

ПРОСІВНО

ВІСНИК

АКАДЕМІЇ НАУК
УКРАЇНСЬКОЇ РСР

7 Л И П Е Н Ь
1 9 7 7

Липень 1980

РІК ВИДАННЯ ХЛІ

ЩОМІСЯЧНИЙ ЖУРНАЛ
ПРЕЗИДІЇ АКАДЕМІЇ НАУК
УКРАЇНСЬКОЇ РСР

«НАУКОВА ДУМКА»
КИЇВ



Біологічні та гідрофізичні дослідження Південно-Атлантичного антициклонального круговороту в 30-му рейсі ндс «Михаил Ломоносов»

О. В. КОВАЛЬОВ, кандидат біологічних наук,
В. С. ЛАТУН, кандидат фізико-математичних наук

Під час 30-го рейсу науково-дослідного судна «Михаил Ломоносов» (квітень — серпень 1976 року) проведено біологічні, гідрофізичні й гідрохімічні дослідження у південно-західному секторі Південно-Атлантичного антициклонального круговороту (див. рисунок). Вони виконувалися за програмою комплексного вивчення структури функціонування і продуктивності екологічної системи верхнього 500-метрового шару води.

За біологічну частину програми відповідали 42 співробітники Інституту біології південних морів АН УРСР, за гідрофізичну і гідрохімічну — 23 співробітники Морського гідрофізичного інституту АН УРСР.

Район досліджень відзначається складною структурою й високою динамічною активністю вод. Там зустрічаються і взаємодіють течії Західних вітрів, Фолклендська й Бразильська, води яких різняться за гідрологічними й гідрохімічними властивостями, складом і кількісними характеристиками населення. Гідрологічні та біологічні процеси, що відбуваються у цьому районі, впливають на значну частину акваторії Південно-Атлантичного антициклонального круговороту. У зв'язку з цим проведені дослідження становлять великий науковий інтерес. Наявність масштабного океанічного фронту на стику водних мас різного походження дає підставу припускати існування зон підвищеної біологічної продуктивності і можливість їх промислового освоєння.

Проте цей район Атлантики (за межами 200-мильної прибережної зони) недостатньо вивчений. Література подає тільки загальні відомості з гідрології, гідрохімії, розподілу планктону, одержані переважно експедицією «Метеора» у 1925—1927 рр. (Hentschel, 1933, 1936). Зовсім не досліджені оптичні властивості води, біолюмінесценція, розподіл завислої органічної речовини, розмноження, ріст, живлення планктонних організмів та інші характеристики структури й функціонування екосистем.

Роботи, виконані у 30-му рейсі ндс «Михаил Ломоносов», власне, продовжили дослідження, проведені у 27-му рейсі цього судна в південно-східному секторі Південно-Атлантичного антициклонального круговороту.

Обґрунтування, зміст, особливості методики і організації цих досліджень описано раніше (О. В. Ковальов, М. З. Хлистов, 1974; В. М. Грезе, О. В. Ковальов, М. З. Хлистов, 1975). Втім, відзначені особливості району і нагромаджений у 27-му рейсі досвід зумовили деякі зміни методики й організації робіт. Якщо у 27-му рейсі дослідження проводились, в основному, на трьох багатодобових полігонах вздовж Бенгельської течії від зони прибережного апвелінгу до області халістатики, то у 30-му рейсі — переважно на двох перерізах (широтному й меридіо-

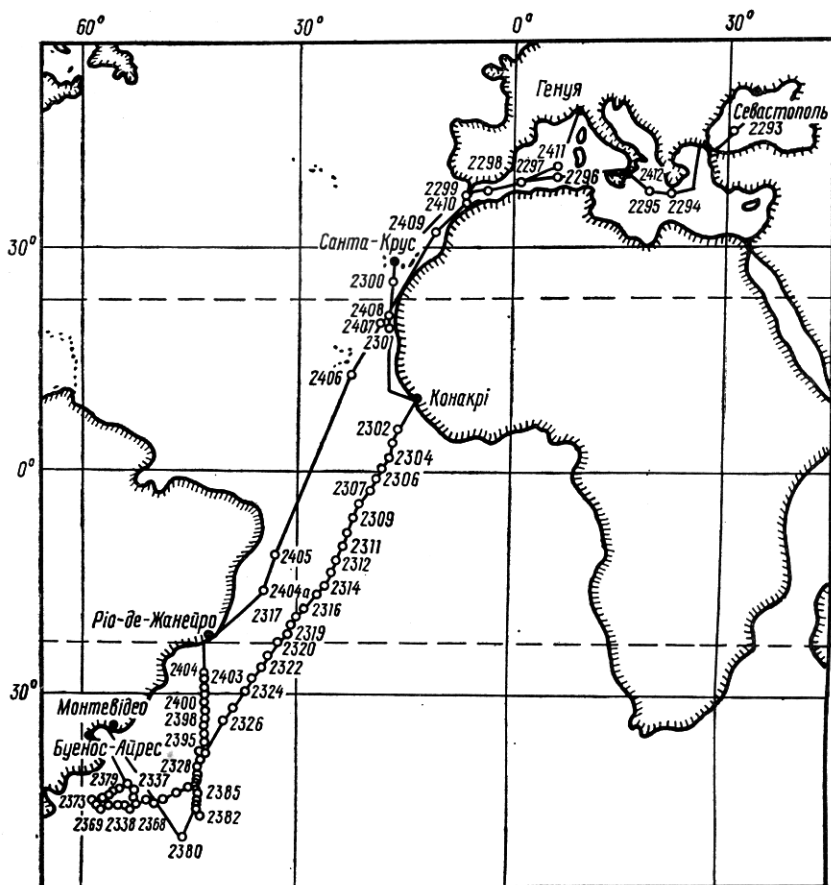


Схема маршруту 30-го рейсу ндс «Михаил Ломоносов».

нальному), що перетинають південний субполярний фронт, теплі води помірної зони (зокрема, Бразильської течії) і субантарктичні води (Фолклендської течії і течії Західних вітрів).

Гідрологічні станції виконувались на перерізах через 10—30 миль, комплексні — через 60—120 миль. На широтному перерізі було три полігони (у водах Фолклендської, Бразильської течій і у фронтальній зоні, що їх розділяє), які склалися з кількох станцій. На одній із станцій кожного полігону тривалістю в 1—2 доби проведено по 4—6 серій спостережень і експериментів по всіх пунктах програми. На меридіональному перерізі виконано дві добові станції в різних водних масах. Крім того, по маршруту експедиції виконано два перерізи з нетривалих комплексних станцій: від Західної Африки до початку широтного перерізу і від кінця широтного перерізу вздовж материкового схилу на північний схід.

Все це дозволило вперше дати мезомасштабну характеристику гідрофізичної, біологічної структури і продуктивності різних водних мас, оцінити інтенсивність динамічних процесів у зоні південного субполярного фронту і роль цих процесів у формуванні основних рис і особливостей екологічної системи у фронтальній і суміжній зонах досліджуваного району.

У 30-му рейсі проби зоо- і іхтіопланктону збирали здвоєними сітками Джеді (сито № 49) і ДжОМ (сито № 23) однією лебідкою. Для вивчення оптичних властивостей води та біолюмінесценції, збирання проб фі-

то-, бактеріо-мікрозоопланктону і завсі вперше було використано комплекс з прозомира, батифотометра, 30-літрового батометра, закріплених на кабель-тросі. Дещо удосконалено методику ряду інших досліджень. Завдяки цьому збільшився обсяг і покращала якість спостережень і експериментів.

Первинна обробка і аналіз матеріалів експедиції дали змогу в загальному вигляді показати динаміку, гідрологічну та біологічну структуру водних мас і деякі продукційно-фізіологічні особливості планктонних угруповань.

Значний обсяг спостережень уможливив одержання тривимірної картини розподілу гідрофізичних і гідрохімічних властивостей і детальної характеристики просторової мезоструктури гідрофізичних, гідрохімічних і гідробіологічних полів. Встановлено, що в районі 41° — $43^{\circ}30'$ півд. ш., 52° — 58° з. д. вісь фронтальної зони, положення якої можна ототожнити з положенням ізотерм 11° — 13° С або ізогалин $34,8\text{‰}$ — $35,2\text{‰}$, утворює меандр з середнім радіусом кривизни близько 45 миль. Очевидно, цей меандр є квазістаціонарним утворенням. У південному його секторі, де горизонтальні градієнти температури і солоності особливо великі, був виконаний другий полігон з детальною гідрологічною зйомкою по спеціально обраній густій мережі станцій (район $42^{\circ}30'$ — $43^{\circ}30'$ півд. ш., $53^{\circ}30'$ — $55^{\circ}30'$ з. д., станції 2339—2363). Аналіз спостережень, виконаних на цьому полігоні, виявив такі особливості горизонтальної і вертикальної структури Південного субполярного фронту:

1. На поверхні океану положення температурного і солонісного фронтів збігаються, але вплив температури і солоності на щільність води взаємно урівноважується, і смуги максимальних горизонтальних градієнтів температури і солоності завширшки 10—15 миль відповідає смуга мінімальних горизонтальних градієнтів щільності. Максимальні градієнти щільності (до 0,5 ум. од. σ_t на 10 миль) спостерігалися за 15—20 миль на північ і на південь від осі температурного і солонісного фронтів.

2. На горизонті 100 м температурний і солонісний фронти виражені найрізкіше. Починаючи з цієї глибини, їх вісь практично збігається з віссю щільнісного фронту. Максимальні горизонтальні градієнти температури і солоності на глибині 100 м дорівнюють 8° і $1,5\text{‰}$ на 10 миль відповідно, що на два порядки перевищує значення цих градієнтів за межами фронтальної зони.

3. Із збільшенням глибини фронтальна поверхня відхиляється на північ. Якщо на вільній поверхні вісь температурного фронту знаходилась на $43^{\circ}03'$ півд. ш., то на горизонті 100 м — на $42^{\circ}58'$ півд. ш., а на горизонті 500 м — на $42^{\circ}40'$ півд. ш.

Для дослідження вертикальної структури Південного субполярного фронту особливий інтерес становлять дані, одержані на перерізі по паралелі $42^{\circ}30'$ півд. ш. Переріз перетнув меандр по нормалі до осі фронтальної зони (води Бразильської течії займають центральну третину перерізу). Шар максимальних горизонтальних і вертикальних градієнтів температури і солоності заглиблюється на 600 м, вплив фронтальної зони на розподіл властивостей води простежується до глибини 1500 м. Таким же виразним є положення фронтальної зони щодо розподілу розчиненого кисню, кремнію і фосфатів. Так, якщо води Фолклендської течії у приповерхневому шарі містять фосфору близько 45 мкг/л , то води Бразильської течії — 5 мкг/л .

Розподіл різних властивостей води у площині перерізу показує, що у фронтальній зоні відбуваються інтенсивні вертикальні рухи вод. Найсильніший підйом вод виявлено між станціями 2334 і 2339, де висхідними рухами охоплений весь 800-метровий шар. Зони підйому і змішування відзначаються зниженою прозорістю вод.

Характерною особливістю вивченої фронтальної зони є однакова

спрямованість градієнтів температури й солоності. Це приводить до зменшення градієнтів щільності, особливо у приповерхневому шарі 0—100 м. Втім, оскільки значні горизонтальні градієнти щільності спостерігаються у величезному шарі 100—1500 м, обчислені динамічним методом швидкості геострофічних течій досягають 3—4 вузлів. Реальність таких високих значень швидкості підтверджується досвідом постановки автономної буйкової станції на першому полігоні.

Течія на поверхні паралельна осі температурного і солонісного фронтів, а стрижень течії зміщений вліво (якщо дивитися по потоку) від осі фронту на 30—40 миль. Рух відбувається так, що зліва в потоці проходять тепліші, справа — холодніші води. Безперечний інтерес являють вихорі діаметром 10—20 миль, відмічені на південно-західній периферії меандра і спостережувані до глибини понад 800 м.

На схід від 50° з. д. градієнти характеристик в зоні Південного субполярного фронту помітно зменшуються. На перерізі по меридіану 43°30' з. д. вісь фронтальної зони виявлено на широті 38°40' півд. ш.; максимальні горизонтальні градієнти температури й солоності не перевищували тут 4° на 10 миль і 1,4‰ на 60 миль відповідно.

Зіставлення даних гідрологічних, гідрохімічних, оптичних та різного роду біологічних спостережень продемонструвало якісний збіг розподілу показників, що підтверджує взаємозв'язок фізичних, хімічних і біологічних процесів і дає підставу використовувати вищезазвані показники для індикації водних мас.

Інтенсивність біолоюмінесценції на перерізі від Західної Африки до початку широтного перерізу змінювалась згідно з зональним розподілом біомаси планктону. На широтному і меридіональному перерізах максимальну біолоюмінесценцію відзначено у фронтальній зоні (до $5,0 \cdot 10^{-4}$ мквт/см²), що свідчить про бурхливий розвиток життя. У водах помірної зони і субантарктичній воді, тобто на північ і південь від фронту, максимальні значення інтенсивності біолоюмінесценції знижувались до $4,0 \cdot 10^{-5}$ і $5,0 \cdot 10^{-5}$ мквт/см² відповідно. Для вертикального розподілу біолоюмінесценції характерне чергування шарів з підвищеною й зниженою інтенсивністю світіння.

Максимальний вміст у сумарній завісі білка, що є одним з показників її кормової цінності, зареєстровано на першому полігоні, тобто у прифронтальній зоні (40 мкг/л на горизонті 65 м). У напрямі заходу вміст білка закономірно зменшувався, і у водах Фолклендської течії максимальна величина становила 63,4 мкг/л на горизонті 500 м. На станціях меридіонального перерізу вміст білка був дещо нижчий, ніж на станціях перерізу широтного.

У фітопланктоні досліджуваного району представлені субтропічні й субантарктичні види з перидинієвих, коколитофорид, діатомових, золотистих і зелених. У фронтальній зоні переважали великі діатомові, в теплих водах помірної зони — ультрааннопланктонні форми. За чисельністю, біомасою фітопланктону і величинами первинної продукції фронтальна зона була у 5—10 разів багатшою за суміжні водні маси — теплу та холодну. На відміну від тропічних і субтропічних районів океану, де по вертикалі нараховується 2—3 піки чисельності, у північно-західному секторі Південно-Атлантичного антициклонального круговороту, як правило, відмічався один пік.

Мікрозоопланктон складається з наупліусів і копеподитів копепод, радіолярій, інфузорій і представників інших груп тварин. Загальна його чисельність, на відміну від фітопланктону, у найактивнішій зоні фронту (II полігон) мінімальна (3000 екз/м³ у шарі 0—100 м). У напрямі до периферії фронтальної зони вона зростала до 4500 екз/м³ і 6300 екз/м³ на I і III полігонах відповідно. На меридіональному перерізі його чисельність значно нижча. На добовій станції в субантарктичних водах у

шарі 0—100 м вона становила 3000 екз/м³, а в теплих водах помірної зони 2000 екз/м³. Для вертикального розподілу мікрозоопланктону характерним є заглиблення піка чисельності в міру просування з заходу на схід.

Подібну картину розподілу зоопланктону одержано і за сітковими пробами, де переважає мезозоопланктон. Проте на широтному перерізі максимальну величину обсягу сіткового сестону одержано на II полігоні за рахунок великої кількості фітопланктону в пробах. Різні водні маси дещо різняться за видовим складом зоопланктону.

У зоні впливу фронту біля поверхні відмічені плями надзвичайно високої чисельності зоопланктону, зокрема веслоногого рачка *Clausocalanus mastigophorus* (до 4 млн. екз/м³).

Іхтіопланктон тропічної зони Атлантики (на перерізі від Західної Африки) характеризується великою кількістю видів. Відмічені личинки 18 видів риб з 9 сімейств. На широтному перерізі із сходу на захід кількість видів зменшилася з 9 на I полігоні до 2 і 5 на II і III полігонах. На меридіональному перерізі в теплих водах помірної зони знайдено личинки 10 видів риб, в субантарктичних — одного. За чисельністю личинок найбагатшим був район II і III полігонів (40 екз/100 м³).

Максимальну чисельність бактерій одержано також у фронтальній зоні, зокрема на II полігоні (більш як 2000 млрд. кл./м³ у шарі 0—50 м). На I і II полігонах, а також на меридіональному перерізі вона була втричі нижча. Із збільшенням глибини чисельність бактерій істотно зменшувалась. Піки їх чисельності, як правило, збігалися з піками чисельності фітопланктону і розташовувались над градієнтом щільності води.

У добових експериментах по розмноженню бактерій з поверхневого шару приросту бактеріальної маси не виявлено, в той час як питома продукція бактерій з глибини 200—3000 м при тій же температурі становила 1,3—1,4.

Найвищі величини «гетеротрофного потенціалу» мікроорганізмів, а саме — нагромадження розчиненої органічної речовини, одержані в теплих водах помірної зони, що характеризується низьким вмістом біогенних елементів.

В експериментах встановлено швидкість перетравлювання їжі у веслоногих рачків залежно від температури. Час проходження їжі по шлунку зменшувався від 150—180 до 30—35 хвилин з підвищенням температури від 12° до 26—30°C. Визначено основні елементи енергетичного балансу копепод. Добові раціони зменшувались від 56 до 7,5% із збільшенням енергетичного еквівалента маси тіла від 0,06 до 1,5 кал./екз.⁻¹ при температурі 10—12°C. Величина засвоюваності рослинної їжі в середньому становила 40—60%.

Проведено експерименти по нагромадженню в організмах тварин води та їжі й виведенню з них радіонуклідів п'яти елементів, що дає можливість встановити закономірності росту тварин, отже, і їх продуктивності.

Відмічено прямий зв'язок між плодючістю веслоногих рачків і кількістю споживаної ними їжі. Середня плодючість фітофагів вища, ніж хижаків (відповідно 38,6 і 17,3 яйця на самку). Вивчено повний цикл розвитку двох видів копепод (*Clausocalanus mastigophorus* і *Euchaeta marina*). Виведені рівняння індивідуального росту, за якими можна розраховувати продукцію цих видів.

Таким чином, завдяки проведеним гідрофізичним і гідробіологічним дослідженням південно-західного сектора Південно-Атлантичного антициклонального круговороту дано комплексну характеристику цієї надзвичайно складної за гідрологічним режимом акваторії. Встановлено, що Південний субполярний фронт виражений досить різко: максимальні градієнти температури у фронтальній зоні перевищують 7° на 10 миль,

солоності — 1,0‰ на 10 миль. Шар великих градієнтів простежується до глибин 600—800 м. Геострофічні течії спрямовані вздовж осі фронту, максимальні швидкості течії в приповерхневих шарах досягають 3—4 вузлів. Води Фолклендської і Бразильської течій, що зустрічаються у фронтальній зоні, різняться за вмістом фосфору, кремнію, кисню та інших хімічних елементів. Так, якщо води Фолклендської течії у приповерхневому шарі містять фосфору близько 45 мкг/л , то води Бразильської течії — менш як 5 мкг/л . Тому фронтальну зону виявлено також за розподілом гідрохімічних характеристик. Розподіл оптичних властивостей показує хорошу кореляцію з гідробіологічними характеристиками водних мас.

Складний динамічний, гідрологічний і гідрохімічний режим південно-західного сектору Південно-Атлантичного антициклонального круговороту визначає основні риси структури планктонних угруповань в різних частинах цього району.

У зоні найбільш активних динамічних процесів Південного субполярного фронту, що позначається інтенсивним підйомом вод, які несуть до поверхні біогенні елементи, планктонні угруповання відзначаються високими показниками сумарної біомаси, великою частиною якої є фітопланктон. У цій зоні одержано максимальні величини первинної продукції (до 2,4 г C/м^2). В міру «ослаблення» фронту в напрямі сходу сумарна біомаса планктону зменшується у 1,5—2 рази.

З віддаленням від фронтальної зони величини біомаси планктону знижуються. Так, на широтному перерізі об'єм сіткового сестону в шарі 0—100 м становив 901 $\text{мм}^3/\text{м}^3$, тоді як у водах Бразильської і Фолклендської течій ці величини були відповідно у 4 і 2 рази нижчі. Співвідношення біомаси компонентів, що становлять планктон, істотно змінюється на користь зоопланктону. Змінюється також вертикальний розподіл планктону. З просуванням у теплі води помірної зони максимум кількості планктону заглиблюється, що можна пояснити збільшенням частки використовуваних у нижніх шарах фотичної зони біогенів і зниженням інтенсивності надходження їх з глибин.

Поряд із збільшенням частки гетеротрофних організмів у планктоні вод помірної зони (зокрема, теплих вод Бразильської течії) зростає «гетеротрофний потенціал» автотрофних організмів.

Після остаточної обробки й аналізу зібраних матеріалів буде зроблено детальну характеристику гідрофізичної біологічної структури, кількісних показників функціонування й продуктивності планктонного угруповання, що, зокрема, необхідно для наукового обґрунтування експлуатації біологічних ресурсів району.

Дослідження, проведені в 27-му і 30-му рейсах ндс «Михаил Ломоносов», продемонстрували перспективність творчого співробітництва гідрофізиків, гідрохіміків і біологів у комплексному вивченні великих океанічних круговоротів за широкою програмою, в якій всі напрями зв'язані між собою. В десятій п'ятирічці роботи буде продовжено за проектом «Південний круговорот», виконуваним спільно Морським гідрофізичним інститутом АН УРСР та Інститутом біології південних морів АН УРСР.

Література

1. Ковальов О. В., Хлистов М. З. Комплексне дослідження екологічної системи Південної Атлантики у 27 рейсі ндс «Михаил Ломоносов». — Вісник АН УРСР, 1974, № 7, с. 90—94.
2. Грезе В. Н., Ковалев А. В., Хлыстов Н. З. Комплексные гидрофизические и биологические исследования пелагиали Южной Атлантики и Средиземного моря. У кн.: Экспедиционные исследования в Южной Атлантике и Средиземном море. 27 рейс нис «Михаил Ломоносов». К., «Наукова думка», 1975, с. 3—7.
3. Hentschel E. Algemeine biologie des Südatlantischen Ozeans. B. XI. Berlin u. Leipzig, 1933, 1936, p. 344.