потужності північного та північно-східного вітрів за досліджуваний період. В зниження інтенсивності відгінно-нагінних коливань в північно-західній частині Чорного моря більш суттєвий вклад вносить зростання мінімального рівня, тобто зменшення розмаху відгонів.

#### 4. ВИСНОВКИ

В результаті виконаних досліджень отримано кількісні оцінки тенденцій довготермінових змін термохалінних характеристик і рівня в північно-західній частині Чорного моря.

Найбільш виражений і статистично значущий тренд підвищення температури води в Одеському районі спостерігався в літній гідрологічний сезон. Середня літня температура води за цей період підвищилася на 2,7 °С (від 18,8 до 21,5 °С).

У перехідні сезони (навесні і восени) також відзначена тенденція підвищення температури води, однак статистично значущий тренд відповідає тільки осінньому періоду.

Багаторічні зміни середньої зимової солоності вод ПЗШ мають достатньо означені тренди, які вказують на її зниження на кліматичному масштабі.

На режим солоності поверхневого шару вод ПЗШ значно впливає прісний стік річок. Оцінка кореляції між стоком р. Дніпро і середньою річною солоністю на ГМС «Одеса-порт» показала, що значення коефіцієнту кореляції отриманого за період 1990-2005 рр. зросло, порівняно аналогічними оцінками за періоди 1948-1982 рр. і 1950-2005 рр., з мінус 0,75 до мінус 0,86 (при 95 % довірчому рівні значущості 0,5).

За період 1990-2005 рр. у міжрічному ході середньої солоності води спостерігався значущий тренд зниження солемісту. В цілому за розглянутий період середня річна солоність води знизилася на 1,36 ‰ – від 15,34 ‰ у 1990 р. до 13,98 ‰ – у 2005 р.

Достовірні тренди середніх сезонних значень солоності спостерігалися в зимовий і літній гідрологічні сезони року. Зміни весняних і осінніх значень солоності води не перевищували 95 % рівня значущості. Однак багаторічна тенденція до зниження солоності відзначалася й у ці сезони.

Особливістю багаторічного ходу солоності в літні сезони є кліматичне підвищення її в західній частині ПЗШ.

В період 1990-2005 рр. в цілому спостерігалася тенденція до збільшення стоку Дніпра і зниження солоності в Дніпро-Бузькому (Одеському) районі (переважно в зимові і літні сезони року).

На всіх станціях північно-західної частини

середній багаторічний рівень моря на 7-14 см вищий, ніж середній багаторічний рівень всього Чорного моря, що обумовлено природними факторами – річковим стоком, стеричними ефектами, динамікою вод, відгінно-нагінними коливаннями.

На станції Одеса за період 1947-1979 рр. підвищення рівня склало 11 см, а в період 1980-2012 рр. рівень моря відчував хвильові коливання зі слабким від'ємним трендом. За весь досліджуваний період (1947-2012 рр.) рівень моря в Одесі підвищився на 14 см, що узгоджується з аналогічними оцінками для всього Чорного моря. Відмінність міжрічних коливань рівня на станції Одеса від інших станцій пояснюється вертикальними рухами суші.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Альтман Э. Н., Гертман И. Ф., Голубева З. А. Климатические поля солености и температуры воды Черного моря. Севастополь : СО ГОИН, 1987. 109 с.
2. Гідрологічні та гідрохімічні показники стану північно-західного шельфу Чорного моря : довідковий посібник / за ред. І. Д. Лоевої; І. Г. Орлової, М. Ю. Павленко, В. В. Українського та ін. Київ : КНТ, 2008. 616 с.
3. Попов Ю. І., Рубан І. Г. Поля солоності північно-західної частини Чорного моря (1955–2005 рр.): довідковий посібник. Одеса : ТЕС, 2015. 116 с.
4. Изменчивость климатических характеристик морских вод в северо-западной части Черного моря / Матыгин А. С., Сытов В. Н., Попов Ю. И. и др. *Вестник Гидрометеоцентра Черного и Азовского морей*. 2013. № 2(16). С. 97-105.
5. Каталог наблюдений над уровнем Черного и Азовского морей. Государственный комитет по гидрометеорологии / Государственный океанографический институт, Севастопольское отделение. Севастополь, 1990. 269 с.
6. Богданова А. К. Сгонно-нагонная циркуляция и термический режим Черного моря. *Труды Севастопольской биологической станции*. 1959. Т. XI. С. 262-283.
7. Андрианова О. Р., Белевич Р. Р., Скипа М. И. Об особенностях изменчивости основных климатических Одессы в XX столетии. *Морской гидрофизический журнал*. 2005. № 4. С. 19-29.
8. Горячкин Ю. Н., Иванов В. А. Уровень Черного моря : прошлое, настоящее и будущее: монография / под ред. В. Н. Еремеева. Севастополь : МГИ НАН Украины, 2006. 210 с.
9. Гаврилюк Р. В., Корнилов С. В. Изменчивость уровня в северо-западной части Черного моря. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2016. Вип. 20. С. 69-77.



10. Горячкин Ю. Н. Изменчивость уровня Черного моря: автореф. дис... докт. геогр. наук / МГИ НАН Украины. Севастополь, 2012. 38 с.
11. Андрианова О. Р., Буров А. М., Скипа М. И. Особенности декадной изменчивости среднемесячных и экстремальных высот уровня в западной части Черного моря. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2010. Вып. 23. С. 40-46.
12. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2 : Черное море / Ильин Ю. П., Репетин Л. Н., Белокопытов В. Н. и др. Севастополь, 2012. 420 с.
6. *Seas. State Committee on Hydrometeorology*. Sevastopol. (in Russ.)
7. Bogdanova, A.K. (1959). Sgonno-nagonnaya tsirkulyatsiya i termicheskiy rezhim Chernogo morya [Surge circulation and thermal regime of the Black Sea]. *Trudy Sevastopol'skoy biologicheskoy stantsii [Works of Sevastopol Biological Station]*, XI, pp. 262-283. (in Russ.)
8. Andrianova, O.R., Belevich, R.R. & Skipa, M.I. (2005). Ob osobennostyakh izmenchivosti osnovnykh klimaticheskikh kharakteristik Odessy v XX stoletii [On the peculiarities of the variability of the main climatic characteristics of Odessa in the twentieth century]. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal [Marine Hydrophysical Journal]*, 4. pp. 19-29. (in Russ.)
9. Goryachkin, Yu.N. & Ivanov, V.A. (2016). *Uroven' Chernogo morya: proshloe, nastoyashchee i budushchee [Black Sea level: past, present and future]*. Edited by V.N. Eremeev. Sevastopol: Marine Hydrophysical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine. (in Russ.)
10. Gavriluk, R.V. & Kornilov, S.V. (2016). Izmenchivost' urovnya v severo-zapadnoy chasti Chernogo morya [Variability of the level in the northwestern part of the Black Sea]. *Visnik Odes'kogo derzavnogo ekologichnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 20. pp. 69-77. (in Russ.)
11. Goryachkin, Ju.N. (2012). *Izmenchivost' urovnia Chernogo morya [Variability of the Black Sea level]*. Abstract of Dr. Sc. in Geography. Marine Hydrophysical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine. Sevastopol. (in Russ.)
12. Andrianova, O.R., Burov, A.M. & Skipa, M.I. (2010). Osobennosti dekadnoy izmenchivosti srednemesyachnykh i ekstremal'nykh vysot urovnya v zapadnoy chasti Chernogo morya [Features of the ten-day variability of monthly and extreme altitudes of the level in the western part of the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shelfovoy zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa [Ecological safety of the coastal and offshore zones and the integrated use of shelf resources]*, 23, pp. 40-46. (in Russian)
13. Il'in, Yu.P. et al. (2012). *Gidrometeorologicheskie usloviya morey Ukrainy [Hydrometeorological conditions of the seas of Ukraine]*. Vol. 2: Chornoe more [Black Sea]. Sevastopol. (in Russ.)

## REFERENCES

1. Al'tman, E.N., Gertman, I.F. & Golubeva, Z.A. (1987). Klimaticheskie polya solenosti i temperatury vody Chernogo morya [Climatic fields of salinity and water temperature of the Black Sea]. Sevastopol: SB SOGI. (in Russ.)
2. Loeva, I.D., Orlova, I.G., Pavlenko, M.Yu. & Ukrainskiy, V.V. (eds). (2008). *Hidrolohichni ta hidrohimični pokaznyky stanu pivnichno-zahidnoho shelfu Chornoho moria: dovidkovyi posibnyk [Hydrological and hydrochemical indicators of the status of the Black Sea's northwest shelf: reference guide]*. Kyiv: KNT. (in Ukr.)
3. Popov, Yu.I. & Ruban, I.G. (2015). Polya solonosti pivnichno-zakhidnoi chastyny Chornoho moria (1955–2005 rr.): dovidkovyi posibnyk [Salinity fields of the northwestern part of the Black Sea (1955-2005): reference book]. Odesa: TES. (in Ukr.)
4. Matygin, A.S., Sytov, V.N., Popov, Yu.I. et al. (2013). Izmenchivost' klimaticheskikh kharakteristik morskikh vod v severo-zapadnoy chasti Chernogo morya [The variability of the climatic characteristics of marine waters in the northwestern part of the Black Sea]. *Vestnik Gidrometeocentra Chernogo i Azovskogo morei [Bulletin of the Hydrometeocentre of the Black and Azov Seas]*, 2(16), pp. 97-105. (in Russ.)
5. State Oceanographic Institute, Sevastopol Branch. (1990). *Katalog nablyudeniy nad urovnem Chernogo i Azovskogo morey. Gosudarstvennyy komitet po gidrometeorologii [Catalog of observations on the level of the Black and Azov*

## TENDENCIES OF LONG-TERM CHANGES OF TEMPERATURE FIELDS, SALINITY AND WATER LEVEL OF THE NORTH-WESTERN PART OF THE BLACK SEA

N. Berlinsky, R. Gavriluk,

O. Danilenko

Odessa State Environmental University,

15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine,

nberlinsky@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4576-4958>

The paper analyzes the variability of hydrological characteristics of the North-Western part of the Black for different temporal scales: long-term, seasonal and synoptic. The traditional methods

of geographic investigations, such as comparative-geographic, retrospective and cartographic methods, were used. When analyzing sea level data packages and thermohaline characteristics mathematical methods, including statistical, correlation and regression analysis, were used.

As a result of the conducted research quantitative estimates of tendencies of long-term changes of the thermohaline characteristics and level in the North-Western part of the Black Sea were received.

Over the period of 1982-2005 an increase of water temperature in the North-Western part of the Black Sea was observed: in winter water temperature in the surface layer increased by 2°C, in the bottom layer – by more than 2°C. Over the period of 1990-2005 an increase of an average annual water temperature in Odesa area constituted 1,2°C. The most considerable and statistically significant temperature increase took place during the summer hydrological season: an average summer temperature increased during this period by 2,7°C. During transitional seasons (autumn and spring) there was also a tendency of temperature increase, however, statistically significant trend was observed only during the autumn period.

There is a statistically significant negative trend observed for long-term changes of salinity. For the period of 1990-2005 an average annual salinity decreased by 1.36 ‰. A tendency of salinity decrease was observed for all seasons of the year, however, statistically significant trends are observed only in winter and summer. A close relationship between long-term changes in water salinity and runoff of the Dnieper River was also established.

A sea level rise is observed at all stations of the North-Western part of the Black Sea. Over the period of 1947-2012 an average annual sea level in Odesa increased by 14 cm. An analysis of climatic changes of wind-induced sea level fluctuations showed that the frequency of surges of varying intensity remained almost unchanged, however, the frequency of sweeps changed significantly. Over the period of 1980-2012, as opposed to the period of 1947-1979, the frequency of minor sweeps (no more than 30 cm) increased, and the frequency of significant (more than 30 cm) and very significant (more than 50 cm) sweeps, on the contrary, decreased by about 5%-6%. Changes of wind-induced sea level fluctuations' character harmonize with wind direction and wind speed over the North-Western part of the Black Sea.

**Keywords:** North-Western part of the Black Sea, temporal variability of temperature, salinity and sea level, wind-induced sea level fluctuations.

## **ТЕНДЕНЦИИ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, СОЛЕНОСТИ И УРОВНЯ ВОДЫ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

**Н. А. Берлинский, Р. В. Гаврилюк,**

**А. О. Даниленко**

*Одесский государственный экологический университет,  
ул. Львовская, 15, Одесса, 65016, Украина,  
nberlinsky@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4576-4958>*

Выполнен анализ изменчивости гидрологических характеристик в северо-западной части Черного моря для разных временных масштабов – многолетних, сезонных и синоптических. Использовались традиционные методы географических исследований – сравнительно-географический, ретроспективный и картографический. При анализе массивов данных по уровню моря и термогалинным характеристикам применялись математические методы – статистический, корреляционный и регрессионный анализ.

За период 1982-2005 гг. в северо-западной части Черного моря наблюдается повышение температуры воды: в поверхностном слое в зимний период года температура повысилась на 2°C, а в придонном – более, чем на 3°C. В Одесском районе за период 1990-2005 гг. повышение средней годовой температуры воды составило 1,2°C. Наиболее существенное и статистически значимое повышение температуры происходило в летний гидрологический сезон: средняя летняя температура воды повысилась за этот период на 2,7 °C. В переходные сезоны (осенью и весной) также наблюдается тенденция повышения температуры, однако

статистически значимый тренд отмечается только в осенний период.

В многолетних изменениях солености воды наблюдается статистически значимый отрицательный тренд. За период 1990-2005 гг. средняя годовая соленость воды снизилась на 1,36 ‰. Тенденция снижения солености наблюдалась во все сезоны года, однако статистически значимые тренды отмечаются только в зимний и летний сезоны. На всех станциях северо-западной части Черного моря наблюдается повышение уровня моря. За период 1947-2012 гг. средний годовой уровень моря в районе Одессы повысился на 14 см. Анализ климатических изменений характера сгонно-нагонных колебаний уровня моря показал, что повторяемость нагонов разной интенсивности практически не изменилась, а в повторяемости сгонов произошли существенные изменения. За период 1980-2012 гг. по сравнению с периодом 1947-1979 гг. повторяемость незначительных сгонов (не более 30 см) увеличилась, а значительных (более 30 см) и очень значительных (более 50 см) – наоборот снизилась примерно на 5%-6%. Изменения характера сгонно-нагонных колебаний уровня хорошо согласуются с климатическими изменениями направлений и скорости ветра над северо-западной частью Черного моря.

**Ключевые слова:** северо-западная часть Черного моря, временная изменчивость температуры, солености и уровня моря, сгонно-нагонные колебания.

*Подання до редакції : 12. 10. 2018*

*Надходження остаточної версії : 23. 04. 2019*

*Публікація статті : 30. 05. 2019*