

## ФІЗИЧНА ГЕОГРАФІЯ

УДК 551.465

DOI: 10.18524/2303–9914.2024.1(44).305390

**Р. Р. Белевич**, к. геогр.н., старший науковий співробітник

**О. Р. Андріанова**, доктор. геогр. наук, провідний науковий співробітник

**О. А. Батирев**, к.ф.-м. наук, старший науковий співробітник

Державна установа «Інститут ринку і економіко-екологічних досліджень  
НАН України»

Французький бул., 29, Одеса, 65044

dr.olga.andr@gmail.com

### ОСОБЛИВОСТІ МЕРИДІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ І ЧАСОВОЇ МІНЛИВОСТІ ПОВЕРХНЕВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ТА СОЛОНОСТІ ВОДИ У ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО МОРЯ У 1998–2000 РОКАХ

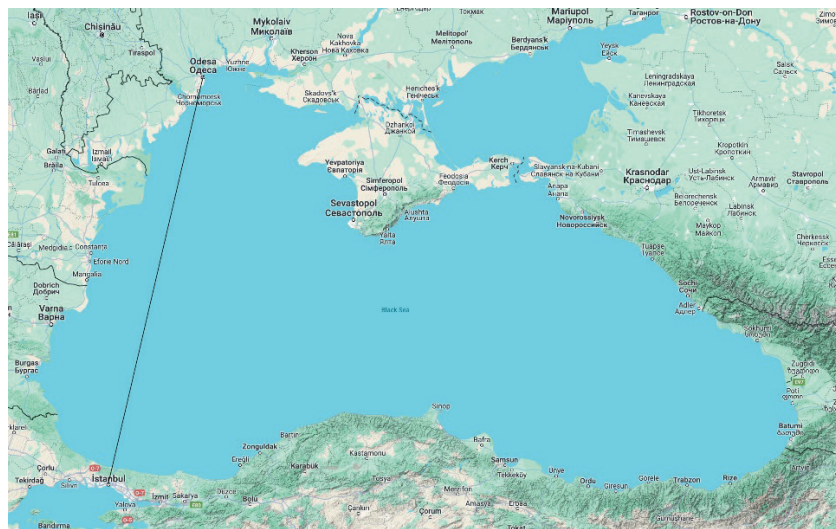
За розрахованими середньомісячними значеннями температури та солоності поверхневого шару води на квазімеридіональному маршруті від п.Одеса до протоки Босфор за 1998–2000 роки оцінено їх просторово-часову мінливість. У широтному розподілі термохалінних характеристик відзначено різницю між північною та південною частинами західної половини Чорного моря. Отримана зворотна залежність між коливаннями солоності та витрат Дунаю (максимум між 44.5 і 45.5°пн.ш. при запізнюванні витрат на 1 місяць). На маршруті між 42° і 44°пн.ш. виділено регіон, який зберігає протягом року свої характеристики, набуті у період осінньо-зимової конвекції. Також за розподілом солоності на маршруті виділено 4 регіони, в яких представлено фронтальні та градієнтні зони: Прибосфорський (між 41,25 і 42,0°пн.ш.), район відкритої частини моря (між 44 і 45°пн.ш.), Дністровський (між 45–46°пн.ш.) та Дніпробузький (між 46 і 46,5°пн. ш.).

**Ключові слова:** Чорне море, температура, солоність, екстремуми, градієнтні зони, міжрічна мінливість, сезонні коливання.

### ВСТУП

Потепління клімату нашої планети і зміни окремих його компонентів нині змушує уважніше стежити за розвитком процесів та явищ у природі. Оцінка термохалінних параметрів морського середовища є одним з найбільш доступних показників мінливості процесів та визначення тенденцій їх розвитку. Використання спостережень над температурою та солоністю поверхневого шару води, отриманих шляхом їх безперервної реєстрації з борту спеціально обладнаного судна, дозволяють отримати детальну картину статистичної мінливості вздовж напрямку руху та характеристики структур, що зустрічаються на

шляху. Безперервна реєстрація розподілу температури й тем більше солоності поверхневого шару води в морі є прогресом у розвитку сучасної океанології в порівнянні з існуючими точковими вимірами, які потребують зупинки судна, та дає можливість більш надійного визначення районів з різкими перепадами характеристик (фронтів) тощо. Такі океанографічні дослідження щодо безперервної реєстрації термohалінних характеристик приповерхневого шару морської води були виконані у західній частині Чорного моря з 1998 по 2000 рік в УкрНЦЕМ на НДС "Георгій Ушаков" за маршрутом п. Одеса – п. Стамбул – п. Одеса (рис. 1).



*Рис. 1. Схема маршруту Одеса – Босфор у 1998–2000 роках з безперервною реєстрацією температури та солоності поверхневого шару морської води.*

Особливістю західної частини Чорного моря є присутність у його північно-західній частині (ПнЗЧМ) великого мілководного шельфу з максимальними глибинами до 150 м, тоді як на всій іншій акваторії моря прибережний шельф практично відсутній та відразу за береговим зхилом спостерігаються великі глибини до 1000 м, а подекуди й до 1500 м. Південну частину аналізованого регіону, що характеризується вже більшими глибинами, займає периферія великомасштабного циклонічного кругообігу західної половини Чорного моря. Також важливою особливістю ПнЗЧМ є зосередження гирл одразу чотирьох річок, що впадають у море (поблизу м. Одеси): це Дунай, Дністер та Дніпро з Південним Бугом. Відстань від м. Одеса до гирл всіх вищезгаданих річок не перевищує 150 км. Середньорічна багаторічна витрата води згаданих вище річок складає: Дунай 227 км<sup>3</sup> на рік, Дніпро 46 км<sup>3</sup> на рік, Дністер 10,2 км<sup>3</sup> на рік та Південний Буг 3,6 км<sup>3</sup> на рік. Оскільки Дунай є найбільш багатоводною

річкою Європи, слід очікувати, що найактивніший вплив на зміни температури і солоності поверхневих вод ПнЗЧМ надає саме стік цієї річки.

Важливо, що повені річок зазвичай весняні – (березень – травень), а межені – осінні (вересень – листопад). При цьому раніше відзначалось (Андріанова та ін. 2021) про епізодичну появу у Дніпра та Дунаю вторинних осінніх паводків та помітне зниження обсягів стоку вод усіх цих рік у зв'язку з потеплінням клімату на нашій планеті. Таке велике щорічне надходження (до 287 км<sup>3</sup> на рік) прісних і холодних річкових вод в ПнЗЧМ істотно впливає на особливості просторового розподілу та часову мінливість аналізованих характеристик температури і солоності поверхневих вод у цьому регіоні моря. Невелике позитивне збільшення в цьому процесі для всього моря в цілому дає також стік гірських річок Кавказу з літньою повинню вод (близько 37 км<sup>3</sup> на рік), невелика притока прісних вод надходить від річок турецького узбережжя (близько 17 км<sup>3</sup> на рік), а також поступають менш солоні води із Азовського моря (з прісним балансом 16,6 км<sup>3</sup> на рік) (Суховій, 1986). Все це разом і визначає Чорне море як басейн з прісним балансом. Слід звернути увагу на зауваження авторів статей (Богданова, 1972, Горячкін, Іванов, 2006), які вивчали коливання рівня в протоці Босфор і показали, що на кінцях протоки спостерігається помітна різниця висот рівня між Чорним та Мармуровим морями, яка відповідно до їх розрахунків, в середньому 44 см, а між сезонними коливаннями від 60 см у червні до 24 см у жовтні. Вважається, що ця різниця зумовлена надлишковим надходженням у Чорне море вод із річковим стоком та зниженим (порівняно із Середземним морем) випаром з поверхні.

Метою нашого дослідження є оцінка особливостей розподілу температури і солоності поверхневих вод вздовж меридіану та їх часової мінливості у західній частині Чорного моря у 1998–2000 роках на всьому протязі маршруту від порту Одеса до протоки Босфор.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основою для проведення цих досліджень стали дані безперервної реєстрації температури та солоності поверхневого шару морської води, отримані на ходу судна протягом 172 комерційних рейсів за маршрутом Одеса-Стамбул-Одеса (рис. 1) протягом 30 місяців (з 3.05.1998 р. по 25.10.2000 р.) науково-дослідним судном «Георгій Ушаков», яке було обладнане стаціонарною системою безперервної реєстрації термохалінних параметрів. Ця система була реалізована на базі зонduючого STD – комплексу «Катран», а суть її полягала у наступному: первинні вимірювальні перетворювачі температури та питомої електропровідності (солоності) морської води (датчики) зонduючого комплексу були встановлені у вхідному кінгстоні заборотної води судна, що використовується для охолодження головного двигуна. Отвір системи був розташований у борту судна на глибині 2–3 метри від поверхні моря. Інформація від датчиків опускного пристрою, розміщених у кінгстоні, оброблялася бортовим блоком комплексу

в лабораторії та зберігалася у вигляді ряду координат та поточних параметрів у фізичних величинах (Попов Ю.І. та ін., 2016).

Для отримання середньомісячних та середньорічних величин та оцінок сезонної мінливості було проведено опосередкування за місяцями результатів реєстрації даних температури та солоності води на поверхні (172 зйомок) проведених з дискретністю 4–6 діб на квазімеридіональному маршруті п. Одеса-протока Босфор (туди – курс 193, назад – курс 13). Аналіз результатів цих досліджень на ділянці «протока Босфор та її чорноморський шельф» було проведено нами раніше (Андріанова та ін. 2019).

При місячному осередненні узагальнювалося, як правило, 5–6 зйомок (до 7–9 зйомок на місяць). Проте за аналізований період із 3 травня 1998 р. до 25 жовтня 2000 р. у п'яти випадках мали місце пропуски у спостереженнях більше одного місяця (від 32 до 42 днів) та у трьох випадках більше 20 днів (25–26 днів). Пропуски в спостереженнях (зйомках) пов'язані з необхідністю проведення профілактичного ремонту судна. Питання з пропусками вирішувалося шляхом розрахунку середніх із даних останньої до пропуску та першої після пропуску зйомки. Відсутні спостереження за місяцями були замінені їх середніми величинами, як це застосовується у гідрометеорологічній практиці. У нашому випадку пропущені дані щодо температури та солоності поверхневого шару води за листопад-грудень 2000 р. були замінені середніми значеннями їх, обчисленими за відповідні місяці 1998 та 1999 рр. Аналогічна операція проведення таких розрахунків була застосована й для відновлення відсутніх у 1998 р. січня-квітня місяців за відповідними місяцями 1999 та 2000 років. В результаті аналізувався трьохрічний ряд за 1998–2000 роки.

На первинному етапі обробки матеріалів безперервної реєстрації параметрів температури та солоності поверхневого шару чорноморської води на кожному галсі з хвилинною дискретністю спостережень на переході від п. Одеса (46,5° пн.ш.) до протоки Босфор (41,25° пн.ш.) отримано близько 1500 (1400–1600, залежно від швидкості ходу судна) значень температури поверхневого шару морської води та відповідних даних солоності, при відстані між цими пунктами приблизно 600 км. Для зручності аналізу було проведено згладжування та опосередкування даних спостережень з точністю до 0,05° широти, що відповідає приблизно 5500 м. Таким чином, аналізований нами маршрут від п. Одеси до протоки Босфор представлений 105 точками, рівномірно розподіленими на всьому маршруті.

Для порівняння використовувався сучасний електронний кліматичний масив термохалінних характеристик вод Чорного моря, створений у 2021 році для періоду 1991–2020 років (Попов, 2021), представлений значеннями температури та солоності води з дискретністю по глибині 10 м (до 500 м) та для кожного місяця за часом. Узагальнення матеріалів проведено 32014 океанографічними станціями, виконаними переважно зондуючим комплексом під час судових спостережень та доповненими даними зондів профілактометрів «Арго». Дані внесені до вузлів квадратів 40x60 миль на акваторії моря.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Розрахунки характеристик термохалінної мінливості поверхневих вод за маршрутом від п. Одеси до протоки Босфор представлені на рисунку 2.

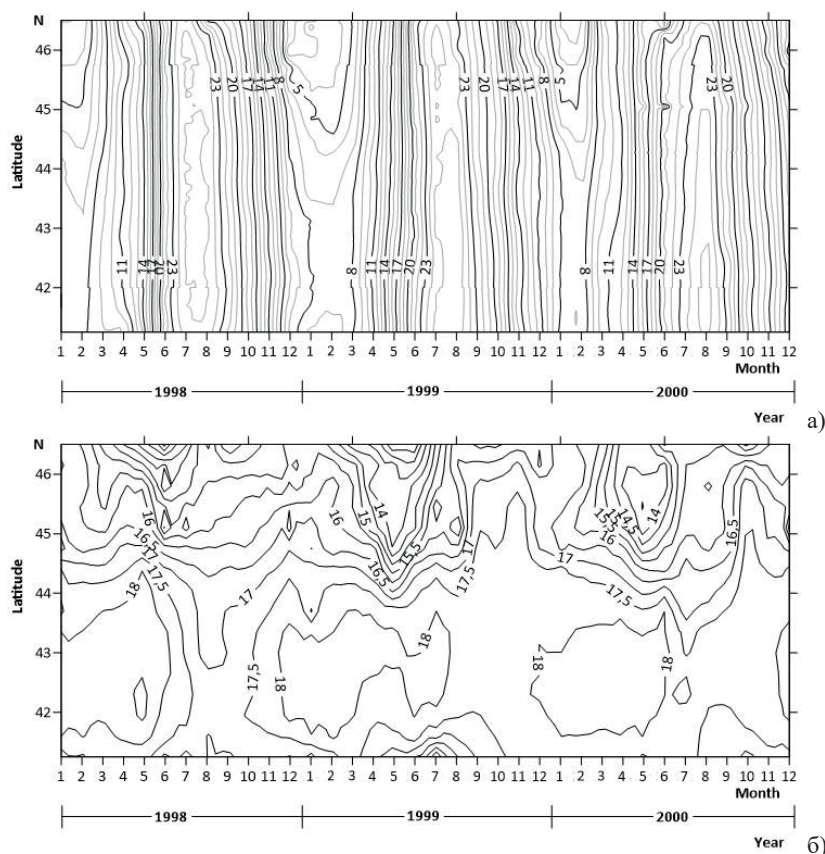


Рис. 2. Розподіл середньомісячної температури (а) та солоності (б) поверхневих вод за маршрутом Одеса – Босфор у 1998–2000 роках.

У внутрішньорічних змінах температури поверхневого шару води (ТПШВ) виділяється область сильного зимового вихолодження на північно-західному шельфі моря нижче 5 °С від 45°пн.ш. та північніше до 1–2 °С на 46,5°пн.ш. (рис. 2а). На решті всього розрізу максимальне зимове вихолодження вод поверхневого шару не має сильних широтних змін і припадає на період з січня по березень (<8 °С). Перехідний весняний кліматичний період спостерігається вздовж розрізу майже синхронно та охоплює часовий період із середини квітня до середини червня. Максимальний прогрів ТПШВ (понад 23,0 °С) відзначається з середини липня до середини серпня. Осінній перехідний період більш

розтягнутий у часі для основної частини розрізу – з початку жовтня до середини грудня (рис. 2а). У найпівнічніших областях шельфу вихолодження починається майже на місяць раніше вищевказаних термінів.

Відомості про особливості часової мінливості температури та солоності поверхневого шару води на аналізованому маршруті зведено в таблицях 1 і 2. У таблиці 1 наведено середньорічні значення ТПШВ, отримані при широтно-осередненні даних на всьому протязі маршруту від північного узбережжя (46,5°пн.ш.) до південного (41,25°пн.ш.) для кожного року, а також їх внутрішньорічні екстремуми (min та max) із зазначенням часу (місяця) їх настання. Найтеплішим виявився 1999 р. з ТПШВ рівною 15,0 °С; у 2000 р. ТПШВ складала 14,8 °С, а в найбільш холодний 1998 р. ТПШВ – 14,7 °С (табл. 1).

Таблиця 1

**Середньорічні значення температури та солоності поверхневого шару води, а також екстремальні значення та час їх настання, осереднені на маршруті за роками**

Роки	Температура					Солоність				
	Сер. річ	min	міс	max	міс	Сер. річ	min	міс	max	міс
1998	14,73	6,01	02	25,05	07	16,90	16,27	08	17,39	02
1999	14,97	5,70	02	25,13	08	17,08	15,95	05	17,79	11
2000	14,83	5,90	02	24,58	08	16,97	16,30	05	17,46	01
<b>Сер.за 3р.</b>	<b>14,84</b>					<b>16,98</b>				

Узагальнені відомості про середньорічні значення ТПШВ та її внутрішньорічні екстремуми, обчислені за трьома роками для окремо взятих реперних широт по 46,5°пн.ш. (початок маршруту), по 41,25°пн.ш. (кінець маршруту) та по 41,5°пн.ш. представлені в таблиці 2. Дані в точці 41,5°пн.ш. розглянуті для перевірки репрезентативності та надійності кінцевої південної реперної точки маршруту (41,25°пн.ш. біля входу в протоку Босфор). Оскільки поблизу протоки Босфор вздовж турецького узбережжя проходить вузькою смугою прибережна течія зі зниженою солоністю (Андріанова та ін., 2019), нами була обрана третя точка на 41,5°пн.ш., що розташовується на 0,25° (або на 15 миль) на північ та дозволяє уникнути попадання в цю зону. Відмінності у значеннях ТПШВ за даними, осередненими за три роки (таблиця 2), на широтах 41,25°пн.ш. (15,37°С) та 41,5°пн.ш. (15,7°С) не перевищували 0,23°С, із чого можна зробити висновок, що прибережна вздовж берегова течія в районі протоки не виділялася зниженою температурою.

Таблиця 2

**Середньорічні значення температури та солоності поверхневого шару води,  
а також екстремальні значення та час їх настання для окремих  
районів за роками.**

Роки	Район (пн.ш.)	Температура					Солоність				
		Сер.річ	min	міс	max	міс	Сер.річ	min	міс	max	міс
1998	46.5	12,89	2,60	01	25,34	07	14,25	11,28	6	16,30	1
	41.5	15,38	7,91	02	24,92	08	17,48	16,98	8	18,00	2
	41.25	14,93	6,92	01	24,54	08	16,90	16,27	8	17,30	1–2
1999	46.5	13,09	2,35	01	24,33	07	14,42	11,90	6	16,19	12
	41.5	15,91	7,01	02	25,73	08	17,48	16,92	7–8	18,00	2
	41.25	15,80	6,04	02	25,73	08	17,08	15,95	5	17,83	11
2000	46.5	12,17	2,54	02	21,46	08	15,36	14,08	5	17,21	1
	41.5	15,78	7,10	02	25,37	08	17,66	17,03	8	17,97	1
	41.25	15,67	7,09	02	25,25	08	17,02	16,30	5	17,51	10

На рисунку 3 наведено часовий хід середньомісячних значень температури та солоності ПШВ за три роки на початковій (46,5°пн.ш.) та кінцевій (41,25°пн.ш.) точках маршруту, тобто біля одеського та турецького узбережжя. У часовому ході ТПШВ на північній та південній границях моря (рис. 3а) відзначається синхронне зростання під час весняно-літнього прогріву вод (лютий-серпень) та асинхронне зниження під час охолодження вод (вересень-січень). Тобто, крива, що характеризує хід температури води біля північного узбережжя (46,5°пн.ш.), протягом кожного року досягнувши у серпні максимуму, відразу ж різко повертає свій хід до охолодження.

При цьому крива, що відноситься до південного узбережжя (41,25°пн.ш.), або деякий час залишається на рівні максимуму температури (1998 р.), або продовжує ще дещо зростати (на 1,5°C у 1999 р. та до 3,3°C у 2000 р.), уповільнюючи таким чином час свого осіннього зниження температури на 1–1,5 місяця, після чого відбувається її опускання до свого мінімуму паралельно ходу кривої 46,5°пн.ш. із зазначеним зсувом (рис. 3а).

Внутрішньорічні зміни термохалінних параметрів поверхневого шару води осереднені вздовж маршруту порт Одеса – протока Босфор у період 1998–2000 років представлено на рисунку 4 порівняно з кліматичним сезонним ходом (за 1991–2020 роки). Сезонні зміни температури 1998–2000 років практично повністю відповідають середнім кліматичним умовам (Попов, 2021) (рис. 4а). Слід зазначити більш ранній наступ зимових умов у 1999 році та

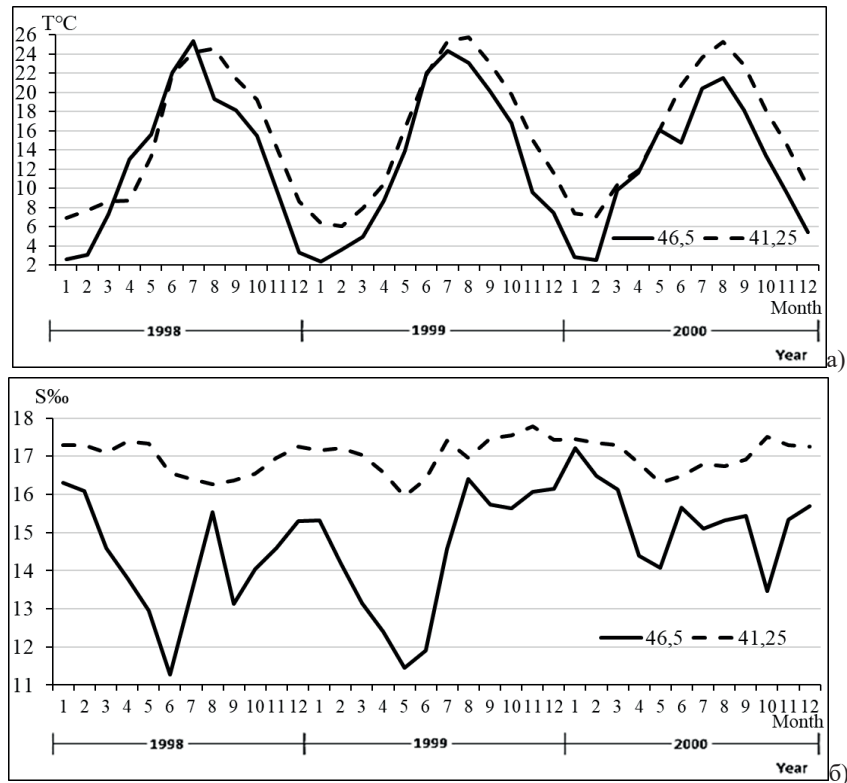


Рис. 3. Внутрішньорічні зміни температури (а) та солоності (б) поверхневого шару води для окремих районів маршруту Одеса – Босфор у 1998–2000 роках.

наявність червневого максимуму теплового стану з десятиденним міжрічним змищенням та підвищеними значеннями температури вод ( $>24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) у 1998 та 1999 роках. Літній період 1999 р. був найтеплішим за три роки (рис. 4а).

В особливостях меридіонального розподілу солоності поверхневих вод уздовж маршруту протягом 3-х років з січня 1998 р. по грудень 2000 р. (рис. 2б) слід відзначити три осередка зі зниженими значеннями (менше  $12\text{‰}$ ), які розташовані біля північного узбережжя та відповідають весняним періодам повені кожного року (мінімальні середньомісячні величини склали в них відповідно  $11,28\text{‰}$  у червні 1998 р.,  $11,94\text{‰}$  у червні 1999 р. та  $14,1\text{‰}$  у травні 2000 р.). На південь на нижніх двох третинах меридіонального розрізу добре простежуються три осередка високої солоності, які окреслюються ізохаліною  $18\text{‰}$  і відповідають кожному року (рис. 2б). При цьому осередок високої солоності в 1998 році має навіть ізохаліну  $18,5\text{‰}$  (відповідно води мають солоність близько  $18,6\text{‰}$ ).

У районі інтенсивної взаємодії та перемішування вод Чорного моря з трансформованими водами річкового стоку, солоність поверхневого шару води є найважливішою фізичною характеристикою. Сезонний розподіл солоності



осередненої за ці роки за маршрутом Одеса – Босфор був нижчим за кліматичну норму (рис. 4б). Середньорічні значення солоності поверхневого шару моря взимку (у період зменшення стоку річок) зростають до 18,15‰, а влітку знижуються приблизно на 0,5‰ і перебувають на рівні 17,5–17,65‰, згідно (Суховій, 1986) у період 1951–1980 років. У нинішніх умовах потепління клімату та помітного зниження стоку рік (рис. 4в) середньорічні значення солоності відкритого моря виявляються вищими.

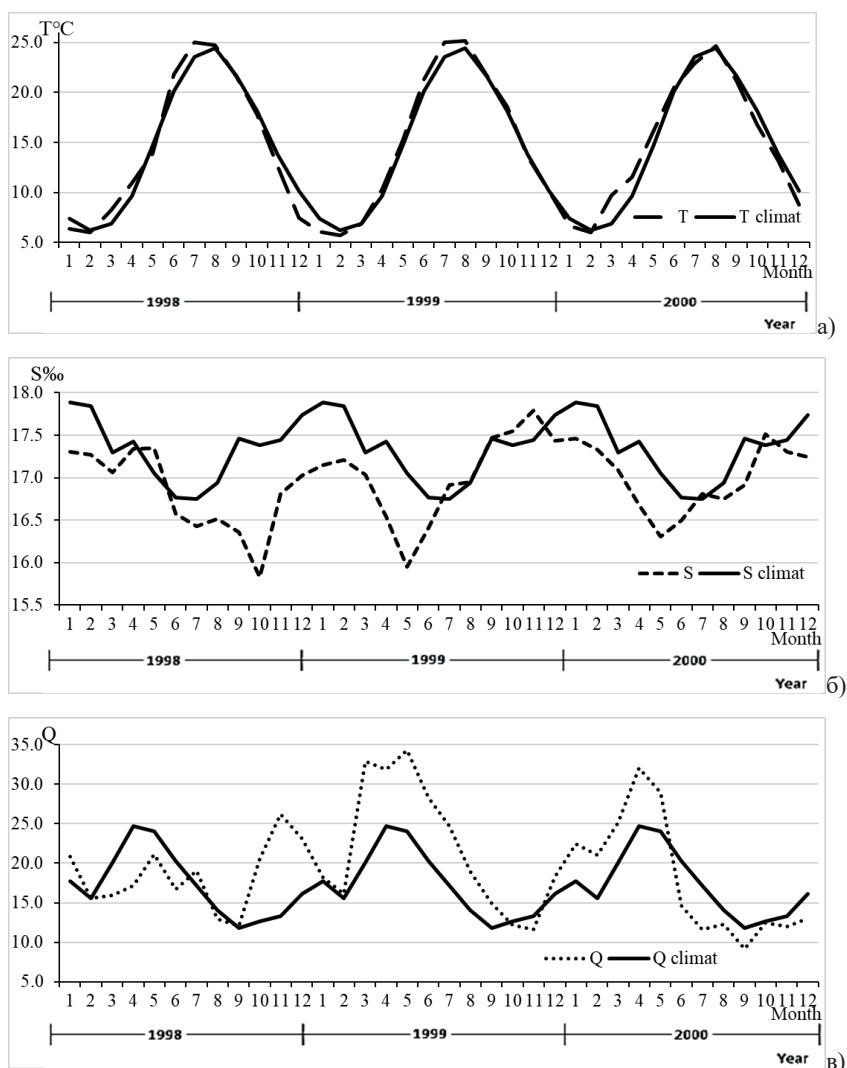


Рис. 4. Внутрішньорічні зміни температури (а) та солоності (б) поверхневого шару води у 1998–2000 роках осереднені за маршрутом Одеса – Босфор та відповідні витрати Дунаю (в) у порівнянні з кліматичним ходом за 1991–2020 роки.

Для отримання більш точної інформації про часову мінливість солоності поверхневого шару вод моря на маршруті протягом 1998–2000 років було проведено додаткові розрахунки, а узагальнення наведено в таблицях 1 та 2. Зазначимо, що середня солоність поверхневого шару вод за 1998–2000 роки дорівнює 17‰ з невеликими річними коливаннями 16,9–17,1‰; мінімальні середньомісячні значення спостерігалися у 1999 та 2000 роках у травні, у 1998 році у серпні та коливалися в межах 16,0–16,3‰; максимальні – у січні, лютому та листопаді, відповідно, 2000, 1999 та 1998 років та коливалися в межах 17,4–17,8‰. Середньорічні величини солоності за цей період на фіксованих широтах 46,5° пн.ш., 41,25° пн.ш. та 41,5° пн.ш. (рис. 3б) характеризувались значеннями 14,68, 17,0 і 17,5‰, амплітуди річної мінливості у турецького узбережжя не перевищували 0,88–1,0‰, а біля північного узбережжя (46,5° пн.ш.) досягали 2,8‰. Для порівняння на рисунку 4в представлений також середньомісячний часовий хід води Дунаю в 1998–2000 роках у порівнянні з кліматичним ходом за 1991–2020 роки. З порівняння кривих середньомісячної солоності води (рис. 4б) і витрат Дунаю (рис. 4в) відзначається протифазний характер їх часових коливань: підвищеному паводковому стоку річки Дунай (травень) відповідає знижена солоність у період й навпаки зниженому (в межень) стоку Дунаю (вересень-листопад) відповідає підвищена солоність вод.

Проведені розрахунки з оцінки зв'язку між солоністю вод поверхневого шару Чорного моря на маршруті та стоком Дунаю представлено в таблиці 3.

Таблиця 3

**Коефіцієнти кореляції між значеннями солоності поверхневого шару вод Чорного моря на маршруті та витрати Дунаю у 1998–2000 роках**

широта \ зсув	корел	корел 1 міс	корел 2 міс
46.5	-0.41	-0.30	-0.22
45.5–45	-0.60	-0.73	-0.51
45–44.5	-0.56	-0.70	-0.52
44.5–43.5	-0.07	-0.22	-0.31
43.5–42.5	-0.42	-0.31	-0.15
41.25	-0.31	-0.44	-0.36

Розраховані коефіцієнти кореляції для різних ділянок маршруту моніторингу від п. Одеси до протоки Босфор показали наявність найтіснішого зворотного зв'язку (із запізненням солоності на 1 місяць) на ділянці від 45,5° пн.ш. до 44,5° пн.ш. (табл. 3). Це вказує на положення основної маси розпріснених вод, які утворюються в процесі трансформації вод стоку з річки Дунай й потрапляють на ПНЗЧ моря (табл. 3).

Для оцінки характеру розвитку процесів перемішування та формування фронтальних або градієнтних зон внаслідок зустрічі морських вод із водами річкового стоку, що надійшли до ПНЗЧМ, проаналізовано детальні особливості просторового розподілу та сезонної мінливості солоності поверхневого шару води. На рисунку 5 наведено розподіл солоності кожного місяця 1999 року на маршруті від Одеси до протоки Босфор через  $0,05^\circ$  широти на горизонтальній шкалі. Графіки рознесено по вертикалі для можливості порівняння, значення  $18\text{‰}$  для кожного місяця показано на вертикальній шкалі ліворуч, а праворуч розташована шкала, яка відповідає січню та може застосовуватися для інших місяців, оскільки масштаб збігається (рис. 5). По ходу цих кривих відзначимо існування для всіх 12 місяців майже лінійної ділянки у розподілі солоності зі значенням близько  $18\text{‰}$  (розкид не більше  $0,37\text{‰}$ ), яка виділяється загальними рисами (рис. 5). Ця ділянка в середньому розташована між  $42^\circ$  і  $43,9^\circ$  пн.ш. та умовно названа «шапкою». Решта, велика частина аналізованого маршруту, на північ (між  $46,5^\circ$  і  $44^\circ$  пн.ш.) стала зоною прямої динамічної та вітро-хвильової взаємодії морських вод з прісними водами річкового стоку, що надійшли на шельф в ПНЗЧМ. Область моря, розташована на південь від «шапки» (від  $42^\circ$  до  $41,25^\circ$  пн.ш.), це зона непрямого перемішування вже досить осолонених вод

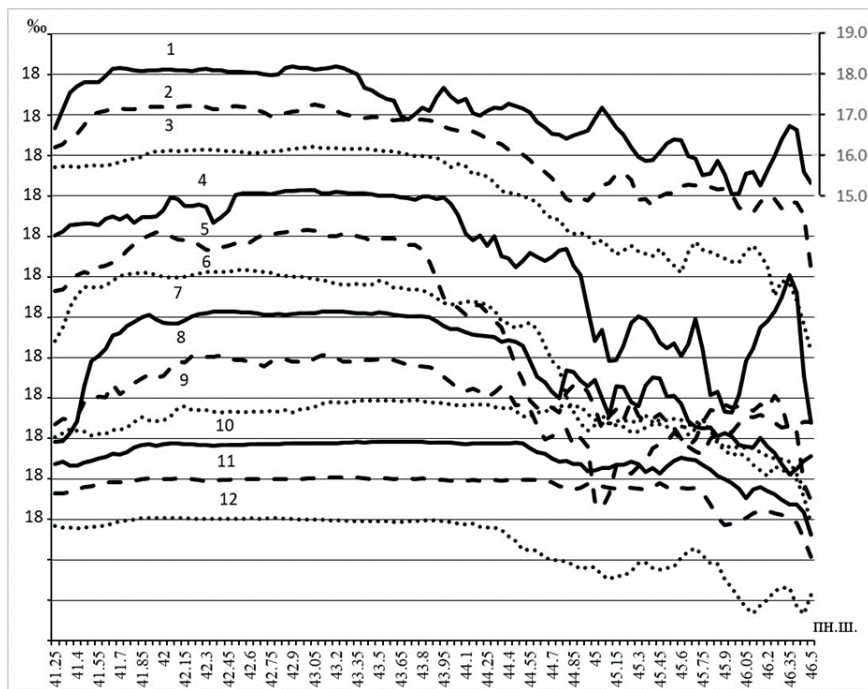


Рис. 5. Розподіл по широті солоності поверхневих вод за маршрутом Одеса – Босфор для кожного місяця 1999 року (ліва вісь на  $18\text{‰}$  прив'язана до кожного місяця, а права показана для січня).

(17,2‰) прибережної Румелійської течії. Розрахунки показали, що солоність поверхневого шару води, з урахуванням перемішування, опустилася на півночі (46,5° пн.ш.) до 14,3‰, а біля турецького узбережжя (41,25° пн.ш.) – до 16,6‰ (в результаті змішування вод прибережної течії з поверхневими водами). При цьому на південній границі «шапки» – 42,0° пн.ш. солоність дорівнювала 18‰, а на північній 43,98° пн.ш. – 17,81‰. Тобто процесу перемішування вод піддається 62% акваторії маршруту. Коливання солоності поверхневого шару води в «шапці» протягом усіх 12 місяців перебували в межах близьких до 18‰ (від 18,15‰ у лютому до 17,79‰ у вересні). Такі невеликі зміни поверхневої солоності води визначаються відсутністю в цьому районі всіх інших впливів окрім процесу осінньо-зимової конвекції, яка є властивою для всього моря.

Відомо (Суховій, 1986), що в Чорному морі в осінньо-зимовий період температура повітря знижується до 0°C й нижче, а температура поверхневого шару води у відкритому морі опускається до 6–7 °C, в північно-західній частині – до 3 °C, а біля узбережжя – до 2,4 °C (табл. 2) та нижче. В цей час конвективне перемішування вод охоплює шар моря товщиною до 50–60 м із збільшенням у прибережній зоні. Солоність поверхневого шару води після конвективного перемішування трохи зростає і стає близькою до її значення на нижній границі шару перемішування. Розпріснені води північно-західного шельфу не доходять до поверхневих вод у турецького узбережжя, тому на ділянці маршруту приблизно між 42° і 43,5–44° пн.ш. вони зберігаються більшу частину року не зміненими. Тобто води, які отримали своє оновлення солоності у процесі конвекції в осінньо-зимовий період, зберігають її значення незмінними протягом всього залишку року. Середньомісячна температура поверхневого шару води у зоні «шапки» відповідає кліматичному розподілу (табл. 2): мінімум відзначався взимку і складав в лютому 7,2 °C, біля турецького узбережжя в холодному прибережному потоці навіть до 6 °C. Влітку у серпні температура досягала 25,45 °C.

У зональному положенні «шапки» встановлено меридіональний зсув її на північ приблизно з піврічною циклічністю (у квітні та серпні-вересні) як частково за рахунок меридіонального зсуву на північ, так і за рахунок зменшення своєї зональної протяжності.

Найбільш інтенсивне перемішування поверхневих вод відбувається в зоні соленосних фронтів на поверхні моря (стику найбільш солоних з найбільш розпрісненими водами). Розподіл солоності по місяцях протягом усього маршруту від протоки Босфор до Одеси (рис. 5) дозволяє відстежити наявність фронтальних розділів та оцінити їх інтенсивність. Для цього було розраховано градієнти солоності по ходу кривих її розподілу для всіх місяців 1999 року на маршруті (рис. 5). Аналіз розрахунку їх положення показав чітку приуроченість до чотирьох регіонів, для яких далі оцінено характер розвитку процесів перемішування та формування градієнтних чи фронтальних зон солоності в поверхневих водах.

Перший, Прибосфорський регіон, розміщувався між  $41,25^{\circ}$ пн.ш. та  $42^{\circ}$ пн.ш. у турецького узбережжя і розрахунки показали, що за 5 випадками градієнт солоності становив  $3,7\%$  на  $1^{\circ}$  широти, а його коливання перебували у межах від  $1,6$  до  $6,4\%$  на  $1^{\circ}$  широти. Середня солоність води в цьому випадку дорівнювала  $17,2\%$ , а середнє положення  $41,84^{\circ}$ пн.ш. Вздовж північного узбережжя Туреччини, згідно з гіпотезою (Суховій, 1986), існує поверхневий потік вод із заходу на схід шириною не більше 10 миль, який сформувався біля західного узбережжя моря, під назвою Румелійська течія. Поштовхом до появи цієї течії є надходження в ПНЗЧМ величезних обсягів річкових вод та домінування протягом усього року над акваторією західної частини моря стійких вітрів північно-східних румбів. Ця дрейфова течія починається у північно-західній частині моря від Тендровської коси, а потім рухається на південь, захопивши на шляху основну частину прісних вод дніпробузького, дністровського та дунайського річкового стоку (Суховій, 1986). Таким чином, просуваючись вздовж західного узбережжя Чорного моря біля турецького узбережжя, ця течія формує прибережний потік вод під тією самою назвою, але у напрямку вже на схід. Частина вод Румелійської течії, що досягла протоки Босфор, втікає в неї, а друга частина її продовжує рух на схід, але вже під назвою Анатолійської течії, даючи поштовх до розвитку поверхневої циркуляції всього моря. Відтік частини чорноморських вод у протоку Босфор посилює Румелійську дрейфову течію у цій частині моря.

Другий регіон, виділений нами на маршруті, розташовувався у відкритій частині моря на ділянці приблизно між  $44^{\circ}$  і  $45^{\circ}$ пн.ш. та був оцінений за 9 випадками. Середня величина градієнта солоності дорівнювала  $5,5\%$  на  $1^{\circ}$  широти з коливаннями від  $1,35$  до  $9\%$  на  $1^{\circ}$  широти, середня солоність –  $15,9\%$  з коливаннями від  $15,0$  до  $16,85\%$ , а середнє положення близько  $44,64^{\circ}$ пн.ш. Імовірно, саме ця ділянка моря на маршруті є тим регіоном, де спостерігається зустріч і найбільш активна взаємодія та перемішування власне чорноморських вод з уже частково трансформованими річковими водами дунайського походження. Ці води гирла Дунаю можуть існувати тут у весняно-літній час під короткочасним впливом вітрів східних румбів.

Третій регіон моря, виділений на маршруті, що розташовувався на ділянці приблизно між  $45,7^{\circ}$  і  $46^{\circ}$ пн.ш., був оцінений за 4 випадками і названий Дністровським. Середня величина градієнта солоності дорівнювала  $4,4\%$  на  $1^{\circ}$  широти з коливаннями від  $1,9$  до  $7,75\%$  на  $1^{\circ}$  широти, середня солоність –  $16,58\%$  при коливаннях від  $15,78$  до  $17,2\%$ , а середнє положення –  $45,84^{\circ}$ пн.ш. з коливаннями від  $45,77^{\circ}$  до  $45,99^{\circ}$ пн.ш. У цьому районі маршрут судна фактично проходив уздовж гирла річки Дністер на відстані не більше 15 миль (координати протоки Прорва  $46,29^{\circ}$ пн.ш. і  $30,42^{\circ}$ сх.д.).

Четвертим регіоном, виділеним на маршруті та названим Дніпробузьким була найпівнічніша ділянка маршруту між Одесою ( $46,5^{\circ}$ пн.ш. і  $30,77^{\circ}$ сх.д.) та  $46,0^{\circ}$ пн.ш., що знаходиться під дією вод дніпробузького походження. Розра-

хунки виконані за 6 випадками показали, що середній градієнт солоності становив 6,6‰ на 1° широти з коливаннями від 3,7 до 10,7‰ на 1° широти, середня солоність дорівнює 15,75‰ при коливаннях її від 14,9 до 16,00‰, а середнє положення відповідало на 46,34° пн.ш.

На закінчення зауважимо, що, погоджуючись із висновками про домінуючу роль річкового стоку вод, що впадають у Чорне море, у формуванні загальної поверхневої циркуляції всього моря (Суховій, 1986) не можна недооцінювати роль мармуровоморських вод середземноморського походження у формуванні полів солоності та динаміки вод Чорного моря (Андріанова та ін., 2019).

## ВИСНОВКИ

Дослідження розвитку особливостей меридіонального розподілу температури та солоності поверхневого шару води (ПШВ), їх сезонної та міжрічної мінливості за матеріалами безперервної реєстрації на ходу судна на маршруті порт Одеса-протока Босфор у 1998–2000 роках в західній частині Чорного моря з дискретністю 5–6 діб дозволили отримати їх сучасні оцінки.

У річному ході температури ПШВ протягом усіх років (рис. 2а) чітко простежується період весняно-літнього прогріву води з березня по липень та період осінньо-зимового охолодження її з вересня по лютий. Максимум середньої місячної температури води припадав на серпень (близько 25 °С), мінімум на лютий (близько 6 °С), середня за 3 роки ТПШВ – 14,8 °С (табл. 1, 2). Найбільш теплим виявився 1999 з середньорічною температурою для всього моря майже 15 °С (14,97 °С), найбільш холодним – 1998 з температурою – 14,7 °С.

З порівняння середньомісячного ходу ТПШВ біля північного (Одеського) та біля південного (турецького) узбережжя моря (рис. 3а) відзначимо синхронне зростання у весняно-літній період року та асинхронне в осінньо-зимовий період. Максимум прогріву поверхневих вод, що настає у серпні, біля турецького узбережжя продовжується ще 1,5 місяця – явище “оксамитового сезону”. Досягнення мінімуму охолодження поверхневих вод біля турецького узбережжя зупиняється у січні та лютому на 6–7 °С, а біля північного узбережжя опускається майже до 2 °С.

За особливостями меридіонального розподілу та міжрічної мінливості солоності ПШВ (рис. 2б) відзначимо, що приблизно 1/3 маршруту (у північній частині) займають води зі зниженими значеннями солоності нижче 15–16‰, тоді як останні 2/3 заповнені водами з солоністю 17–18‰ й навіть вище. Протягом кожного року на широтах 42–43° пн.ш. виділяються осередки з солоністю більше 18‰, а в 1998 році навіть ділянка окреслена ізохаліною 18,5‰ (з солоністю всередині 18,6‰). У північній частині моря у весняну пору року на маршруті постійно спостерігаються осередки вод із солоністю нижче 14‰ (рис. 2 б), викликані паводковим стоком річок ПнЗЧМ. Середня за 3 роки солоність поверхневого шару води дорівнювала близько 17‰ (16,98‰) з коливаннями по роках від 16,90 до 17,08‰ (табл. 1, 2). Мінімальні значення солоності

припадали переважно на травень 15.96–16,30‰, а максимальні на листопад та лютий (17,59–17,79‰).

З порівняння часового розподілу середньомісячних значень солоності на широтах 46,5 і 41,25° пн.ш. (рис. 3б) можна зробити висновок, що амплітуда коливань біля північного узбережжя в рази більше ніж у турецького узбережжя.

Оцінка зв'язку між коливаннями солоності поверхневого шару води та витрат річки Дунай (рис. 4в) показала їх зворотну залежність: коефіцієнти кореляції виявилися найбільш високими на ділянці маршруту між 44.5 і 45.5° пн.ш. для зсуву 1 місяць (запізнення витрат) (табл. 3). Це вказує на наявність в цьому районі моря найбільшої кількості розпріснених вод дунайського походження.

За аналізом розподілу солоності води на маршруті у 1999 році виділено 24 випадку нахилу кривих середньомісячних значень (рис. 5), що відносяться до градієнтних зон або фронтів солоності, які утворилися в результаті взаємодії з розпрісненими (та прісними) водами. Ці випадки представляли 4 регіони на розглянутому маршруті: Прибосфорський (між 41,25 і 42,0° пн.ш.), район відкритої частини моря (між 44 і 45° пн.ш.), Дністровський (між 45 і 46° пн.ш.) і Дніпробузький (між 46 і 46,5° пн.ш.). У трьох регіонах: відкритого моря, Дністровському і Дніпробузькому йде процес прямої взаємодії і перемішування морських вод з водами річкового стоку, що надійшли у ПнЗЧМ. Прибосфорський регіон моря названий непрямим, оскільки перемішування тут відбувається не безпосередньо з розпрісненими водами, а з водами вже досить перемішаної Румелійської течії, спрямованої на схід уздовж турецького узбережжя.

На маршруті між 42 і 44° пн.ш. виділено регіон моря, який характеризувався на всьому меридіональному протязі близькими максимальними середньомісячними значеннями поверхневої солоності (тому ми назвали його "шапкою") в межах 18‰, а коливаннями від 18,15‰ у лютому до 17,89‰ у вересні. Особливістю цього регіону є той факт, що він не схильний до ніякої зовнішньої динамічної дії і зберігає протягом року свої характеристики, набуті в період осінньо-зимової конвекції.

Таким чином, отримані особливості широтного розподілу та сезонних коливань термохалінних параметрів у західній частині Чорного моря можливо надалі використовувати для розрахунків динаміки процесів у градієнтних та фронтальних зонах, а також моделювання мінливості гідрофізичних полів у цьому регіоні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Андріанова О.Р., Белевич Р.Р., Скіпа М.І. Мармуроморські води середземноморського походження у формуванні полів солоності та динаміки у Чорному морі. *Геофізичний журнал*. 2019. Т41, № 5. С. 235–249. <http://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i5.2019.183639> (дата звернення 15.04.2024)

Андріанова О.Р., Белевич Р.Р., Батирев О.А. Довгострокові коливання гідрометеорологічних параметрів Чорного моря та зміни в береговій зоні // Другий Всеукраїнський гідро-метеорологічний з'їзд: тези доповідей, 7–9 жовтня 2021 Одеса, Україна. С. 197–198. [http://umhs.org.ua/wp-content/uploads/2021/10/Proceedings\\_Hydrometeorological\\_congress.pdf](http://umhs.org.ua/wp-content/uploads/2021/10/Proceedings_Hydrometeorological_congress.pdf) (дата звернення 15.04.2024)

Богданова О.К. Сезонні та міжрічні коливання водообміну через Босфор. У кн. *Біологія моря*. Київ: 1972. Вип. 27. С. 41–54.

Горячкін Ю. М., Іванов В. А. Рівень Чорного моря: минуле, сьогодення та майбутнє. За редакцією академіка НАН України Єремєєва В. Н. Севастополь: МГІ НАН України.

Попов Ю. І. Кліматичний масив термохалінних характеристик вод Чорного моря періоду 1991–2020 років. Одеса 2021. УкрНЦЕМ. Електронна версія.

Північно-західна частина Чорного моря: структура та кліматичні зміни океанологічних полів/[Попов Ю. І. та ін.; відп. ред. Матигін А. С., Коломейченко Г. Ю.]; Гідрометеорол. центр Чорного та Азов. морів, Одеса. нац. ун-т ім. І. І. Мечнікова. Одеса: вид. Букаєв Вадим Вікторович, 2016. 439 с.: ISBN978–617–7215–60–7.

## REFERENCES

Andrianova O. R., Belevych R. R., Skipa M. I. (2019) Marmurovi vody serezhemnomors'koho pokhodzhennya u formuvanni poliv solonosti ta dynamiky u Chornomu mori. (Marmara Sea waters with the Mediterranean origin in the formation of the salinity and dynamics fields in the Black Sea). *Geophysical journal*. 2019. T41, № 5. Z. 235–249. URL: <http://doi.org/10.24028/gzh.0203–3100.v41i5.2019.183639> [In Ukrainian]

Andrianova O. R., Belevych R. R., Batyrev O. A. (2021) Dvohostrokovi kolivannya hidro-meteorologichnykh parametriv Chornoho moriya ta zminy u berehoviy zoni (Long-term fluctuations of hydrometeorological parameters of the Black Sea and changes in the coastal zone) // *Druhyy Vse-ukrayins'kyi hidrometeorologichnyy z'yizd: tezy dopovidey, 7–9 zhovtnya 2021* Odesa, C. 197–198. [http://umhs.org.ua/wp-content/uploads/2021/10/Proceedings\\_Hydrometeorological\\_congress.pdf](http://umhs.org.ua/wp-content/uploads/2021/10/Proceedings_Hydrometeorological_congress.pdf) [In Ukrainian]

Bohdanova O. K. (1972) Sezonnі ta mizhrіchnі kolyvannya vodoobminu cherez Bosfor. (Seasonal and interannual fluctuations of water exchange across the Bosphorus). U kn. *Biologiya moriya*. Kyiv: Vyp. Dvadsyat' s'omyi S.41–54. [In Ukrainian]

Horyachkin YU.M., Ivanov V.A. (2006) Riven' Chornoho moriya: mynule, s'ohodennya ta maybutnye (The level of the Black Sea: past, present and future). Za redaktsieyu akademika NAN Ukrainy Yeryemyeyeva V.N. Sevastopol': MHI NAN Ukrayiny. 210. [In Ukrainian]

Popov, Yu.I. (2021). Klimatychnyy masyv termokhalinnykh kharakterystyk vod Chornoho moriya za 1991–2020 roky (Climatic array of thermohaline characteristics of the waters of the Black Sea in the period 1991–2020). Odesa. UkrNCEM. Elektronna versiya [In Ukrainian]

Pivnichno-zakhidna chastyna Chornoho moriya: struktura ta klimatychni zminy okeanolohichnykh poliv (2016) (Northwestern part of the Black Sea: structure and climatic changes of oceanological fields) [Popov YU.I. ta in.; vidp. red. Matyhin A. S., Kolomeychenko H.YU.]; Hidrometeorol. tsentr Chornoho ta Azov. moriv, Odesa. nats. un-t im. I. I. Mechnikova. Odesa: vyd. Bukayev Vadym Viktorovych. 439 s.: ISBN978–617–7215–60–7. [In Ukrainian]

Надійшла 29.04.2024

**R. R. Belevich**

**O. R. Andrianova**

**O. A. Batyrev**

State Organization “Institute of Market and Economic & Ecological Researches of the NAS of Ukraine”

29 Frantsuzkyi Blvd, Odesa, 65044, Ukraine

[dr.olga.andr@gmail.com](mailto:dr.olga.andr@gmail.com)

## PECULIARITIES OF THE MERIDIONAL DISTRIBUTION AND TEMPORAL VARIABILITY OF SURFACE TEMPERATURE AND SALINITY IN THE WESTERN PART OF THE BLACK SEA DURING 1998–2000

### Abstract

**Problem Statement and Purpose.** The evaluation of thermohaline parameters of the seawater is the most accessible indicator of the variability of processes and the determination of trends in their development. The use of observations of the



temperature and salinity of the surface layer of water, obtained by their continuous registration from the board of a specially equipped vessel, allows for obtaining a detailed picture of the statistical variability along the direction of movement and characteristics of the hydrological structures found on the way. The continuous recording of the seawater surface layer's temperature and salinity is progress in the development of modern oceanology in comparison with the existing point measurements. The purpose of our research is to evaluate the features of the distribution of temperature and salinity of surface waters along the meridian and their temporal variability in the western part of the Black Sea in 1998–2000 along the entire route from the port of Odesa to the Bosphorus Strait.

**Data & Methods.** The basis for the research was the data of continuous registration of the surface layer seawater's temperature and salinity on the Odesa-Istanbul route and back during 30 months (from 3.05.1998 to 25.10.2000). The data was obtained during the ship's 172 commercial voyages scientific and research vessel "Georgiy Ushakov", which was equipped with a stationary system of continuous recording of thermohaline parameters. The distance between these points was approximately 600 km and about 1,500 values of temperature and salinity of the seawater's surface layer were obtained. According to the calculated average monthly values of temperature and salinity of the surface layer of water on the quasi-meridional route from Odesa to the Bosphorus Strait for 1998–2000. The space-temporal variability was estimated for the average monthly values of the seawater surface layer's temperature and salinity on the quasi-meridional route from Odesa to the Bosphorus Strait for 1998–2000 years. A modern electronic climate array of the Black Sea water's thermohaline characteristics for 1991–2020 was used for comparison.

**Results.** The calculated average temperature for 3 years was 14.84 °C, salinity 16.98‰, and the average annual fluctuations did not exceed 0.1 of the characteristic value. In the latitudinal distribution of the characteristics, there are differences between the northern and southern parts of the sea: the increase in the spring-summer period of the average monthly temperature occurs synchronously, and the decrease – asynchronously in the autumn-winter period (the maximum warming lasts for 1.5 months on the Turkish coast); in the northern part of the third section, water with reduced salinity values (15–16‰) is occupied, and the water in 2/3 of the southern part has a salinity of 17–18‰ and higher (the amplitude of the salinity's fluctuations in the NWBS is 3 times greater). The minimum water cooling occurs in January-February (near the Turkish coast – 6–7 °C, near the northern coast – up to 2 °C); the minimum salinity is in May (15.96–16.30‰), and the maximum in November and February (17.59–17.79‰). An inverse relationship was obtained between fluctuations in salinity and flow rates of the Danube (maximum between 44.5 and 45.5°N with a lag of flow rates of 1 month). The region has been identified on the route between 42° and 44°N that retains its characteristics throughout the year acquired during the period of autumn-winter convection. Also, according to the distribution of salinity along the route, 4 regions were identified that represented frontal and gradient zones: the Bosphorus (between 41.25 and 42.0°N), the open sea area (between 44 and 45°N), the Dniester (between 45–46°N) and Dneprobugsky (between 46 and 46.5°N).

**Key words:** Black Sea, temperature, salinity, extremes, gradient zones, interregional rainfall, seasonal fluctuations.