

УДК 550.47, 552.14, 550.42, 579, 574.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЕДИМЕНТОСИСТЕМ БАРЕНЦЕВА МОРЯ
И НОРВЕЖСКО-ГРЕНЛАНДСКОГО БАССЕЙНА
В 68-М РЕЙСЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА
«АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»**

© 2019 г. М. Д. Кравчишина¹, А. Н. Новигатский¹,
А. С. Саввичев^{1,2}, Л. А. Паутова¹, А. П. Лисицын¹

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

² Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, ФИЦ биотехнологии РАН, Москва, Россия
e-mail: kravchishina@ocean.ru

Поступила в редакцию 05.02.2018 г.

В статье дана краткая информация о первых результатах исследования седиментосистем области взаимодействия Северного Ледовитого и Атлантического океанов, полученных в июле–августе 2017 г. Сопряженное изучение системы рассеянное осадочное вещество (аэрозоли, водная взвесь, фитопланктон, фекальные пеллеты и др.) – концентрированное осадочное вещество (донные осадки), биогеохимических процессов преобразования вещества в этой системе в сочетании с палеоокеанологическими реконструкциями позволят судить о среде и климате разных геологических эпох в одном из ключевых районов океана. Предпринята попытка изучения роли эндогенного материала в современных седиментационных процессах в океане на примере субполярного участка системы срединно-океанических хребтов – хребта Мона.

Ключевые слова: седиментация, аэрозоли, взвесь, диагенез, биологический насос, метан, эндогенное вещество, Арктика

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0030-157459173-176>

Взаимодействие Атлантического и Северного Ледовитого океанов (СЛО) через Баренцево море и пролив Фрама – главная система, формирующая климат Европы и определяющая климат Земли в целом. В 2000-х гг. увеличилась дальность проникновения атлантической воды на север, а вместе с ней вырос перенос тепла в Арктику, что приводит к прогнозируемым климатическим изменениям [4]. Работы в этом регионе являются стратегически важными, здесь решаются главные задачи океанологии XXI века. В какой мере климатические изменения затронут экосистемы Арктики и повлияют на условия ее среды и осадконакопления? Каковы могут быть экологические следствия этих изменений?

Исследования экспедиции (18 июля – 19 августа 2017 г.) позволят расширить вклад России в изучение ключевых процессов, происходящих в области контакта Северной Атлантики с Баренцевым морем и Норвежско-Гренландским бассейном. Выполнено 70 комплексных стан-

ций, на четырех из которых применялись автоматические глубоководные седиментационные обсерватории (АГОС) [3] (рис.).

Основной целью исследований стало сопряженное изучение условий и процессов современной и древней седиментации с оценкой потоков вещества и загрязнений в области взаимодействия Северной Атлантики и СЛО для целей обоснованного прогноза климата и среды будущего.

Аэрозоли придонного слоя атмосферы. Преобладающие концентрации сажевого углерода (20–50 нг/м³) характерны для фоновых районов Арктики. Гранулометрический состав аэрозоля (от 0.3 до >10 мкм) был квазипостоянным над Баренцевым морем и изменчивым над Норвежским. Изменчивость его состава вызвана смелой траекторией воздушных масс.

Взвесь водной толщи. Реализовано всестороннее изучение взвеси (вакуумной фильтрацией, кондуктометрическим и оптическим методами с интеркалибрацией полученных данных), вклю-

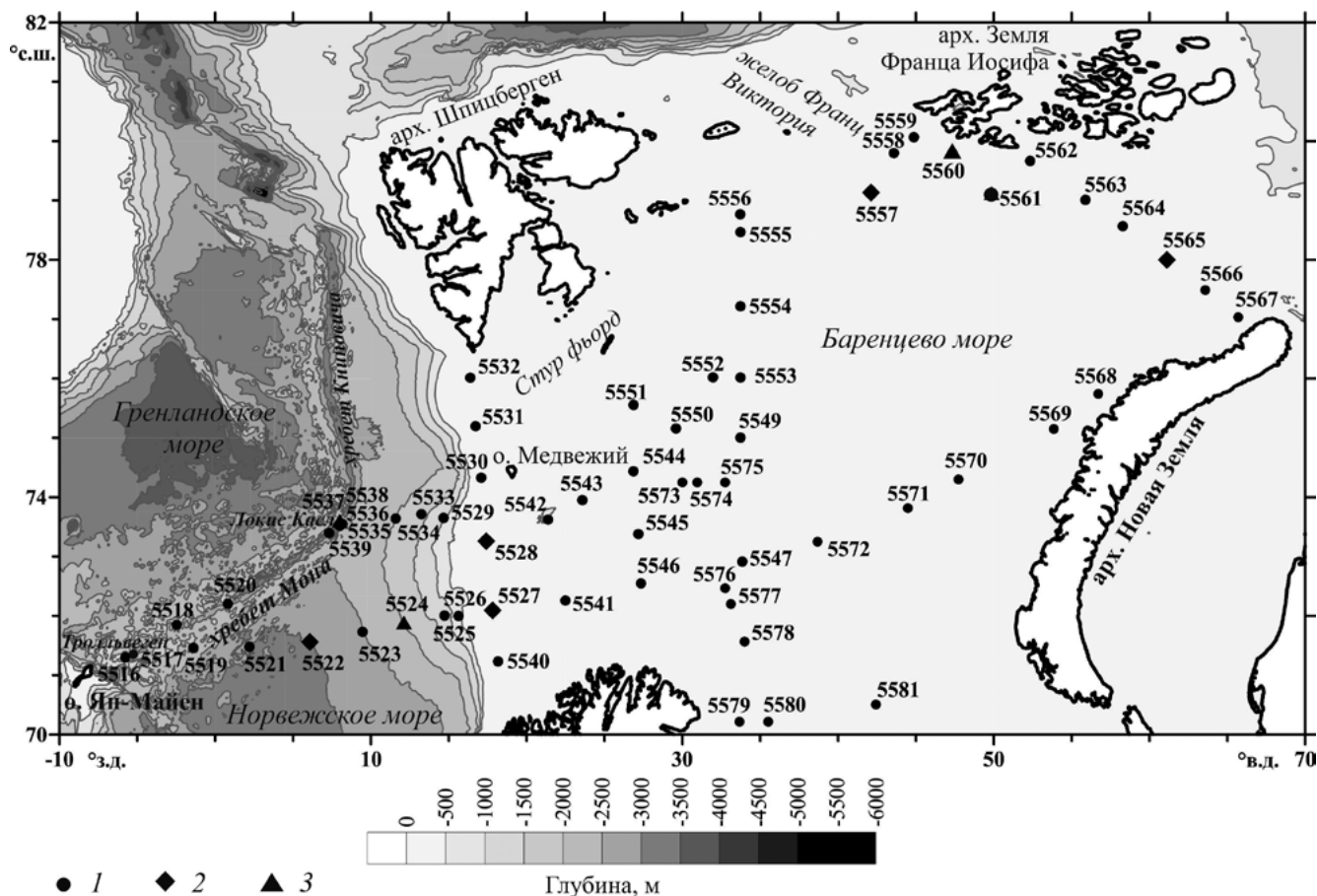


Рис. Картограмма комплексных океанологических станций в Баренцевом море и Норвежско-Гренландском бассейне, выполненных в 68-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», июль–август 2017 г.:

1 – комплексные станции, 2 – комплексные станции с АГОС,
3 – комплексные станции с отбором длинных кернов осадков (до 5 м).

чая изучение первичной продукции, бактерио- и фитопланктона. Выявлено, что высокие концентрации взвеси (до $4 \text{ мм}^3/\text{л}$) приурочены к ареалам цветения фитопланктона. Изотопный состав $S_{\text{орг}}$ взвеси деятельного слоя облегчен по сравнению с океанской взвесью и варьирует от -30.4 до -22.6‰ PDB, что обусловлено специфичностью процесса фотосинтеза в условиях высоких широт.

Установлено разное фенологическое состояние фитопланктона в июле–августе: массовое развитие арктических видов диатомей на севере Баренцева моря (у кромки ледяных полей от $78^{\circ}46'$ до $80^{\circ}03'$ с.ш.) и вспышки обилия автотрофных бореальных динофлагеллят в зоне Полярного фронта. Эти скопления соответствовали высокой концентрации хлорофилла «а» (до $5 \text{ мкг}/\text{л}$). Разное сезонное состояние фитопланктона определило различия в трофическом статусе водных масс. Величина интегральной первичной продукции варьировала от 71 до $786 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$.

Изучено уникальное для Арктики явление – обильное кокколитофоридное цветение (до $6.6 \times 10^6 \text{ кл}/\text{л}$) в Баренцевом море к югу от Полярного фронта. Массовые цветения этого вида, ежегодно наблюдавшиеся с начала 2000-х гг., могут быть напрямую связаны с изменениями климата Арктики. Получены доказательства «атлантического» происхождения баренцевоморской популяции кокколитофориды *Emiliania huxleyi*. Показано, что в составе взвеси преобладала фракция $4\text{--}7 \text{ мкм}$. Проверяется гипотеза о слабом накоплении жировой капли зоопланктоном ввиду малой питательности кокколитофорид, которые заполняют желудки особей за время цветения; рассматриваются малоизученные вопросы вертикальной структуры и питания зоопланктона в этот период.

Детально изучены оптические свойства морской воды в области цветения кокколитофорид, поскольку эти цветения могут воздействовать на климатические факторы вследствие влияния на баланс тепла и CO_2 в системе океан–атмосфера [2].

Вертикальные потоки вещества в водной толще. «Биологический насос» в СЛО может подвергнуться значительным изменениям в связи с климатическими колебаниями. Для исследования этого процесса выполнены две станции с годовыми и три станции с краткосрочными (до недели) экспозициями АГОС. Изучение состава вертикального потока взвеси, фекальных пеллет и некрозоопланктона в сопоставлении с составом наилка, количественными показателями фито- и зоопланктона позволит получить новую информацию для познания цикла углерода в Арктике и др.

Биогеохимические процессы в воде и осадках. В преобразовании взвеси в осадок участвуют различные по своей природе процессы, в том числе биогеохимические. На большей части изученной акватории установлены низкие скорости микробных процессов трансформации органических веществ в донных осадках. Так, интенсивность сульфатредукции варьировала от 22 до 310 нмоль S·дм⁻¹·сут⁻¹ в верхнем слое осадка.

Изучение эмиссии метана в Арктике важно для оценки вклада этого парникового газа в региональные климатические изменения, значение которого иногда преувеличивается. Признаки незначительной эмиссии метана в атмосферу обнаружены вблизи Стур-фьорда (ст. 5531): до 30 нмоль·л⁻¹ в воде у поверхности и до 4140 нмоль·л⁻¹ в осадках. Аномально высокая концентрация метана ожидаема в осадках грязевого вулкана Хаакон Мосби (ст. 5525): от 1.2 до ≥3.2 ммоль·л⁻¹. Обычные концентрации в верхнем слое воды (2.9–19.5 нмоль·л⁻¹) и осадков (50–800 нмоль·л⁻¹) близки к фоновым значениям.

Влияние эндогенных источников (хребет Мона). Данные о составе взвеси позволяют оценить влияние источников эндогенного вещества на седиментосистему Норвежско-Гренландского бассейна, что до сих пор еще мало изучено. Вблизи дна над гидротермальным полем Трольвегэн (норв. Trollveggen) установлены аномалии температуры, солёности, кислорода, присутствие сероводорода; изучается состав взвеси и гидротермально-изменённых пород. Выполнены исследования над гидротермальным полем Локис Касл (Loki's Castle), влияние которого достигает 1 км от дна [1].

Литологические, петрографические и палеоокеанологические исследования. Грунтовые ко-

лонки, отобранные в рифтовой долине хребта Мона, в конусе выноса Медвежинского желоба и желобе Франц-Виктория, позволят восстановить климат и условия среды в голоцене–плейстоцене. Удалось вскрыть мощные прослои базальтоидной пирокластики (стратиграфические маркеры): горизонты 370–374 и 384–385 см (ст. 5536, длина керна 437 см). Примечательны резкая смена условий (увеличение содержания CaCO₃) в период между эоловыми выпадениями пепла и высокие скорости седиментации (наклонные границы пепловых прослоев).

Находки железомарганцевых корок и конкреций (≥10 см длиной) на поверхности осадков вблизи арх. Земля Франца Иосифа (станции 5561, 5562) позволят восстановить условия седиментации и послужат ключом к познанию процессов рудообразования.

Эколого-геохимические исследования. Развивается мониторинг загрязнения морей нефтяными углеводородами, искусственными радионуклидами и тяжёлыми металлами. Выделенные штаммы углеводородокисляющих микроорганизмов (перспективные в биотехнологии получения биопрепаратов) отправлены на генетическую идентификацию и патентное депонирование.

Для исследования седиментосистемы морей применялся новый подход, который заключается в сопряжённом изучении аэрозолей, взвеси (с оценкой потоков), условий среды (гидрологических, гидрооптических, гидрохимических), верхнего слоя осадков и подстилающей толщи донных отложений, фокусируясь на границе контакта вода–осадок, диагенетических преобразованиях, получении микропалеонтологических и прямых геохронологических данных.

Благодарности. Авторы благодарят О.В. Копелевича (ответственного за оптические исследования) и всех участников экспедиции, а также капитана Ю.Н. Горбача и экипаж НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Источник финансирования. Экспедиция проведена в соответствии с планом морских экспедиций на научно-исследовательских судах ФАНО России. Выполнение задач рейса финансировалось Российским научным фондом: проекты №№ 14-27-00114-П (Баренцево море) и 14-50-00095 (Норвежско-Гренландский бассейн). Исследования проведены в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0016).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Ю.А., Сагалевич А.М., Галкин С.В. и др. Геологические и биологические исследования в северной части хребта Мона (Норвежское море) // *Океанология*. 1997. Т. 37. № 4. С. 609–616.
2. Копелевич О.В., Артемьев В.А., Глуховец Д.И. и др. Оценка биогеохимических характеристик поверхностного слоя вод Баренцева моря летом 2017 г. по оптическим данным // *Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. Т. IV. М.: ИО РАН, 2017. С. 87–91.
3. Лисицын А.П., Новигатский А.Н., Шевченко В.П. и др. Рассеянные формы осадочного вещества и их потоки в океанах и морях на примере Белого моря (результаты 12 лет исследований) // *Докл. РАН*. 2014. Т. 456. № 3. С. 355–359.
4. Koenigk T., Brodeau L. Ocean heat transport into the Arctic in the twentieth and twenty-first century in EC-Earth // *Climate Dynamics*. 2014. V. 42. Issue 11–12. P. 3101–3120.

Sedimentation Systems Definition of the Barents Sea and Norwegian-Greenland Basin During 68th Cruise of the Research Vessel *Academic Mstislav Keldysh*

© 2019 M. D. Kravchishina¹, A. N. Novigatsky¹, A. S. Savvichev^{1,2}, L. A. Pautova¹, A. P. Lisitzin¹

¹ *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

² *Winogradsky Institute of Microbiology, Federal Research Centre «Fundamentals of Biotechnology» of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

e-mail: kravchishina@ocean.ru

Received February 5, 2018

The article presents summary of the first research results of sedimentation systems of the region of interaction of the Arctic Ocean and Atlantic Ocean obtained in July-August 2017. Joint examination of the system of dispersed sedimentary matter (aerosols, suspended particulate matter, phytoplankton, faecal pellets, etc.) – concentrated sedimentary matter (bottom sediments), of biogeochemical processes of the matter transformation in the system in line with paleo-oceanologic reconstructions allow us to understand environment and climate of different geological epoch in one of the key ocean areas. The attempt to study the role of endogenous material in recent sedimentation processes in the ocean was taken on the example of the subpolar zone of the mid-ocean ridges system – Mohn Ridge.

Keywords: sedimentation, aerosols, suspended matter, diagenesis, biological pump, methane, endogenous substance, the Arctic Regions