

АНАЛІЗ КЛІМАТИЧНИХ ГЕОСТРОФІЧНИХ ТЕЧІЙ ТА ЇХ ВИТРАТ НА ЗОНАЛЬНОМУ ТА МЕРИДОНАЛЬНОМУ РОЗРІЗАХ АКВАТОРІЇ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ

Розраховано геострофічний перенос вод на широтному ($45^{\circ}20'$ півн.ш.) та меридіональних ($31^{\circ}00'$ та $31^{\circ}30'$ сх.д.) розрізах за допомогою динамічного методу. Описана структура циркуляції вод на розрізах. Наведені механізми мінливості характеристик потоків на акваторії північно-західного шельфу Чорного моря та частково – на материковому схилі. Отримані кількісні характеристики витрат на розрізах.

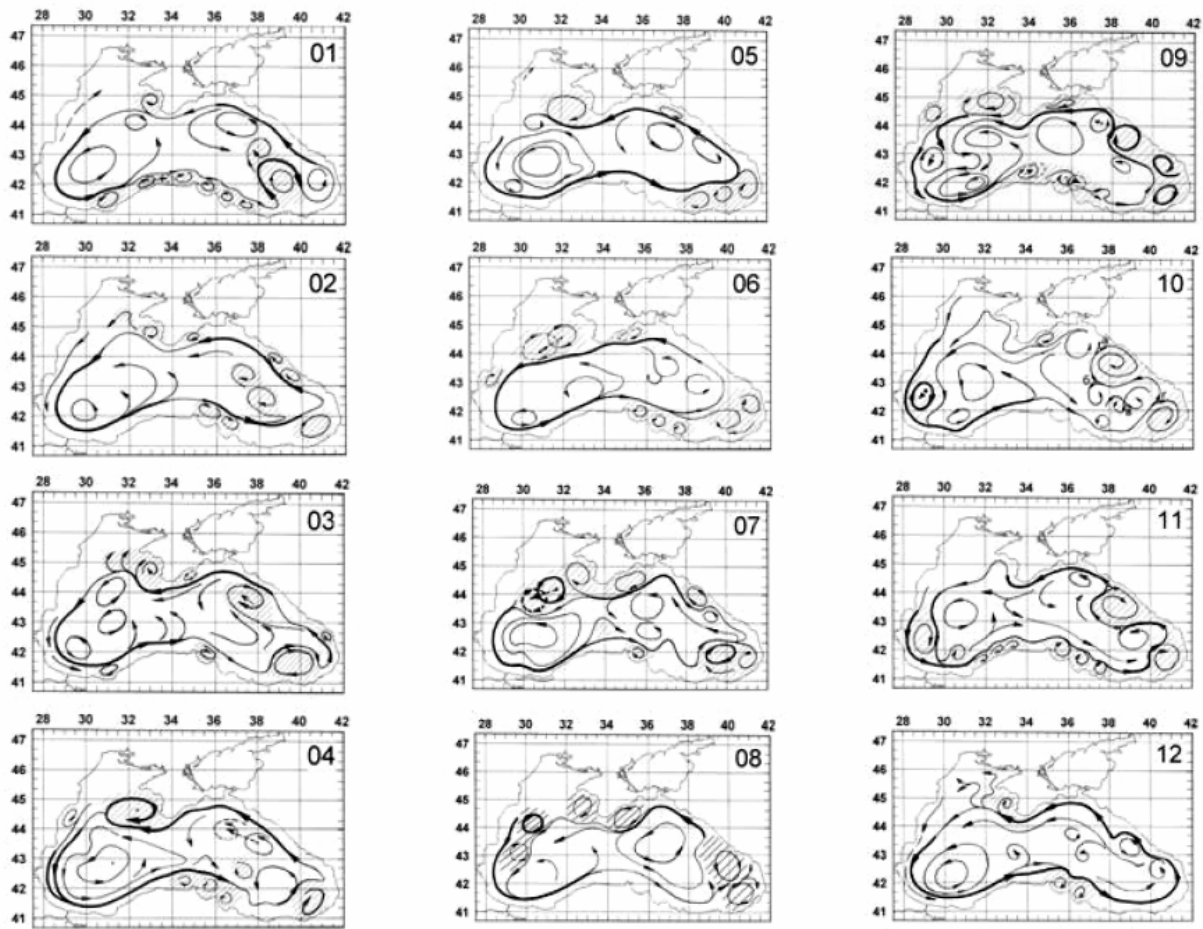
Ключові слова: північно-західний шельф Чорного моря, циркуляція, перенос вод, витрати потоків, просторово-часова мінливість.

Вступ. Проблема взаємодії й обмін речовиною та енергією вод північно-західного шельфу Чорного моря (ПнЗШ) і відкритого моря в районі материкового схилу є однією з фундаментальних у сучасних дослідженнях Чорного моря. Аналіз цієї взаємодії дозволить відповісти на запитання: за допомогою яких механізмів і в яких об'ємах забруднювальні речовини вод ПнЗШ будуть переноситися і яким чином будуть впливати на стан екосистеми глибоководної частини Чорного моря.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Особливості циркуляції вод Чорного моря відіграють важливу роль у різному науково-практичному використанні, у тому числі – екологічному. Дослідження та розрахунки циркуляції були проведені у минулому багатьма організаціями та дослідниками, однак циркуляція (а точніше, її мінливість) вод ПнЗШ до теперішнього часу не достатньо вивчена [1, 3-6]. Недостатньо вивчені процеси формування та перерозподілу шельфових вод під дією різних природних факторів. Одним з головним із них виступає річковий стік, мінливість якого, в свою чергу, приводить до ряду структурних змін у циркуляції вод та водообміну між відкритою частиною Чорного моря та шельфом. Іншим важливим фактором є вітер, що перерозподіляє опріснені шельфові води по акваторії та генерує додаткові динамічні утворення. Антициклонічні вихори (АЦВ) у районі звалу глибин на материковому схилі та їх просторова трансформація також кардинально впливають на перерозподіл шельфових евтрофованих вод [1].

Переважаючо циркуляція поверхневих вод ПнЗШ носить циклонічний характер, однак у дійсності течії сильно міняються у зв'язку із змінами напрямку й швидкості вітру, тобто існує сезонна мінливість кліматичних особливостей характеристик вітру. При відповідних вітрових умовах циклонічна циркуляція вод може мінятися майже на зворотну. Також, у водах акваторії ПнЗШ можуть існувати різні за напрямком обертання вихори. Найчастіше антициклонічні вихори утворюються або навпроти м. Бургас - Дністровський лиман, або навпроти Сулинського та Георгіївського гирл Дунаю. Часто спостерігаються вони також навпроти Кілійського гирла, північніше за о. Зміїний. Таке положення і розміри вихорів у районі ПнЗШ значною мірою визначаються участю у прибережному океанографічному режимі дунайських і дніпровських вод, а також ступенем опріснення всієї північно-західної частини моря. У Каркінітській затоці при вітрах усіх напрямків циркуляція вод має антициклонічний характер [2].

На рис. 1 представлена схема поверхневих течій, побудована за даними супутникових спостережень поверхневої температури та кількості хлорофілу А у поверхневому шарі [3]. По схемі (рис. 1) було визначено якісну оцінку спрямованості



Області антициклонічної завихреності заштриховані

Рис. 1 - Щомісячні схеми циркуляції Чорного моря по анімаціях поверхневої температури води [3].

потоків на межі материкового шельфу при аналізованні генерального напрямку потоків на розглянутих розрізах. Такий аналіз надав можливість підтвердити сезонну мінливість потоків на межі ПнЗШ та відкритої частини моря.

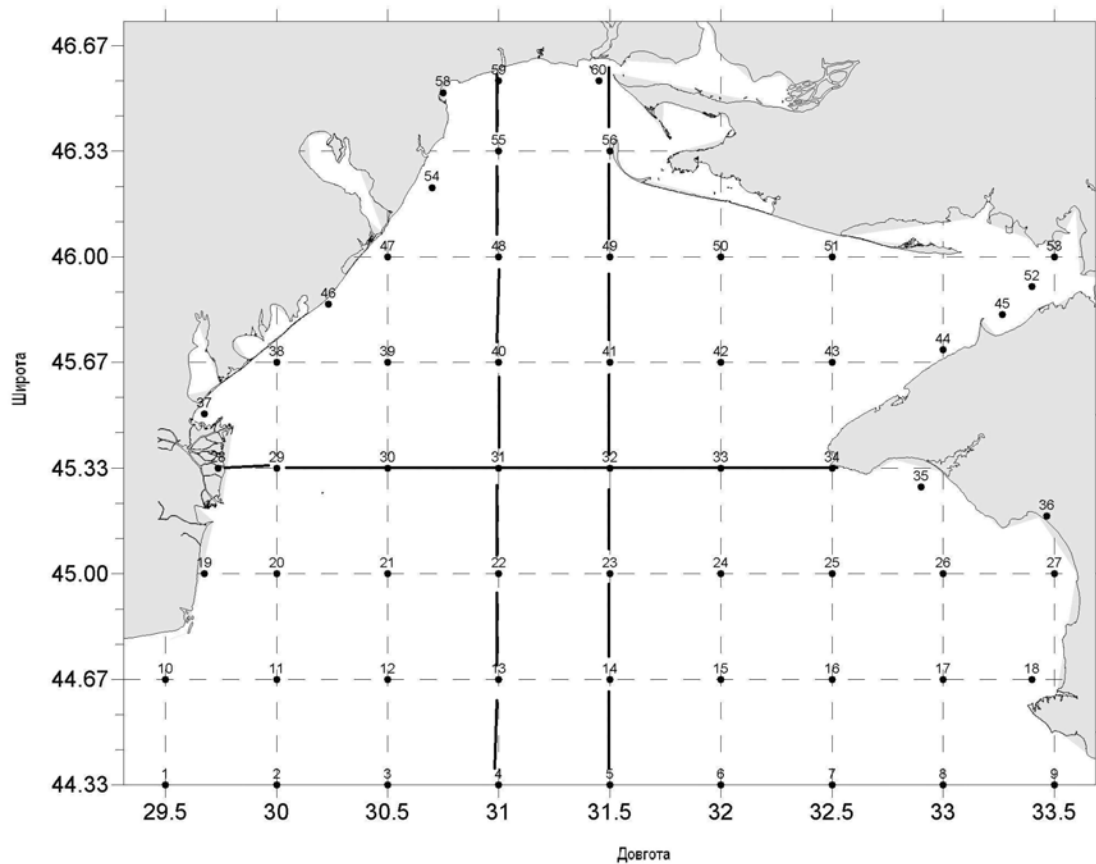
У роботі [4] наведена оцінка кількісних та якісних характеристик надходження біогенних речовин з ПнЗШ у глибоководну частину Чорного моря. Проаналізовано головні процеси виносу біогенних речовин. Проте характеристики процесів на акваторії шельфу не визначені, не враховано, що гідродинамічний режим акваторії шельфу та сезонні внутрішні трансформації впливають на винос вод у відкрите море. Також, у роботі [4] потоки речовини з шельфу розраховуються як однонаправлені, а така структура на материковому схилі не може описати водообмін між акваторією ПнЗШ та глибоководною частиною моря.

Отже, динамічні утворення на звалі глибин, зокрема Севастопольський антициклонічний вихор, можуть впливати на мінливість надходження річкових евтрофованих, шельфових вод у відкриту частину моря, але вони не є генераторами динамічних структур на акваторії шельфу. Тобто, механізми формування та генерації АЦВ та вихорових утворень акваторії шельфу не є однаковими та не можуть розглядатися як подібні структури [1-3].

Постановка завдання. Задача дослідження полягає у визначенні кількісної та якісної характеристики геострофічних течій на двох меридіональних ($31^{\circ} 00'$ та $31^{\circ} 30'$ сх.д.) та одному широтному ($45^{\circ} 20'$ півн.ш.) розрізах, які перетинають акваторію

ПнЗШ. Аналіз течій на розрізах дає можливість отримати оцінку витрат досліджуваних потоків. Отримані оцінки витрат становитимуть у майбутньому основу розрахунків переносу забруднювальної речовини між відкритою частиною моря та ПнЗШ.

Матеріали та методи дослідження. Для аналізу використані масиви даних температури та солоності Банку Даних УкрНЦЕМ за період з 1910 р. по 2005 р. На рис.2 представлена схема розташування розрахункових станцій по акваторії ПнЗШ, у вузлах якої отримано кліматичні дані по температурі та солоності для кожного місяця. 20-тимильні квадрати з кроком по широті 20' та 30' по довготі (79 км в одному градусі по довготі на 45° півн.ш., та 111 км в одному градусі по широті на 31° сх.д.) було обрано для розрахунків потоків динамічним методом [7]. Такий крок по горизонталі дає дуже згладжену оцінку витрат потоків, розрахованих по геострофічних швидкостях течій.



Лінії розрізів виділені

Рис. 2 - Схема станцій, по яких розраховано кліматичні дані температури та солоності.

Меридіональні переноси на розрізі по паралелі 45°20'півн.ш. На рис. 3 (а) представлено помісячне розгорнення меридіональних складових кліматичних потоків на розрізі по паралелі 45°20'півн.ш. Можна відзначити різку зміну напрямку потоків або їх відокремлення у просторово-часовому масштабі та виділити центр ущільнення ізотях як ядро з максимальними показниками швидкості потоку.

У зимовий і весняний періоди року західна частина розрізу характеризується стійким, а в інтервалі довгот $30^{\circ}00'$ - $30^{\circ}30'$ ще й сильним південним переносом вод з витратами у ядрі більше 10 тис. $\text{м}^3/\text{с}$. На початку літа відбувається перебудова поля потоків. Протягом усього літньо-осіннього періоду в західній частині шельфу відзначається виражена північна складова переносу вод з високими швидкостями в тому ж інтервалі довгот, що й відзначений вище південний перенос. Витрати у ядрі перевищують 15 тис. $\text{м}^3/\text{с}$. У східній частині також присутній північний перенос з високими швидкостями (витрати досягають 30 тис. $\text{м}^3/\text{с}$). Цей потік у просторовій мінливості обмежений $32^{\circ}00'$ та $32^{\circ}30'$ на сході розрізу.

В цілому, у зимово-весняний період року геострофічні течії з південними складовими переважають на більшій довжині розрізу. У період з лютого по квітень локальна область північного переносу вод відзначається в центральній частині ПнЗШ, у ядрі якого витрати перевищують 5 тис. $\text{м}^3/\text{с}$. Основною і найцікавішою великомасштабною особливістю є область північних переносів вод (на рисунку затемнена), яка поступово зміщається в часі зі східних районів моря в західні. У період з лютого по травень збільшуються витрати й розширюється область північних переносів. У липні ця область зміщається на захід і одночасно генерується біля західного узбережжя ПнЗШ, досягаючи екстремуму витрат в липні-серпні й у жовтні на меридіані $30^{\circ}15'$ сх.д., де витрати перевищують 15 та 10 тис. $\text{м}^3/\text{с}$ відповідно.

Загалом, зимово-весняний період характеризується південним переносом вод по всьому розрізу, окрім вищеописаного потоку на крайньому сході, та на заході у час перебудови структури потоків. Витрати південних переносів досягають максимуму восени 25 тис. $\text{м}^3/\text{с}$.

Геострофічні розрахунки на розрізі показують, що період з лютого по червень характеризується на ПнЗШ великомасштабною циклонічною циркуляцією. У липні циркуляція змінює знак на протилежний і така структура, злегка зміщаючись до заходу, існує до листопада.

Швидкості течій на розрізі достатньо великі. На поверхні моря вони коливаються від 0,15 до 0,26 м/с, досягаючи часом максимальних значень до 0,54 м/с; у придонному шарі — 0,05-0,15 м/с. У відкритій акваторії ПнЗШ немає застійних вод, де б течії були відсутні, але така картина можлива у затоках.

Широтні переноси на меридіональному розрізі по $31^{\circ}00'$ сх.д. Просторово-часовий розподіл уздовж широтних складових геострофічних потоків на пересічному ПнЗШ меридіональному розрізі по 31° сх. д. з півдня на північ (див. рис 2) має більш складну й мінливу структуру. Особливо це помітно в інтервалі широт $44^{\circ}20'$ – $45^{\circ}00'$ півн.ш.

Південні райони шельфу піддаються активному динамічному впливу струменя Основної чорноморської течії (ОЧТ) та вздовжсхилового вихороутворення. Ця широтна область ділиться на два підрайони з полярними характеристиками, відповідно до широтних переносів вод. У південній частині цієї області ($44^{\circ}20'$ – $44^{\circ}40'$ півн.ш.) протягом року чотири-п'ять раз міняється спрямованість потоку. У зимовий період року (з листопада по лютий включно) у цьому інтервалі широт спостерігається інтенсивна зона східного переносу. Витрати перевищують 200 тис. $\text{м}^3/\text{с}$. У березні потоки міняються на зворотні та у ядрі витрати досягають майже 40 тис. $\text{м}^3/\text{с}$, а з середини весни й улітку (квітень-червень, серпень) відновлюються східні переноси вод. Цей процес пов'язаний з весняно-літнім поширенням паводкових вод річкового стоку й у цілому характерний для всієї довжини розрізу.

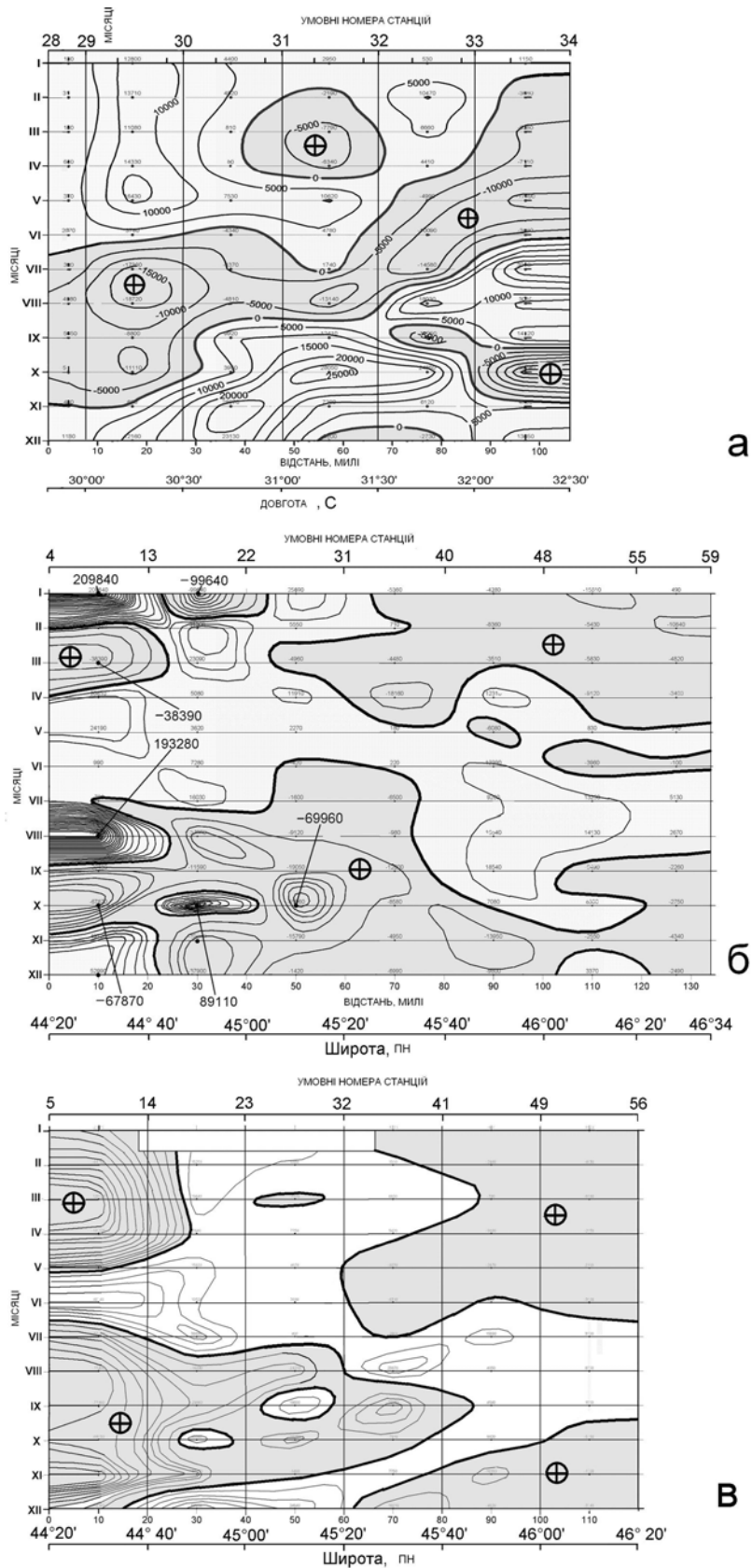


Рис. 3 - Просторово-часова внутрішньорічна мінливість кліматичних геострофічних, нормальних розрізів, складових переносів вод (m^3/s): а – на широтному розрізі по паралелі 45°20'півн.ш.; б – на розрізі по меридіану 31°00'сх.д. ; в – на розрізі по меридіану 31°30'сх.д.

Максимальних значень східний перенос набуває на півдні розрізу в серпні, він перевищує 190 тис. м³/с. Восени переважають західні переноси вод. Витрати у ядрі досягають майже 70 тис. м³/с.

На півночі, в інтервалі широт 44°40' – 45°00' півн.ш., за винятком весняно-літнього періоду та жовтня, відзначаються західні переноси вод, з витратами у ядрі майже 100 тис. м³/с. Потік, який спостерігається у жовтні, має витрати у ядрі майже 90 тис. м³/с. У центральних і північних областях розрізу швидкості зональних течій суттєво менші, переноси східних напрямків відзначаються тільки влітку, західні - переважають в інші пори року.

Широтні переноси на меридіональному розрізі по 31°30' сх. д. Структура внутрішньорічних переносів вод на даному розрізі в загальному вигляді схожа на описану вище по меридіану 31°00' сх. д., особливо в центральних і північних районах шельфу. Однак на півдні розрізу є істотні відмінності. Західні складові кліматичних переносів вод у південній частині розрізу переважають більшу частину року з екстремумами в березні, серпні-вересні й листопаді. Східні складові проявляються тільки в червні, на завершальній стадії розвитку Севастопольських вихорів.

Більш детальний опис витрат потоків на розрізах розглядається у роботі [8], де представлені розрахунки та візуальне представлення вертикальної структури розрізів та мінливості по місяцях. У роботі проведено аналіз потоків по розрізах та зроблені окремі висновки щодо присутності вихорів на межі материкового шельфу.

Висновки. За кліматичними даними виконана оцінка гідродинамічних характеристик морських вод на межі материкового шельфу північно-західної частини Чорного моря. Виявлено наявність вихорових утворень на акваторії шельфу та на його границі. Їх просторово-часова мінливість кардинально змінює характеристики витрат на межі материкового шельфу північно-західної частини Чорного моря.

Визначені кількісні характеристики витрат на розрізах дають оцінку сезонній мінливості переносу вод. Така оцінка дає уявлення щодо природи описаної мінливості. Сезонні зміни у структурі поверхневих течій, які були оцінені за супутниковою інформацією, фактично збігаються з порахованими переносами на розрізах. Меридіональні переноси можуть перевищувати по витратах зональні у декілька разів та навіть на порядок.

Існуючі різноспрямовані вихори на материковому шельфі не можуть чітко описуватися за осередненими кліматичними даними через їх природу формування та трансформації по акваторії. Динамічні утворення на звалі глибин, зокрема Севастопольський антициклонічний вихор, можуть впливати на мінливість надходження річкових евтрофованих, шельфових вод у відкриту частину моря, але вони не є генераторами динамічних структур на акваторії шельфу, тобто, природа їх формування та генерації не можуть описуватись однаково.

Одержані результати розрахунків геострофічних течій та їх витрат на ПнЗШ і на межі шельфу дозволять розрахувати перенос забруднювальних речовин між шельфом та відкритою частиною моря при наявності середньо-кліматичних даних надходження забруднювальних речовин.

Список літератури

1. Попов Ю. И. Распространение шельфовых вод в северо-западной части Черного моря и их обмен с водами открытого моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа, Севастополь: МГИ. – 2010.- Вып.26. С.117-126.
2. Экология Черного Моря, (<http://www.lacuevalimon.com/category/ecolog/>), 2011.

3. Попов Ю. І., Матигін А. С. Особенности циркуляції вод поверхностного слоя Чорного моря по термічеським спутниковим даним // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2008. – Одеса – №6. – С.217-224.
4. Рябцев Ю.Н., Геворгиз Н.С, Кривенко О.В. Оценка выноса биогенных элементов с северо-западного шельфа в глубоководную область Чорного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2005. – Севастополь. - Сб. научн. тр. Вып. № 12. - С. 149-155.
5. Коморін В. М., Попов Ю. І., Український В. В. Оцінка мінливості гідродинамічних характеристик північно-західного шельфу Чорного моря // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2008. – Одеса. - № 5. – С. 188 – 201.
6. Коротаєв Г.К. О причине сезонного хода циркуляції Чорного моря // Морск. гидрофиз. журн. - 2001. – Севастополь. - № 6. - С. 14–20.
7. Зубов Н.Н., Мамаев О.И. Динамический метод вычисления элементов морских течений. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 115 с.
8. Єрофєєв Г.О., Матигін О.С. та ін. Дослідження переносу вод між північно-західним шельфом та відкритою частиною Чорного моря (звіт про виконання НДР бюджетної тематики Мінприроди, затверджено міністром у 2007 р.). – 2010. - Одеса, УкрНЦЕМ.

Анализ климатических геострофических течений и их расходов на зональных и меридиональном разрезе акватории северо-западной части Чорного моря. Єрофєєв Г.А., Попов Ю.И.

Рассчитано геострофический перенос вод на широтном ($45^{\circ} 20' \text{с.ш.}$) и меридиональных ($31^{\circ} 00'$ и $31^{\circ} 30'$ в.д.) разрезах с помощью динамического метода. Описана структура циркуляції вод на разрезах. Приведены механизмы изменчивости характеристик потоков на акватории северо-западного шельфа Чорного моря и частично - на материковом склоне. Получены количественные характеристики расходов на разрезах.

Ключевые слова: северо-западный шельф Чорного моря, циркуляція, перенос вод, расходы потоков, пространственно-временная изменчивость.

Analysis of climatic geostrophic flows and their charges on zonal and meridional cut of aquatorium of north-western part of the Black sea. Yerofeyev G., Popov Y.

The geostrophic transfer of waters is expected on latitudinal ($45^{\circ} 20' \text{N}$) and meridional ($31^{\circ} 00'$ $31^{\circ} 30' \text{E}$) cuts by means of dynamic method. The structure of circulation of waters is described on cuts. Mechanisms over of changeability of descriptions of streams are brought on the aquatorium of north-western shelf of the Black sea and partly - on a mainland slope. Quantitative descriptions of charges are got on cuts.

Keywords: north-western shelf of the Black sea, circulation, transfer of waters, charges of streams, spatio-temporal changeability.