

УДК 551.465

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКАХ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА И ПАРАМЕТРАХ СРЕДЫ НА СЕВЕРНОМ СЕГМЕНТЕ ХРЕБТА МОНА, НОРВЕЖСКОЕ МОРЕ

© 2023 г. А. А. Клювиткин^{1,*}, М. Д. Кравчишина¹, А. Н. Новигатский¹, Н. В. Политова¹,
А. В. Булохов¹, член-корреспондент РАН С. К. Гулев¹

Поступило 12.07.2023 г.

После доработки 03.08.2023 г.

Принято к публикации 04.08.2023 г.

Впервые выполнены непрерывные двухгодичные исследования потоков вещества и сопутствующих параметров среды в осевой зоне арктического сегмента Срединно-Атлантического хребта в месте сочленения хребтов Мона и Книповича (Норвежское море). Постановка седиментационных ловушек проводилась с борта НИС “Академик Мстислав Келдыш” в июне 2019 г. в северо-восточной части хр. Мона с ревизией в августе 2020 г. и подъемом в июле 2021 г. Показано, что осаждение частиц в районе исследования происходило под воздействием глобального переноса водных масс в северо-восточном направлении, причем в подповерхностном слое это атлантические воды, а глубже рециркулируют водные массы арктического происхождения. Выявлен слабый положительный температурный тренд на глубине более 2500 м (0.02°C за 2 года). Бимодальное вертикальное распределение потоков и изменение состава оседающих частиц соответствовали схеме рециклинга осаждающегося вещества в океане. Годовой ход потоков в подповерхностном слое определялся активностью кремнийконцентрирующего и кальцифицирующего планктона, причем максимум периода цветения проявляется и в глубинном слое. При этом основным значимым модератором потока глубже 2000 м является поступление литогенного вещества из придонного нефелоидного слоя.

Ключевые слова: Арктика, Северный Ледовитый океан, седиментационные ловушки, латеральный поток, течения, органическое вещество, биогенный кремнезем, карбонат кальция, атлантификация

DOI: 10.31857/S2686739723601618, **EDN:** LMYVIC

ВВЕДЕНИЕ

Рассеянное осадочное вещество, взвешенное в многокилометровой толще вод океанов, является тем материалом, из которого, в конечном счете, образуются донные осадки и осадочные породы [1]. Потоки осадочного вещества в океане — это одна из основных характеристик осадкообразования, которая позволяет в динамике изучать процессы седиментации осадочного вещества, преобразование его при прохождении водной толщи, оценивать количество и состав вещества, поступающего на дно. Эти исследования проводятся в Мировом океане в рамках Ведущей научной школы академика А.П. Лисицына уже на протяжении полувека [1].

Норвежское море служит транзитной зоной, через которую осуществляется перенос теплой и соленой Атлантической воды (АВ) из Северной

Атлантики в Северный Ледовитый океан [2, 3]. Эта зона служит основным тепловым резервуаром субарктических морей и одновременно энергоактивной зоной, которая напрямую влияет на климат Европы и дальнейшее поступление АВ в Баренцево море и пролив Фрама [4].

Изучению процессов седиментации и механизмов ее формирования в этом районе посвящено значительное число работ [5–8], большая часть которых, однако, была выполнена в 80–90-е годы прошлого столетия [6–8]. Вместе с тем с начала 2000-х годов наступает этап “атлантификации” Северного Ледовитого океана, что приводит к усилению переноса тепла через Норвежское море в северном и северо-восточном направлениях [9, 10]. В Норвежском море наблюдается тенденция к увеличению температуры воды как в поверхностном, так и в более глубоком слоях, за счет увеличения теплосодержания АВ. Для оценки возможного влияния климатических изменений на количественные характеристики процессов седиментации в этом районе необходимы современные данные о потоках осадочного

¹Институт океанологии им. П.П. Шишова Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: klyuvitkin@ocean.ru

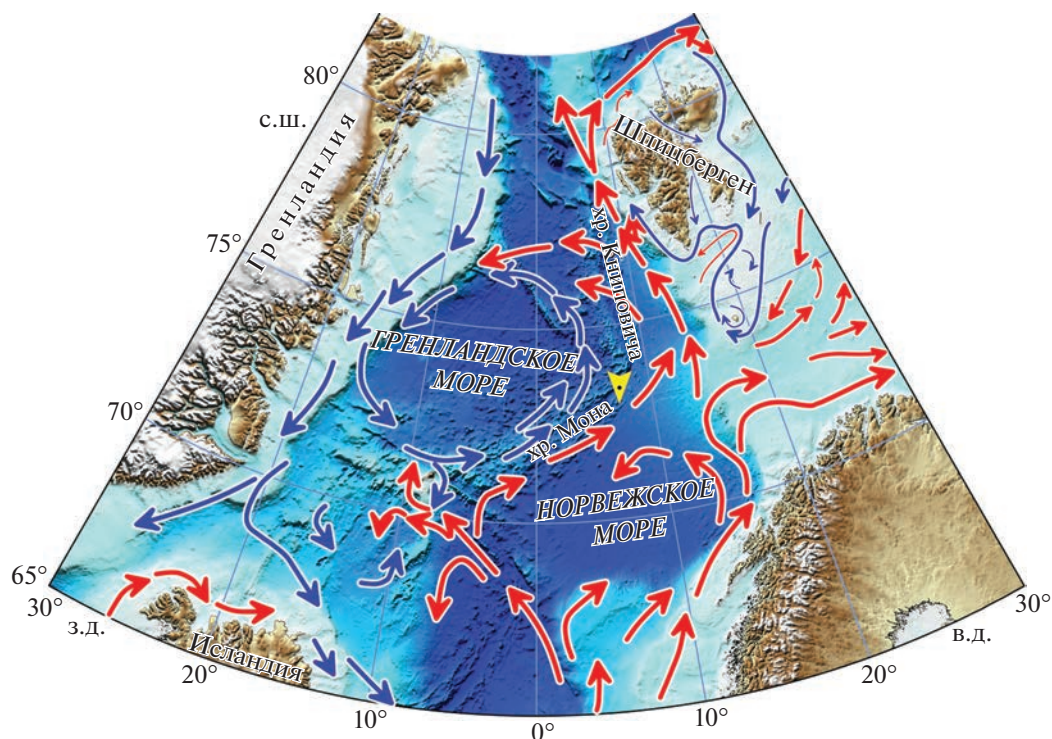


Рис. 1. Обзорная схема Норвежско-Гренландского бассейна: синие стрелки — направления перемещения полярных вод, красные стрелки — вод Атлантического океана по материалам [12, 13]. Желтый треугольник — положение АГОС.

вещества, его составе и масштабе сезонной изменчивости. Одной из причин выбора конкретной точки приложения наших усилий было исследование возможного влияния поставки гидро-термального вещества с плюмом нейтральной плавучести в осевой зоне арктического участка Срединно-Атлантического хребта вблизи области сочленения хребтов Мона и Книповича.

Таким образом, целью нашей работы стало исследование вертикальных потоков осадочного вещества в Норвежском море (рис. 1) по материалам двухгодичной работы автоматической глубоководной седиментационной обсерватории (АГОС [11]).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал для исследования собирался более двух лет (779 сут) с июня 2019 г. (75-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” [14]) по июль 2021 г. (84-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” [15]) с ревизией и перезарядкой обсерватории в августе 2020 г. (80-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” [16]) на северном сегменте хр. Мона. Для сбора осаждающегося вещества использованы дифференциальные 12-стаканные конические седиментационные ловушки “Лотос-3” с площадью сбора 0.5 м^2 производства ОКБ ОТ РАН (интервал смены пробосборников — 30 сут)

и интегральные малые цилиндрические седиментационные ловушки МСЛ-110 производства ИО РАН площадью сбора 0.0095 м^2 [17]. Схема АГОС приведена на рис. 2. “Лотос-3” устанавливали под верхним деятельным слоем (500 м) и в 330 м от дна для минимизации влияния придонного нефелоидного слоя и дополнительно комплектовали интегральными ловушками. МСЛ-110 устанавливали в промежуточных горизонтах (между коническими). Итого сбор материала проводился на 6 горизонтах. Для исключения биологической трансформации собираемого вещества флаконы-пробосборники ловушек заполняли раствором HgCl_2 (1% от насыщенного раствора) на основе фильтрата морской воды из района постановки. Соленость раствора доводили добавлением NaCl до 45 епс.

Для определения источника переноса вещества и для учета латеральной компоненты потока вещества в составе АГОС на горизонтах установили 12-стаканные ловушки устанавливали акустические измерители течений Nortek Aquadopp, а горизонты установки МСЛ-110 дополнительно комплектовали измерителями температуры и давления RBRduet.

При постановке, ревизии и подъеме ловушек с помощью судовой зондирующей системы SBE911 с батометрами Нискина проводили отбор проб морской воды для изучения сопутствующих ха-

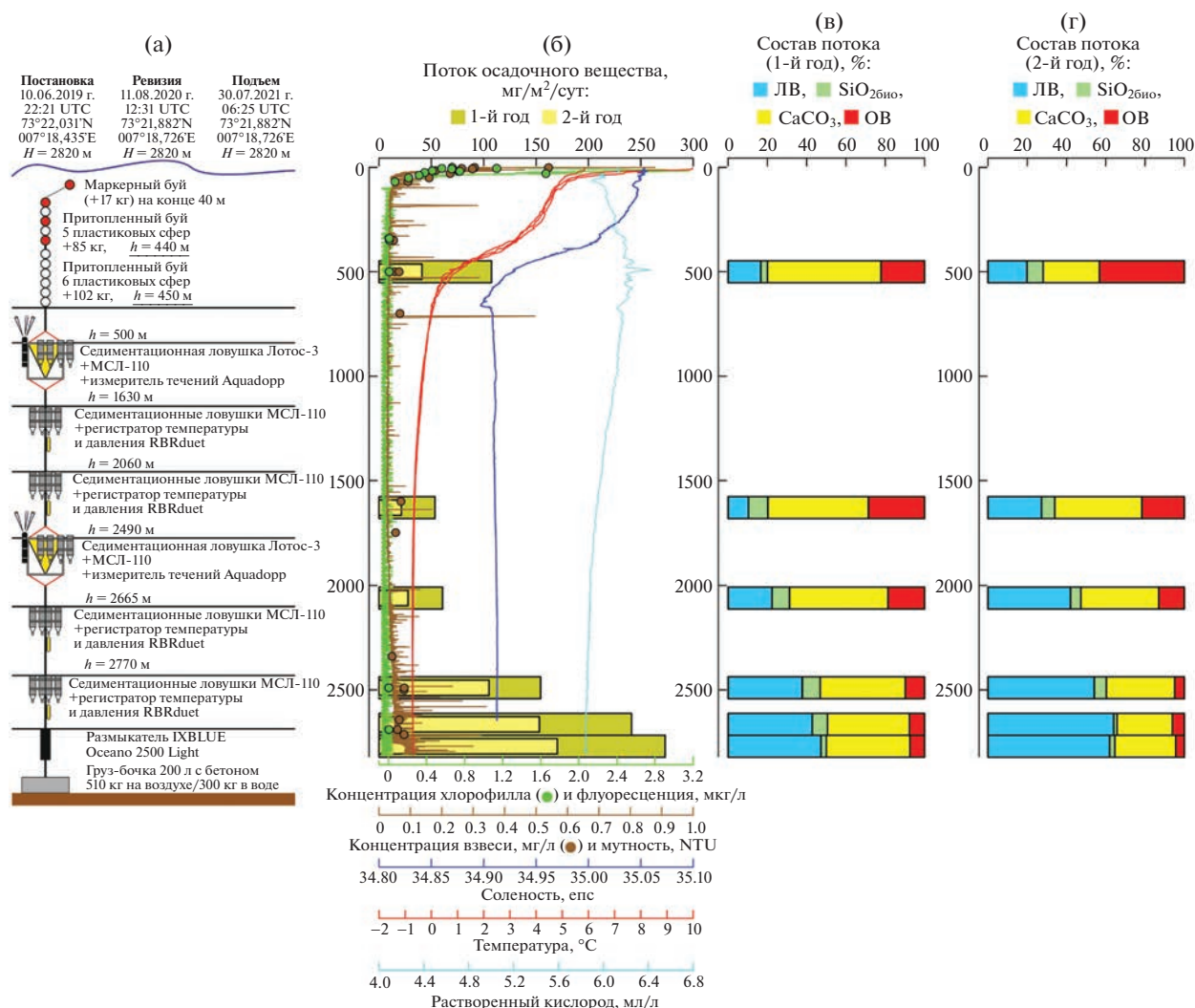


Рис. 2. Схема АГОС (а); вертикальное распределение интегральных годовых вертикальных потоков осадочного вещества и параметров водной толщи при постановке, ревизии и подъеме АГОС (б); состав осаждающегося вещества в 1-й (в) и 2-й (г) годы работы АГОС.

рактических характеристик водной толщи, в том числе, водной взвеси. Дальнейшая обработка собранного седиментационными ловушками осадочного материала и фильтрационной взвеси проводилась по единой для всех проб методике [5, 11, 18]. Определено содержание Si и Al фотометрическим методом в модификации А.Б. Исаевой для взвеси (точность 2–5%). Определение $C_{\text{вал}}$ и $C_{\text{карб}}$ выполнялось на анализаторе TOC-L Shimadzu с приставкой SSM-5000A, $C_{\text{орг}}$ рассчитывали по разнице содержания $C_{\text{вал}}$ и $C_{\text{карб}}$ в образце. Погрешность прибора 1%, воспроизводимость результатов анализов $\pm 5\%$. Содержание органического вещества (ОВ) определено как удвоенный $C_{\text{орг}}$, исходя из общепринятой практики исследований [8, 11, 18], CaCO_3 рассчитан стехиометрически по $C_{\text{карб}}$, литогенное вещество (ЛВ) — по Al умножением на 12.27, а биогенный кремнезем ($\text{SiO}_{2\text{биоген}}$) вычислен

методом терригенной матрицы по разнице содержания валового и литогенного SiO_2 на основании среднего состава верхнего слоя земной коры [19]. Сумма ЛВ, ОВ, CaCO_3 и $\text{SiO}_{2\text{биоген}}$ составляла в среднем 100% при незначительном отклонении в пределах 15%.

Для расчета средних концентраций хлорофилла “а” (Хл-а) в поверхностном слое моря в районе исследования использовались данные спутникового сканера цвета моря Aqua-MODIS (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Водная толща. STD-зондирования водной толщи при постановке, ревизии и подъеме АГОС показали (рис. 2), что верхние 400 м водной толщи (за исключением сезонно прогреваемого ква-

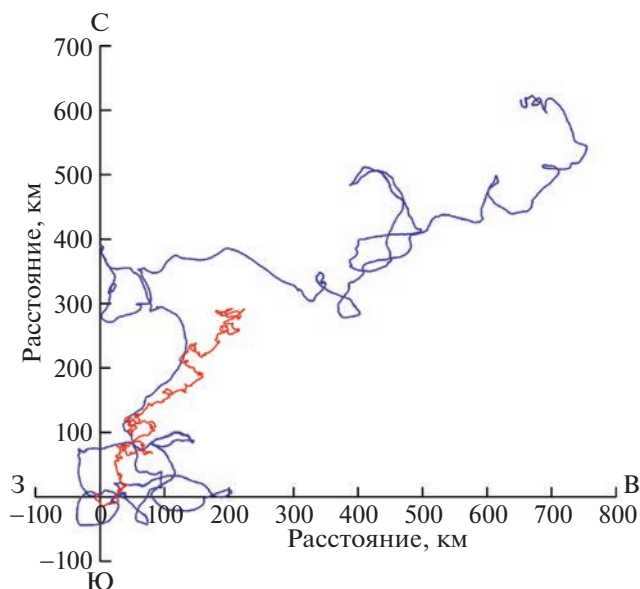


Рис. 3. Прогрессивная векторная диаграмма течений на подповерхностном горизонте 500 м (синяя линия) и на глубоководном горизонте 2490 м (красная линия).

зиднородного поверхностного слоя толщиной менее 20 м) занимает АВ, относительно теплая (3–5°C) и соленая (35.0–35.05 епс). Ярво выраженных межгодовх колебаний температуры слоя АВ не выявлено. Глубже залегают арктические промежуточные воды Норвежского моря (температура –0.5–0.5°C, солeность 34.9 епс), ядро которых хорошо маркируется слабо повышенным содержанием растворенного кислорода в слое 500–700 м [12]. Далее до дна залегают глубинные воды Норвежского моря с характерной температурой ниже –0.7°C и солeностью 34.91 епс.

Концентрации взвеси в водной толще варьировали от относительно высоких 0.18–0.54 мг/л в верхнем деятельном слое (0–50 м) до минимальных 0.04–0.08 мг/л в глубинных слоях. При этом поверхностные воды (0–25 м) отличались сравнительно высокими значениями концентрации Хл-а (0.46–1.65 мкг/л). Для вертикального распределения Хл-а характерно наличие подповерхностного максимума (15–35 м). По мере увеличения глубины до 50 м концентрации Хл-а постепенно уменьшались до 0.1–0.2 мкг/л, а глубже 100 м были минимальны (≤ 0.01 мкг/л). Значимой межгодовой изменчивости за двухлетний период наблюдений в распределении взвеси и Хл-а не выявлено. Максимум Хл-а определен в июне 2019 г. и соответствует началу весеннего цветения фитопланктона.

Течения. Перенос водных масс во всей толще происходил в северо-восточном направлении (рис. 3). При этом в 2019–2020 гг. течение в целом было направлено на северо-северо-восток, а в 2020–2021 гг. повернуло на восток-северо-во-

сток. В придонном слое таких изменений не наблюдалось. Суммарное накопленное перемещение водных масс в подповерхностном слое составило 897 км, а в глубинном слое 367 км. Скорость течения в подповерхностном слое варьировала в пределах 0–32.3 см/с при среднем значении 7.3 см/с. В глубинном слое скорости течения не превышали 13.7 см/с при среднем значении 2.7 см/с. Отмечено увеличение скорости течения практически синхронно в обоих слоях в марте–апреле как 2020 г., так и 2021 г., при этом преобладали течения северных направлений. В подповерхностном слое также выделяются похожие сезонные всплески скорости течения в декабре 2019 г. и 2020 г.

Температура. Двухлетние измерения температуры показали синхронный слабый рост температуры около 0.02°C на горизонтах работы наддонной (2665 м) и придонной (2770 м) интегральных МСЛ-110 (рис. 4 е). Выше, на горизонтах 500 и 2490 м подобные тренды не выявлены, однако на этих горизонтах были установлены встроенные в измерители течений датчики температуры с низким разрешением 0.01°C.

Валовые потоки вещества. Для вертикального распределения интегральных годовых потоков вещества характерна бимодальность (рис. 2): максимум в подповерхностном слое, минимум в промежуточных водах в слое растворения [1] и резкое увеличение величины потока в придонном нефелoидном слое. Увеличение мутности в придонном слое фиксировалось лазерным анализатором частиц LISST-Deer и нефелометром в составе судового зондирующего комплекса при постановке, ревизии и подъеме АГОС. По данным зондирования нефелoидный слой распространялся от дна (2820 м) до ~2000 м, а его мощность, таким образом, превышала 800 м. Выявлено почти двукратное уменьшение величин потоков при второй экспозиции АГОС, однако, общее бимодальное распределение повторяется в оба периода наблюдения.

Обработка материалов, собранных дифференциальными ловушками, выявила в подповерхностном (500 м) слое выраженный годовой ход потоков вещества. Наибольшие потоки приходятся на летнее время (июнь–сентябрь) с абсолютным максимумом в июле 2019 г. – 274 мг/м²/сут. Схожий годовой ход распределения Хл-а в поверхностном слое выявлен также благодаря анализу данных спутникового сканера цвета моря Aqua-MODIS (рис. 4 а). С ноября по май на глубине 500 м потоки минимальны. В глубинном слое первый период работы АГОС характеризуется бимодальной схемой распределения потоков во времени с максимумами в июне–июле 2019 г. и апреле–мае 2020 г., когда потоки резко возрастали до 256 мг/м²/сут, почти достигая прошлогоднего

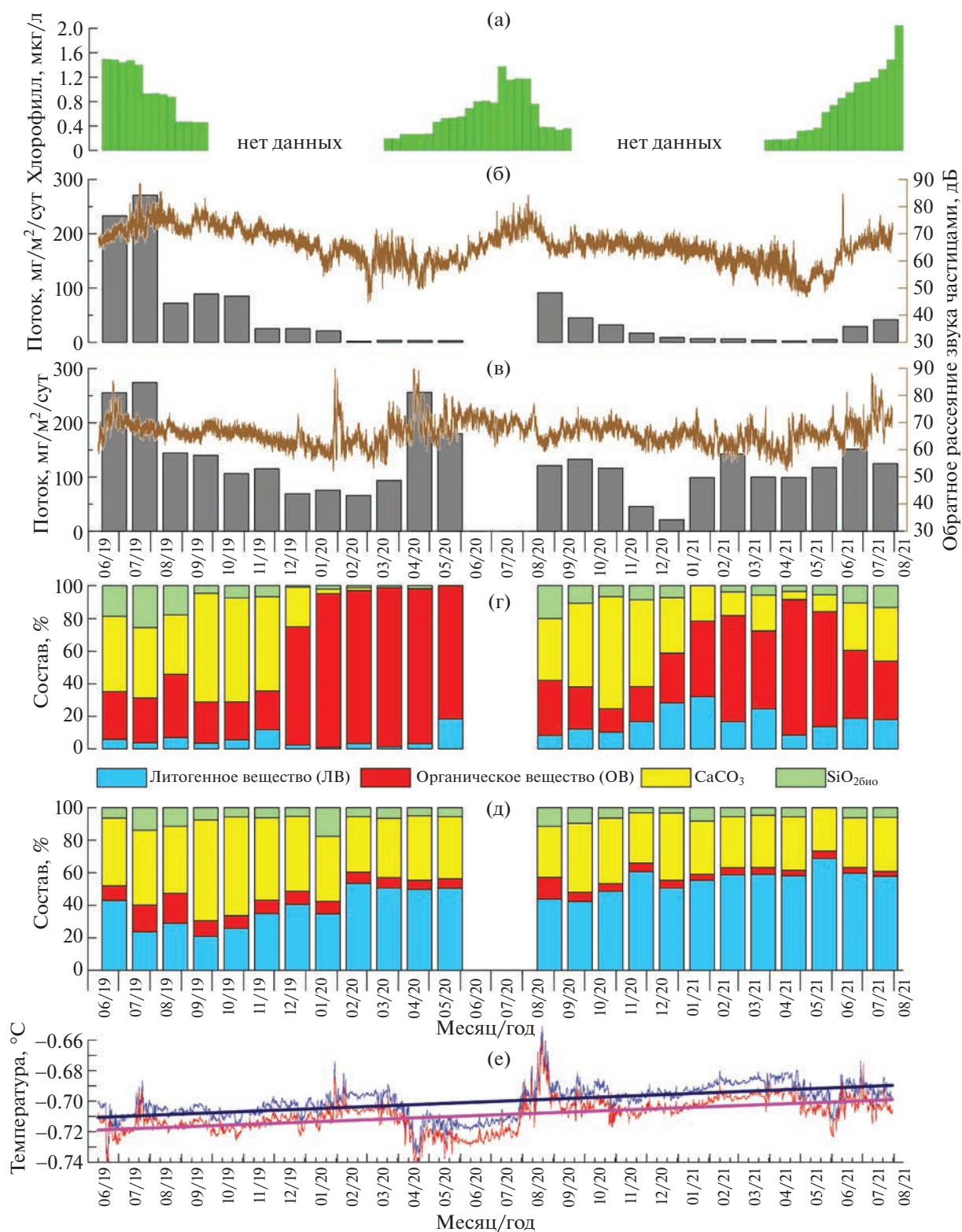


Рис. 4. Содержание хлорофилла "а" в поверхностном слое океана по спутниковым данным (а); вертикальные потоки осадочного вещества и обратное рассеяние звука частицами осадочного вещества в подповерхностном горизонте 500 м (б) и глубинном горизонте 2490 м (в); состав осаждающегося вещества в подповерхностном горизонте 500 м (г) и глубинном горизонте 2490 м (д); температура на горизонтах 2665 м (красная линия) и 2770 м (синяя линия) и соответствующие линии трендов (е).

летнего максимума. Второй год работы АГОС на глубинном горизонте отличался более ровным годовым ходом величин потоков, среди которых наблюдался локальный минимум потоков в ноябре—декабре 2020 г.

Выраженной межгодовой изменчивости величин потоков не зафиксировано. Отмечается только значительное уменьшение потоков из поверхностного слоя океана в июне—июле 2021 г. по сравнению с этим же периодом в 2019 г. На июнь—июль 2020 г. данных по потокам нет.

Годовой ход потоков соответствует изменению коэффициента обратного рассеяния звука взвесью по данным акустических измерителей течений, отработавших на тех же горизонтах (рис. 4 б, в). В июне—июле 2020 г. по этим данным наблюдается увеличение акустического рассеяния, что может говорить о значительном возрастании потоков частиц. Однако, к сожалению, данный период остался неохваченным для сбора вещества дифференциальными ловушками, т.к. работы по ревизии и перестановке АГОС в 2020 г. оказались возможными только через 2 мес после завершения годового цикла сбора вещества ловушками первого срока наблюдений.

Состав вещества потоков. В составе вещества верхних слоев (500 и 1630 м) преобладает биогенное вещество (БВ) с большим количеством планктонных организмов (зоопланктон, рачки и др.). В глубинных слоях, начиная с 2060 м и до дна, в пробосборниках МСЛ-110 наблюдается только плотный осадок коричневого цвета практически без включений разнородных биогенных остатков — литогенное вещество (ЛВ). Это подтверждается данными исследования основных компонент осаждающегося вещества. В поверхностном и промежуточном слоях преобладает БВ (как сумма ОВ, CaCO_3 и $\text{SiO}_{2\text{био}}$) — 89%, а начиная с 2000 м возрастает доля ЛВ, содержание которого достигает своего максимума в придонном слое — 60–64%.

Зафиксирован выраженный годовой ход изменчивости состава биогенного материала в подповерхностном слое. С июня по декабрь и 2019, и 2020 г. преобладал CaCO_3 (37–69%), ОВ варьировало в пределах 14–39%, а доля $\text{SiO}_{2\text{био}}$ составляла 7–25%. Причем максимум $\text{SiO}_{2\text{био}}$ (18–25%) приходится на июнь—август. В зимние месяцы (декабрь—май), когда минимальны величины валового потока, наблюдается трехкратное увеличение содержания ЛВ (до 33%).

В глубоководном слое годовые флуктуации состава потока были незначительны и соответствовали среднему составу по данным интегральных годовых МСЛ-110. Наблюдается незначительное снижение доли ЛВ с июля по октябрь, более заметно выраженное в 2019 г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании суммарного векторного переноса водных масс через точку наблюдения и средних концентраций взвеси за три года исследований, латеральный поток частиц вычисляется как 69.0 и 37.6 г/м²/сут в подповерхностном и в глубоководном слое соответственно. Эти значения на 3 порядка величин превосходят вертикальный поток частиц, определенный с помощью седиментационных ловушек. Получается, что вблизи источника оседает лишь около 0.1–0.4% частиц, а все остальное переносится в латеральном направлении, главным образом, на северо-восток. При этом в глубоководном слое доля оседающих частиц выше (0.4%) за счет более низких скоростей течения. Однако это намного больше, чем, например, на восточном склоне Лофотенской котловины Норвежского моря [20].

Усиление гидродинамической активности среды в марте—апреле нашло отражение в кратковременных заглублениях приборов вследствие наклона АГОС течением. Максимальное заглубление приборов отмечалось в марте и в подповерхностном слое составляло около 50 м, а в глубинном — 8 м относительно заданного горизонта работы прибора. Эти значения значительно ниже наблюдаемых нами в 2018–2019 гг. в Лофотенской котловине (270 и 19 м соответственно). Таким образом, район работы АГОС отличается более спокойным гидродинамическим режимом вод по сравнению с близлежащей Лофотенской котловиной, и здесь возможно осаждение частиц, поступающих с юга и юго-запада Норвежского моря и не оседающих из-за высоких скоростей течений. Возможно, поэтому валовые потоки частиц в подповерхностном слое, полученные в данном исследовании, выше, чем в Лофотенской котловине [5]. При этом в придонном слое потоки в Лофотенской котловине выше, очевидно, за счет более интенсивного взмучивания и переотложения частиц нефелоидного слоя при больших скоростях течений.

Значительное уменьшение интегральных годовых потоков во второй год работы АГОС обусловлено сбором материала интегральными ловушками только в один период максимума осаждения частиц (июнь—июль 2021), в то время как интегральные МСЛ-110 первого года постановки охватили максимумы 2019 и 2020 г. При этом максимум 2021 г. оказался не столь значительным, как в предыдущие годы, что также подтверждается распределением обратного рассеяния звука взвесью по данным акустических измерителей течения и Хл-а по спутниковым данным (рис. 4). В целом бимодальное вертикальное распределение потоков и изменение состава потоков (уменьшение доли БВ и рост содержания ЛВ ко дну) соот-

ветствуют схеме рециклинга осаждающегося вещества в океане [1].

Результаты анализа спутникового распределения Хл-а в сочетании с величинами валовых потоков частиц и вариативностью состава оседающего вещества показали, что годовой ход потоков в подповерхностном слое определяется активностью фитопланктона. Причем увеличение доли $\text{SiO}_{2\text{био}}$ в месяцы с максимумами как валовых потоков, так и концентраций Хл-а на поверхности океана (июнь—август) свидетельствует о возрастании в потоке агрегатов детрита диатомовых водорослей как основного кремнийконцентрирующего фитопланктона изучаемого региона [6, 8]. При этом высокое содержание CaCO_3 в весенне-летние месяцы и его увеличение в составе потока после спада цветения диатомовых в сентябре—ноябре указывают на возрастающую роль кальцифицирующего планктона, в том числе, птеропод в формировании потока [5, 6, 8]. Локальное увеличение валовых потоков в сентябре—октябре 2019 г. в сочетании с возрастанием содержания CaCO_3 является примером этого факта.

Высокие потоки в подповерхностном слое в июне—июле 2019 г. находят свое отражение в это же время в глубинном слое, что проявляется в увеличении как валового потока, так и его биогенной компоненты. В остальное время максимумы потоков в подповерхностном и глубинном слоях не совпадают. Так, резкое увеличение потока на глубине 2490 м в апреле—мае 2019 г. никак не проявилось на глубине 500 м. При этом по визуальным оценкам объем вещества, собранного в апреле, возрос не так сильно, т.е. апрельское вещество характеризуется более высокой плотностью по сравнению с июльским и, соответственно, отличается от него по вещественному составу и происхождению. Очевидно, что июльский пик обусловлен поступлением вещества из подповерхностного слоя в результате сезонного возрастания первичной продукции, а апрельский пик связан с изменением гидрологической обстановки и, в результате, повышением гидродинамической активности придонного нефелоидного слоя.

Валовый состав вещества потоков не позволяет оценить возможный вклад частиц гидротермального генезиса, поступающих в результате дальнего переноса плюма нейтральной плавучести от неустановленного источника. Для идентификации отдельных гидротермальных частиц в составе гетерогенного вертикального потока требуются дальнейшие прецизионные исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые выполнены непрерывные двухгодичные исследования потоков вещества и связанных

с ними параметров среды в осевой зоне арктического сегмента Срединно-Атлантического хребта в месте сочленения хребтов Мона и Книповича.

Показано, что осаждение частиц в районе исследования происходило под воздействием глобального переноса водных масс в северо-восточном направлении, причем в подповерхностном слое это атлантические воды, а глубже рециркулирующие водные массы арктического происхождения. Выявлен слабый двухгодичный положительный температурный тренд на глубине более 2500 м.

Бимодальное вертикальное распределение величины потоков и изменение состава оседающих частиц соответствовали схеме рециклинга осаждающегося вещества в океане. Годовой ход потоков в подповерхностном слое определялся активностью кремнийконцентрирующего и кальцифицирующего групп планктона, причем максимум периода цветения проявляется и в глубинном слое. При этом основным значимым источником потока глубже 2000 м является поступление литогенного вещества из придонного нефелоидного слоя.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят экипаж НИС “Академик Мстислав Келдыш” и научный состав экспедиций за помощь в полевых исследованиях.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 20-17-00157 (<https://rscf.ru/project/20-17-00157/>). Обработка данных профилографов среды выполнена в рамках Важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИПГЗ), соглашение № 169-15-2023-002. Экспедиционные исследования частично выполнены в рамках госзадания, тема № FMWE-2021-0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли / Мировой океан. Т. II. М.: Научный мир, 2014. С. 331—571.
2. Rossby T., Prater M.D., Soiland H. Pathways of inflow and dispersion of warm waters in the Nordic seas // J. Geoph. Res. 2009. V. 114. P. C04011.
3. Segtnan O.H., Furevik T., Jenkins A.D. Heat and freshwater budgets of the Nordic seas computed from atmospheric reanalysis and ocean observations // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2011. V. 116. № C11003.
4. Nilsen J.E.Ø., Falck E. Variations of mixed layer properties in the Norwegian Sea for the period 1948—1999 // Progress in Oceanography. 2006. V. 70. № 1. P. 58—90.

5. Дриц А.В., Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Карманов В.А., Новигатский А.Н. Потоки осадочного вещества в Лофотенской котловине Норвежского моря: сезонная динамика и роль зоопланктона // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 4. С. 576–594.
6. Bodungen B., Antia A., Bauerfeind E., et al. Pelagic processes and vertical flux of particles: an overview of a long-term comparative study in the Norwegian Sea and Greenland Sea // *Geologische Rundschau*. 1995. V. 84. P. 11–27.
7. Honjo S., Manganini S.J., Krishfield R.A., Francois R. Particulate organic carbon fluxes to the ocean interior and factors controlling the biological pump: A synthesis of global sediment trap programs since 1983 // *Progress in Oceanography*. 2008. V. 76. P. 217–285.
8. Peinert R., Antia A., Bauerfeind E., et al. Particle flux variability in the Polar and Atlantic Biogeochemical Provinces of the Nordic Seas / The Northern North Atlantic: A Changing Environment, edited by P. Schafer, W. Ritzrau, M. Schluter, and J. Thiede. Springer, Berlin, 2001. P. 53–68.
9. Lind S., Ingvaldsen R.B., Furevik T. Arctic warming hotspot in the northern Barents Sea linked to declining sea-ice import // *Nature Climate Change*. 2018. V. 8. P. 634–639.
10. Polyakov I.V., Pnyushkov A.V., Alkire M.B., et al. Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean // *Science*. 2017. V. 365. Iss. 6335. P. 285–291.
11. Лисицын А.П., Лукашин В.Н., Новигатский А.Н. и др. Глубоководные обсерватории на трансатлантическом разрезе — непрерывные исследования потоков рассеянного осадочного вещества // *ДАН*. 2014. Т. 456. № 4. С. 485–489.
12. Blindheim J., Østerhus S. The Nordic Seas, main oceanographic features // *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*. 2005. V. 158. P. 11–37.
13. Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea // *Polar research*. 1991. V. 10. № 1. P. 5–18.
14. Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Немировская И.А., Баранов Б.В., Коченкова А.И., Лисицын А.П. Исследование седиментосистем Европейской Арктики в 75-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш” // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 3. С. 485–487.
15. Кравчишина М.Д., Клювиткин А.А., Володин В.Д. и др. Системные исследования осадкообразования в Европейской Арктике в 84-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш” // *Океанология*. 2022. Т. 62. № 4. С. 660–663.
16. Клювиткин А.А., Политова Н.В., Новигатский А.Н., Кравчишина М.Д. Исследования Европейской Арктики в 80-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш” // *Океанология*. 2021. Т. 61. № 1. С. 156–158.
17. Лукашин В.Н., Клювиткин А.А., Лисицын А.П., Новигатский А.Н. Малая седиментационная ловушка МСЛ-110 // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 4. С. 746–750.
18. Клювиткин А.А., Новигатский А.Н., Политова Н.В., Колтовская Е.В. Исследования потоков осадочного вещества на многолетнем трансатлантическом разрезе в зоне взаимодействия Северной Атлантики и Арктики // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 3. С. 454–465.
19. Rudnick R. L., Gao S. Composition of the continental crust // *Treatise on geochemistry*. 2014. Т. 4. С. 1–51.
20. Лукашин В.Н. Седиментация на континентальных склонах под влиянием контурных течений. М.: ГЕОС, 2008. 250 с.

FIRST DATA ON VERTICAL PARTICLE FLUXES AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN THE NORTHERN PART OF THE MOHNS RIDGE, NORWEGIAN SEA

A. A. Klyuvitkin^{a,*}, M. D. Kravchishina^a, A. N. Novigatsky^a, N. V. Politova^a,
A. V. Bulokhov^a, and Corresponding Member of the RAS S. K. Gulev^a

^a*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^{*}*E-mail: klyuvitkin@ocean.ru*

For the first time, a continuous two-year study of the particle fluxes and associated environmental parameters in the axial zone of the Arctic segment of the Mid-Atlantic Ridge at the junction of the Mohs and Knipovich Ridges (Norwegian Sea) was carried out. Sediment traps were deployed from the R/V *Akademik Mstislav Keldysh* in June 2019 in the northeastern part of the Mohs Ridge and realized in July 2020. It was shown that the sedimentation of sinking particles in the study area was influenced by the global transport of water masses in the northeastern direction, with Atlantic waters in the subsurface, and water masses of Arctic origin recirculating deeper in the subsurface. A weak positive temperature trend at a depth of more than 2500 m (0.02°C) is detected. The bimodal vertical distribution of fluxes and changes in the composition of sinking particles corresponded to the pattern of sediment recycling in the ocean. The annual course of fluxes in the subsurface layer was determined by the activity of silicon-concentrating and calcifying plankton, with the maximum bloom period also manifested in the deep layer. At the same time, the main significant moderator of flux deeper than 2000 m is the inflow of lithogenic matter from the benthic nepheloid layer.

Keywords: Arctic Ocean, sediment traps, lateral flux, currents, organic matter, biogenic silica, calcium carbonate, temperature trend, atlantification