

УДК 551.465

## КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОГО МОРЯ В ИЮЛЕ 2012 г. В ЭКСПЕДИЦИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА “ЭКОЛОГ”

© 2013 г. А. А. Ключевиткин<sup>1</sup>, М. Д. Кравчишина<sup>1</sup>, А. С. Филиппов<sup>1</sup>, А. В. Толстикова<sup>2</sup>,  
Л. Е. Рейхард<sup>1</sup>, А. Д. Мутовкин<sup>1</sup>, А. Л. Чульцова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

<sup>2</sup>Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, Петрозаводск

<sup>3</sup>Северо-Западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Архангельск

e-mail: klyuvitkin@ocean.ru

Поступила в редакцию 28.02.2013 г.

DOI: 10.7868/S0030157413060051

В период с 9 по 16 июля 2012 г. в Белом море проводилась комплексная многодисциплинарная экспедиция на борту НИС “Эколог”, организованная Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН и Институтом водных проблем Севера Карельского НЦ РАН. Исследования проводились в рамках проекта “Система Белого моря” (руководитель — академик А.П. Лисицын) [2]. В экспедиции участвовали сотрудники Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (в том числе, его Северо-Западного отделения), Института водных проблем Севера Карельского НЦ РАН и Санкт-Петербургского государственного университета. Маршрут экспедиции показан на рис. 1.

Основная цель экспедиции — многодисциплинарное исследование осадочной системы Белого моря с охватом всех разделов океанологии (физики, химии, биологии и геологии). В экспедиции решались следующие задачи:

1. Изучение геохимических процессов на границе река—море (маргинальный фильтр (МФ) реки Кемь).
2. Прием и обработка данных спутниковых сканеров цвета моря (построение карт распределения взвеси, хлорофилла “а” (хл “а”), температуры).
3. Работа на ходу судна с отбором проб с поверхности для верификации данных спутникового сканера цвета моря MODIS-Aqua по распределению хл “а”, взвеси.
4. Гидрофизическое зондирование на станциях многопараметрическим зондом CTD 90M (Sea & Sun) с определением температуры, солёности, мутности и др.
5. Определение глубины видимости диска Секки.
6. Отбор проб воды из водной толщи и ее фильтрация через ядерные и стекловолокнистые фильтры для определения количественного распределения и состава взвеси, а также исследования растворенных форм углерода и металлов.
7. Изучение состава и биомассы фитопланктона.
8. Подъем и перестановка на новый срок притоп-

ленных буйковых станций с седиментационными ловушками, поставленных в июле 2011 г. в рейсе НИС “Эколог”. 9. Отбор проб донных осадков дночерпателем и трубкой Неимисто. 10. Геофизические работы с помощью аппаратуры сейсмоакустического комплекса “Геонт-шельф” (спаркер).

Исследования были сфокусированы на трех полигонах: 1) область структурного фронта в южной части Горла, 2) область солёностного фронта в северной части Двинского залива и 3) область МФ р. Кеми.

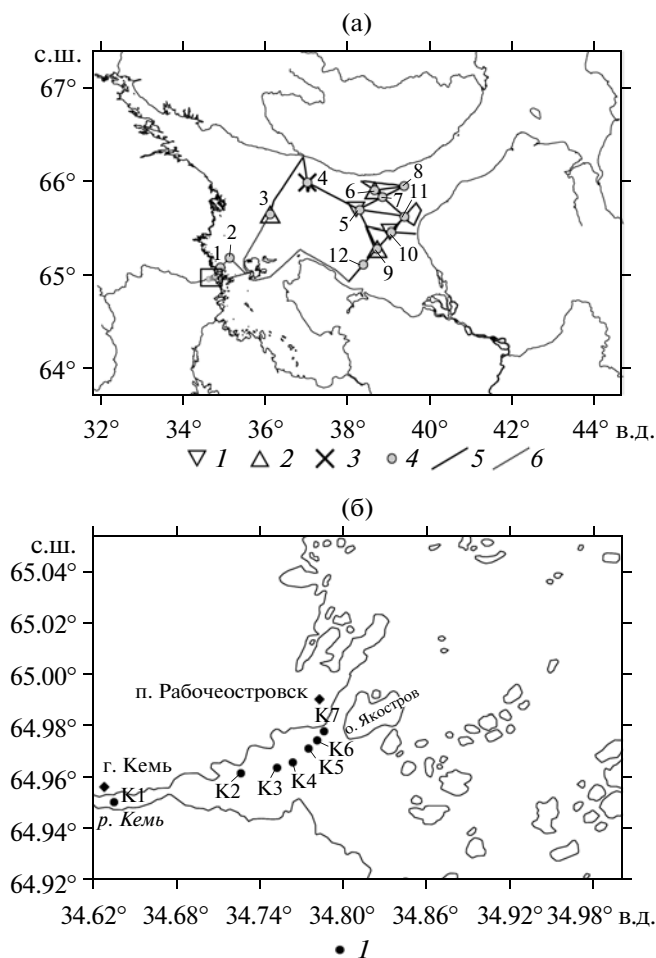
В экспедиции судном было пройдено 705 морских миль, в т.ч. 415 морских миль с сейсмопрофилированием, выполнено 18 станций (рис. 1а). Для выполнения работ в МФ р. Кеми (рис. 1б) использовался катер “Казанка 5 М”. Ниже представлены некоторые предварительные результаты исследований.

Температура поверхностного слоя в Бассейне Белого моря повышалась от 8 до 14°C в направлении с запада на восток. Наиболее теплым районом оказалась граница с Горлом.

Термоклин установлен на глубине 10–15 м. В придонном горизонте температура была не ниже –1°C, а в некоторых районах (ст. 2) достигала 5.5°C, что хорошо согласуется с многолетними данными.

Солёность в поверхностном горизонте Бассейна составляла 26–27 епс. Положение галоклина в целом соответствовало положению термоклина (10–15 м). В придонном горизонте солёность достигала 28–29 епс.

В области солёностного фронта (на границе Бассейна и Двинского залива) в поверхностном слое солёность составила 25 епс (станции 9, 10, 11), повышаясь до 28 епс у Летнего берега (ст. 12). Положение термоклина установлено на глубинах 5–7 м. На ст. 12 был хорошо выражен суточный термоклин на глубине 2 м. В придонном слое тем-



**Рис. 1.** Районы исследований в экспедиции НИС "Эколог" в Белом море в июле 2012 г.

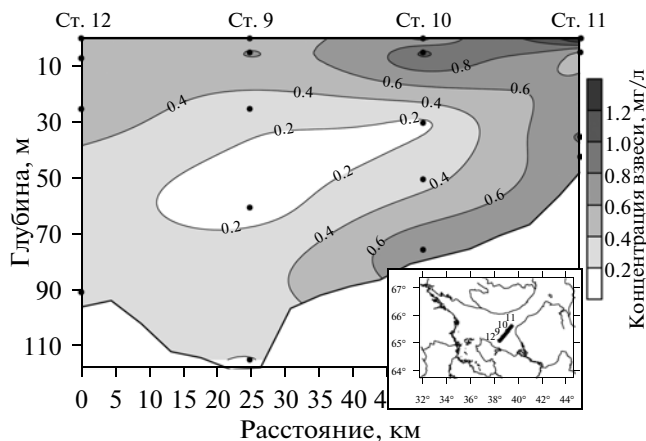
(а) – маршрут экспедиции (прямоугольником показан район маргинального фильтра р. Кемь).

1 – поднятые буйковые станции, 2 – поставленные буйковые станции, 3 – найденная буйковая станция, 4 – комплексные общесудовые станции, 5 – сейсмоакустические профили, 6 – путь судна без сейсмопрофилирования.

(б) – схема станций в маргинальном фильтре р. Кемь. 1 – комплексные станции.

температура составляла  $-0.2-0.4^{\circ}\text{C}$ , а соленость – 28–29 епс.

Исследование взвеси в МФ р. Кеми показало, что между изохалинами 0.1 и 17 епс ее концентрация уменьшалась от 3.2 до 0.9 мг/л соответственно. В этом же направлении уменьшалась концентрация хл "а" от 2.3 до 0.97 мкг/л. Высокие значения концентрации этого фитопигмента ( $>2$  мкг/л) обнаружены в пресной воде (до изохалины 0.1 епс). Наибольшая концентрация Si (до 69 мкг-ат/л) установлена между изохалинами 0.1–1.2 епс. На внешней ступени МФ (около 17 епс) она снижается примерно в 6 раз (11.8 мкг-ат/л). Между концентрациями хл "а" и Si установлена тесная корреляционная зависимость:  $y = -31x^2 + 141x - 93$ ,  $R^2 = 0.95$ ,  $n = 7$ .



**Рис. 2.** Распределение концентраций взвеси на разрезе в северо-западной части Двинского залива. На врезке – положение разреза.

ляционная зависимость:  $y = -31x^2 + 141x - 93$ ,  $R^2 = 0.95$ ,  $n = 7$ .

Концентрация взвеси в поверхностном слое Бассейна составляла 0.3–0.5 мг/л. В районе Горла в гидродинамически активной мелководной области она повышалась до 0.6 (ст. 8), а у Зимнего берега (ст. 11) до 1.5 мг/л, что вызвано, вероятно, влиянием стокового течения р. Северной Двины (рис. 2). В промежуточном слое концентрация взвеси уменьшалась в несколько раз. В придонном слое на изученных полигонах отмечался нефелюидный слой, где концентрации взвеси несколько возрастали по сравнению с промежуточным слоем.

Концентрация хл "а" в фотическом слое, как правило, превышала 1 мкг/л. Наибольшие ее значения установлены в слое 0–9 м. На станциях 4, 7, 12 этот максимум приурочен к термоклину. В Горле Белого моря (ст. 8) и в области сточного течения р. Северной Двины (станции 10 и 11) концентрация приближалась к 3 мкг/л. Содержание феофитина "а" не превышало 20%.

Изотопный состав кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) и водорода ( $\delta\text{D}$ ) изученных водных масс характеризуется большим диапазоном значений, обусловленных климатическими и гидрологическими условиями района. Наиболее изотопно-легкими являются воды р. Кеми, а наиболее тяжелыми – воды открытой акватории и поровые воды донных осадков. Для всех вод, в том числе и поровых вод осадков, наблюдается однонаправленный характер изменения изотопного состава кислорода и водорода. При этом воды Белого моря не лежат на глобальной линии метеорных вод, а составляют линию местных атмосферных осадков, близкую к зависимости  $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O}$ .

В экспедиции подняты 3 притопленные буйковые станции, проработавшие в море 1 год.

Предварительный анализ материала седиментационных ловушек, отработавших в составе станций, позволил установить высокие скорости вертикальных потоков вещества в мае–июне. Низкие значения отмечены в декабре–марте.

Одной из главных задач экспедиции являлось продолжение изучения залегания, строения и состава, а также генезиса донных отложений Белого моря. Выполнено геологическое опробование верхней части разреза четвертичных отложений (на глубину 0–50 см) с целью получения представительного фактического материала для дальнейших лабораторных исследований. Проведено детальное литологическое описание полученных проб.

Работы с применением аппаратуры сейсмоакустического комплекса “Геонт-шельф” (спаркер) проводились в Белом море впервые. Всего выполнено более 800 км сейсмической съемки морского дна. Основной объем сейсмических работ в рейсе выполнен по профилям в южной части Горла и в Двинском заливе.

На сейсмопрофилях четко проявляются все основные типы четвертичных отложений: нижняя – коренной субстрат, средняя – ледниково-морские отложения и верхняя – морские осадки. На одних профилях виден резкий фашиальный переход этих отложений, а на других на дне моря выявлены характерные аккумулятивно–эрозионные формы [1]. На отдельных участках видимая мощность осадков на сейсмических разрезах достигала 70 метров.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

1) Термохалинная структура вод Белого моря в целом соответствовала средним многолетним показателям. Положение галоклина в целом соответствовало положению термоклина (10–15 м). В области солонного фронта на границе Двинского залива и Бассейна глубина залегания сезонного термоклина варьировала от 5 до 7 м, а суточный термоклин установлен на глубине 2 м.

2) В МФ р. Кеми концентрации взвеси, хл “а” и Si уменьшались в 3–4 раза на разрезе между изохалинами 0–17 епс. Наиболее резкие изменения значений концентраций установлены при солёности 1.2 епс.

3) Повышенные концентрации взвеси (более 1 мг/л) локализуются, как правило, в прибрежной полосе, в первую очередь, в районе влияния стокового течения р. Северной Двины. Концентрация хл “а” в фотическом слое обычно превышала 1 мкг/л. Для вертикального распределения взвеси и хл “а” характерен максимум в верхнем деятельном слое (0–10 м) и резкое уменьшение концентраций (часто на один порядок и более) под термоклинном.

4) Высокие скорости вертикальных потоков вещества (по предварительным оценкам) установлены для мая–июня, низкие – для декабря–марта.

5) Изотопный состав кислорода и водорода различных водных масс Белого моря значительно отличается и может быть использован в целях изучения его гидрологической структуры. Общей закономерностью является обогащение вод тяжелыми изотопами от поверхностного горизонта к придонному.

Авторы благодарят академика А.П. Лисицына за научное руководство, В.П. Шевченко, чл.-корр. Н.Н. Филатова, В.Н. Коваленко и О.В. Копелевича за поддержку исследований, капитана и экипаж НИС “Эколог”, О.В. Баданину, Д.Ф. Будько, А.П. Георгиева, Н.В. Милановского и В.А. Григорьева за помощь в экспедиции, С.В. Вазюлю за анализ спутниковых данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 11-05-00087-а, Президента РФ № НШ-618.2012.5, программы № 23 Президиума РАН “Трансевропейский меридиональный морской эколого-геохимический разрез” и программы ОНЗ РАН № 5 “Микро- и наночастицы...”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левченко О.В., Щербаков Ф.А. Приливно-отливные формы мезорельефа и структура донных осадков восточной части Белого моря (по данным высоко-разрешающей сейсмоакустики) // Докл. РАН. 2000. Т. 372. № 6. С. 796–800.
2. Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. 784 с.