

*Российский фонд фундаментальных исследований
Институт океанологии им. П. П. Ширшова
Российской академии наук*

**МАТЕРИАЛЫ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**«ЭКОСИСТЕМА КАРСКОГО МОРЯ –
НОВЫЕ ДАННЫЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ»**

27 – 29 мая 2015 года

МОСКВА 2015

УДК
ББК
ISBN

**Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований.
Материалы научной конференции. – М.: АИП, 2015. – 320 с.**

*Составитель сборника материалов конференции –
д. б. н. М. В. Флинт*

В настоящем издании представлены новые материалы экспедиционных исследований Карской экосистемы. Исследованиями были охвачены регионы от эстуариев крупных арктических рек до континентального склона и прилегающих глубоководных районов Арктического бассейна, заливов и побережья карской стороны Новой Земли. В докладах и публикациях, включенных в настоящее издание, приведены данные по структуре и динамике вод ключевого района морской Арктики, материалы по гидрохимии, данные по аэрозолям и оптическим свойствам вод, материалы по фитопланктону и первичной продукции, бактерио- и вириопланктону, данные по зоопланктону и трофодинамике планктонных сообществ, материалы по структуре донных сообществ, морским млекопитающим и белому медведю, материалы по потокам органического вещества, процессам в донных осадках, радиоактивному загрязнению Карского бассейна и мониторингу радиоактивных захоронений на его акватории. Конференция была организована по принципу «равенства» – все участники от студентов до членов Академии имели равное время для устных докладов, что позволило участникам и гостям детально познакомиться с широким спектром новых научных материалов и их обсудить, а также привлекло большое количество молодежи, работающей по арктической тематике. Научная молодежь, представившая доклады, составили треть участников Конференции.

The issue presents new materials of field research of the Kara Sea ecosystem. The research covered wide range of regions from estuaries of big Arctic rivers to continental slope and adjacent deep-water areas of the Arctic Basin, inlets and coast of the Kara Sea side of Novaya Zemlya. Reports and publications included in the issue presents data on hydrophysical structure and dynamics of key area of marine Arctic, materials on hydrochemistry, data on aerosols and optical properties of water, materials on phytoplankton and primary production, bacterio- and viroplankton, data on zooplankton and trophodynamics of plankton communities, materials on structure of bottom communities, marine mammals and polar bear, materials on organic matter fluxes, processes in bottom sediments, radioactive pollution of the Kara Sea and monitoring of radioactive burials in the basin. The Conference was organized on a principle of “parity” – all participants from students to the Academy members had equal time for oral presentation. This allows the Conference participants to familiarize themselves with wide spectrum of new scientific materials in detail, and as well attract a quantity of young scientists involved in the Arctic subjects. Young scientists, who presented talks, made up one third of the Conference participants.

Все доклады публикуются в авторской редакции.

В публикации использованы фотографии: Г. А. Абызовой, А. А. Веденина, С. В. Галкина, Г. А. Колючкиной, Н. В. Кучерука, В. М. Марина, А. Ю. Мирошникова С. Г. Пояркова, А. Ф. Сажина, Ф. В. Сапожникова, В. М. Сергеевой, К. А. Соловьева, М. В. Флинта, Е. А. Химченко, С. А. Щуки

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

- 1 **Нигматулин Р. И.** директор института, академик, председатель (ИО РАН)
- 2 **Панченко В. Я.** председатель Совета РФФИ, академик, почетный председатель (РФФИ, ИПЛИТ РАН)
- 3 **Лаверов Н. П.** академик, почетный председатель (ИГЕМ РАН)
- 4 **Лисицын А. П.** академик, почетный председатель (ИО РАН)
- 5 **Флинт М. В.** зам. директора института, д.б.н., со-председатель (ИО РАН)
- 6 **Величкин В. И.** член-корр. (ИГЕМ РАН)
- 7 **Моисеенко Т. И.** член-корр. (ГЕОХИ РАН)
- 8 **Рожнов В. В.** член-корр. (ИПЭЭ РАН)
- 9 **Жмур В. В.** нач. управления РФФИ, профессор, д.ф.-м.н., со-председатель (РФФИ, МФТИ)
- 10 **Лобковский Л. И.** зам. директора института, член-корр. (ИО РАН)
- 11 **Завьялов П. О.** зам. директора института, д.г.н. (ИО РАН)
- 12 **Римский-Корсаков Н. А.** зам. директора института, д.т.н. (ИО РАН)
- 13 **Шаповалов С. М.** руководитель Научно-координационного океанологического центра, к.ф.-м.н.
- 14 **Зацепин А. Г.** зав. лабораторией, д.ф.-м.н. (ИО РАН)
- 15 **Копелевич О. В.** зав. лабораторией, д.ф.-м.н. (ИО РАН)
- 16 **Шевченко В. П.** зав. лабораторией, к.г.-м.н. (ИО РАН)
- 17 **Мирошников А. Ю.** зав. сектором, к.г.-м.н. (ИГЕМ РАН)
- 18 **Галкин С. В.** г.н.с., д.б.н. (ИО РАН)

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

- 1 **Нигматулин Р.И.** директор института, академик, председатель (ИО РАН)
- 2 **Флинт М.В.** зам. директора института, д.б.н., со-председатель (ИО РАН)
- 3 **Жмур В.В.** нач. управления РФФИ, профессор, д.ф.-м.н., со-председатель (РФФИ, МФТИ)
- 4 **Панов В.А.** зам директора института, со-председатель (ИО РАН)
- 5 **Шаповалов С.М.** руководитель Научно-координационного океанологического центра
- 6 **Поярков С.Г.** с.н.с., отв. секретарь (ИО РАН)
- 7 **Витальева Т.А.** вед. экономист (ИО РАН)
- 8 **Мошаров С.А.** к.б.н., с.н.с. Научно-координационного океанологического центра
- 9 **Метальников А.А.** к.н., с.н.с. (ИО РАН)
- 10 **Уманская И.А.** гл. специалист (ИО РАН)
- 11 **Романова Н.Д.** к.б.н., н.с., секретарь (ИО РАН)
- 12 **Сергеева В.М.** к.б.н., н.с. (ИО РАН)
- 13 **Соловьев К.А.** н.с. (ИО РАН)
- 14 **Никишина А.Б.** н.с. (ИО РАН)
- 15 **Недоспасов А.А.** м.н.с. (ИО РАН)
- 16 **Веденин А.А.** м.н.с. (ИО РАН)
- 17 **Химченко Е.Е.** м.н.с. (ИО РАН)
- 18 **Ермохина Н.А.** вед. инж. (ИО РАН)
- 19 **Шибанов С.А.** инж. (ИО РАН)

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ФИЗИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КАРСКОМ МОРЕ

Формирование и распространение поверхностного опресненного слоя в Карском море <i>Кубряков А.А., Зацепин А.Г., Станичный С.В.</i>	11
Структура термохалинных и биооптических полей на поверхности Карского моря осенью 2011 года <i>Завьялов П.О., Ижицкий А.С., Осадчиев А.А., Пелевин В.В., Грабовский А.Б.</i>	15
Внутренние волны в проливе Карские ворота <i>Морозов Е.Г.</i>	19
Характеристика термохалинного режима Карского моря <i>Щука С.А., Кременецкий В.В., Недоспасов А.А., Очередник В.В.</i>	23
Распределение характеристик поверхностного слоя вод Карского моря в 2013 и 2014 годах по судовым и спутниковым данным <i>Гольдин Ю.А., Глуховец Д.И., Гончаренко И.В., Шатравин А.В.</i>	29
Структура течений Карского моря <i>Щука С.А., Кременецкий В.В., Недоспасов А.А., Корж А.О.</i>	34
Структура течений в проливе Карские ворота <i>Щука С.А., Кременецкий В.В., Недоспасов А.А., Корж А.О.</i>	39
Исследование флуоресценции морской воды в Карском море <i>Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А., Шатравин А.В.</i>	46
Влияние материкового стока на гидрохимический режим Карского моря <i>Маккавеев П.Н.</i>	50
Гидролого-гидрохимический режим фронтальной зоны Обской губы в период открытой воды <i>Латин С.А.</i>	53
Динамика гидрохимических характеристик поверхностного опресненного слоя Карского моря в августе–сентябре 2014 года <i>Полухин А.А.</i>	58

Время обновления вод в Обской губе и гидрохимические характеристики стока <i>Стунжас П.А.</i>	62
Сезонные особенности биохимической структуры вод Обской губы <i>Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И.</i>	65
Особенности гидрофизического и гидрохимического режимов залива Благополучия (Новая Земля) <i>Степанова С.В., Недоспасов А.А.</i>	70
Химический обмен на границе вода–дно в Карском море <i>Проценко Е.А.</i>	75
Некоторые особенности химического состава поверхностного стока с Новой Земли <i>Хлебопашев П.В.</i>	78
Изотопные (δD , $\delta^{18}O$) параметры вод Карского моря <i>Дубинина Е.О., Коссова С.А., Фяйзуллина Р.В., Мирошников А.Ю.</i>	82
Применение кластерного анализа для выделения типов вод Карского моря <i>Степанова С.В.</i>	86

II. ФИТОПЛАНКТОННЫЕ И ЗООПЛАНКТОННЫЕ СООБЩЕСТВА, ИХТИОЦЕНОЗЫ КАРСКОГО МОРЯ

Первичная продукция Карского моря: изменчивость и моделирование <i>Демидов А.Б., Мошаров С.А.</i>	90
Изучение фотосинтетической активности фитопланктона Карского моря с использованием флуоресценции хлорофилла «а» <i>Мошаров С.А., Демидов А.Б.</i>	95
Структура годового цикла пелагических альгоценозов прибрежной зоны Карского моря <i>Макаревич П.Р.</i>	98
Фитоценозы эстуариев Оби и Енисея и Обь-Енисейского взморья <i>Суханова И.Н., Флинт М.В., Сергеева В.М., Дружкова Е.И.</i>	105
Структура и распределение фитопланктона в глубоководных районах северной части Карского моря	

<i>Сергеева В.М., Суханова И.Н., Дружкова Е.И., Сажин А.Ф., Демидов А.Б., Мошаров С.А., Кременецкий В.В., Полухин А.С.</i>	111
Микробиота глубоководных желобов Карского моря <i>Романова Н.Д., Сажин А.Ф.</i>	115
Изменение доли активно функционирующих клеток в составе бактериопланктона Карского моря в зависимости от основных экологических факторов <i>Мошарова И.В.</i>	121
Вириопланктон Карского моря <i>Копылов А.И., Сажин А.Ф., Заботкина Е.А., Романова Н.Д.</i>	124
Мезопланктон области континентального склона в Карском море <i>Флинт М.В., Поярков С.Г., Соловьев К.А.</i>	129
Роль массовых видов зоопланктона в формировании пелагического «биофильтра» в эстуариях Енисея и Оби <i>Дриц А.В., Арашкевич Е.Г., Никишина А.Б., Пастернак А.Ф., Семенова Т.Н., Сергеева В.М., Флинт М.В.</i>	134
Структура и экология планктонных сообществ Карского моря в зимний период <i>Кособокова К.Н., Хирхе Ханс-Юрген</i>	137
Роль зоопланктона в седиментации взвешенного вещества на примере залива Благополучия (Новая Земля) <i>Никишина А.Б., Дара О.М., Дриц А.В., Гордеев В.В., Сергеева В.М., Соловьев К.А., Ступникова А.Н.</i>	142
Генетические и морфологические характеристики массовых видов рода <i>Calanus</i> в Карском море <i>Абызова Г.А., Ступникова А.Н.</i>	146
Видовой состав и распределение ихтиопланктона в Карском море <i>Большакова Я.Ю., Большаков Д.В., Кобылянский С.Г.</i>	152

III. ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА КАРСКОГО МОРЯ

Микрофитобентос юго-западной части Карского моря <i>Сапожников Ф.В., Калинина О.Ю.</i>	156
Макрофитобентос Карского моря	

<i>Максимова О.В.</i>	162
Структура сообщества мейобентоса в Енисейском эстуарии и на прилежащем Карском шельфе <i>Портнова Д.А., Гарлицкая Л.А., Кондарь Д.В., Удалов А.А.</i>	166
Многолетняя динамика макрозообентоса Байдарацкой губы <i>Кокарев В.Н.</i>	170
Донная фауна заливов архипелага Новая Земля, Карское море <i>Удалов А.А., Веденин А.А., Симаков М.И., Чава А.И.</i>	174
Быстрое развитие инвазии краба-стригуна (<i>Chionoecetes opilio</i>) в Карском море <i>Спиридонов В.А., Залота А.К., Веденин А.А.</i>	179
Особенности фауны донных беспозвоночных арктических морей (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское) по результатам траловых съемок 2012–2014 гг. <i>Зимица О.Л., Сёмин В.Л.</i>	184
Влияние теплых атлантических и баренцевоморских вод на состав донной фауны Карского моря <i>Веденин А.А., Минин К.В., Галкин С.В.</i>	188

IV. МОРСКИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИЕ

К вопросу о расселении белухи (<i>delphinapterus leucas</i>) в Арктике: исследования в Карском море – генетический аспект <i>Меццкерский И.Г., Удовик Д.А., Соловьев Б.А., Шпак О.В., Глазов Д.М., Рожнов В.В.</i>	194
Морские млекопитающие Карского моря: современное состояние и изученность в условиях активного промышленного освоения <i>Глазов Д.М., Удовик Д.А., Кузнецова Д.М., Соловьев Б.А., Шпак О.В., Меццкерский И.Г., Платонов Н.Г., Мордвинцев И.Н., Рожнов В.В.</i>	198
Роль ледовой фенологии в жизни белого медведя в регионе Карского моря: анализ результатов экспедиционных работ по программе изучения белого медведя в российской Арктике <i>Платонов Н.Г., Мордвинцев И.Г., Иванов Е.А., Найденок С.В., Рожнов В.В.</i>	206

V. ГЕОХИМИЯ И РАДИОЭКОЛОГИЯ КАРСКОГО МОРЯ

Растворенные металлы в северной части Обской губы <i>Гордеев В.В., Маккавеев Е.П.</i>	210
Химический состав зоопланктона Карского моря и заливов Новой Земли <i>Лобус Н.В., Карандашев В.К., Дриц А.В.</i>	214
Генезис и пространственное распределение концентрации взвеси в Карском море в период наибольшего сокращения арктической ледовой шапки <i>Кравчишина М.Д., Леин А.Ю., Суханова И.Н., Артемьев В.А., Новигатский А.Н.</i>	216
Концентрации и состав углеводов во фронтальных зонах Карского моря <i>Немировская И.А.</i>	221
Черный углерод в приводном слое атмосферы над Карским морем в конце летнего сезона <i>Шевченко В.П., Копейкин В.М., Новигатский А.Н.</i>	225
Органическое вещество пограничных зон Карского моря <i>Беляев Н.А., Поняев М.С.</i>	227
Тяжелые металлы в атмосферном воздухе в акватории Карского моря <i>Голубева Н.И., Бурцева Л.В., Громов С.А.</i>	232
Органическое вещество и рудные элементы железомарганцевых конкреций Карского моря <i>Дроздова А.Н., Шульга Н.А.</i>	237
Климатическая ситуация района Карского и моря Лаптевых в голоцене по данным палинологического метода <i>Сафарова С.А.</i>	240
Радиоцезий в донных осадках Карского моря <i>Мирошников А.Ю.</i>	243
Глинистые минералы в донных осадках заливов и почвах Новой Земли (Карское море) и их роль в процессах сорбции ¹³⁷ Cs <i>Крупская В.В., Мирошников А.Ю., Закусин С.В., Гаранина С.А., Семенков И.Н., Усачева А.А.</i>	248

Геохимические особенности донных отложений Карского моря как составляющая радиоэкологического мониторинга <i>Асадулин Э.Э., Мирошников А.Ю.</i>	252
Особенности инструментального контроля захоронений радиоактивных объектов в заливах Новой Земли в Карском море <i>Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е.</i>	255
Технология мониторинга экологии заливов восточного побережья Новой Земли <i>Римский-Корсаков Н.А., Казеннов А.Ю., Розман Б.Я.</i>	258
Современная оценка радиоэкологического состояния среды Карского моря (по данным 2011–2013 гг.) <i>Ильин Г.В., Усягина Т.С., Касаткина Н.Е.</i>	267

VII. ФОТОМАТЕРИАЛЫ, ИЛЛЮСТРИРУЮЩИЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ РАБОТЫ В КАРСКОМ МОРЕ

На судне.....	275
Новая Земля.....	293
Авторский указатель.....	317

I. ФИЗИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КАРСКОМ МОРЕ

ФОРМИРОВАНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ОПРЕСНЕННОГО СЛОЯ В КАРСКОМ МОРЕ

Кубряков А.А.^{1,2}, Зацепин А.Г.¹, Станичный С.В.^{1,2}

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН,*

²*Морской гидрофизический институт, РАН, Севастополь*

Аннотация. С использованием нового метода расчета распространения вод поверхностного опресненного слоя (ПОС) [1], основанного на совместном учете влияния ветрового дрейфа и геострофических течений, воспроизведено летне-осеннее распространение вод ПОС в Карском море в период 1993–2014 гг., Результаты расчета верифицированы путем сопоставления с данными натурных наблюдений и спутниковыми изображениями морской поверхности в поле хлорофилла и поверхностной солености.

Одной из основных гидрологических структур Карского моря, ярко выраженных в летний период, является поверхностный опресненный слой (ПОС) [1]. Начало формирования этого слоя связано с паводком Оби и Енисея. В июне в море сбрасывается около 30% суммарного годового стока этих рек. В результате перемешивания речных вод с морскими, на обширном Обско-Енисейском взморье образуется ПОС, соленость которого составляет 10–25 епс, а толщина – 5–15 м. Дальнейшее распространение ПОС по акватории Карского моря происходит под влиянием ветрового дрейфа и геострофических течений [2]. В [3] было показано, что существует 3 основных типа распространения ПОС: «западный», «центральный» и «восточный» отражающие основное направление распространения опресненных вод по акватории Карского моря.

Для расчета геострофической скорости поверхностных течений в Карском море использовались карты полной динамической топографии, полученные из архива AVISO (<http://www.avisooceanobs.com>). Динамическая топография определялась как сумма картированных аномалий уровня моря, рассчитанных по комбинированным вдольтрековым измерениям современных спутниковых альтиметров с помощью

специально разработанных алгоритмов. Временное разрешение картированных данных – 7 дней, пространственное – 0.25° .

Поверхностные геострофические скорости течений рассчитывались из уравнения геострофического баланса:

$$u_g = -\frac{g}{f} \frac{\partial h}{\partial y}; \quad v_g = \frac{g}{f} \frac{\partial h}{\partial x}, \quad (1)$$

здесь u_g , v_g – геострофические скорости, h – динамическая топография, g – ускорение свободного падения, f – параметр Кориолиса.

Для анализа изменчивости ветра использовались данные реанализа MERRA с пространственным разрешением $1/2 \times 2/3$. Данные загружались с сайта [<http://goldsmr2.sci.gsfc.nasa.gov/>].

Скорость Ue интегрального дрейфового переноса вод ПОС определялась по формуле:

$$Ue = \tau / \rho_w f H_0, \quad \text{где } \tau = c_d \rho_a \cdot |v| \cdot v, \quad (2)$$

здесь τ – напряжение трения ветра; $\rho_w = 1000 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_a = 1.3 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды и атмосферы соответственно; v – скорость ветра; $f = 1.4 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ – параметр Кориолиса; $H_0 = 10 \text{ м}$ – характерная толщина ПОС [5]. Значения сопротивления морской поверхности c_d варьировались от расчета к расчету от $0.8 \cdot 10^{-3}$ до $1.8 \cdot 10^{-3}$. По результатам сравнительных расчетов было выбрано значение $1.2 \cdot 10^{-3}$.

Согласно классической теории Экмана при стационарном ветровом воздействии интегральный дрейфовый перенос должен быть направлен на 90° вправо от направления ветра. Однако в реальных условиях этот угол должен быть меньшим, прежде всего, из-за нестационарности ветра. На основе серии сравнительных расчетов был выбран угол 45° .

Расчет траекторий и скоростей распространения вод ПОС производился на основе использования метода лагранжевых частиц. Полная скорость течения в приповерхностном слое определялась как сумма

$\vec{V} = \vec{V}_g + \vec{U}_e$, где \vec{V}_g – геострофическая скорость. Для определения траекторий лагранжевых частиц полные скорости линейно интерполировались на время и координаты частицы. По схеме Эйлера рассчитывалось перемещение частицы $\vec{r}_{i+1} = \vec{r}_i + \vec{V} \cdot dt$. Шаг по времени dt был равен 6 часам, что соответствует временной дискретности данных по скорости ветра.

Результаты расчетов показали, что тип распространения ПОС определяется генеральным направлением ветра над акваторией Карского моря в июле-сентябре. При северо-восточном ветре реализуется «запад-

ный» тип (рис. 1), при северном – «центральный» (рис. 2), а при северо-западном – «восточный» (рис. 3).

В таблице указаны типы распространения ПОС в различные года (1993–2014 г., кроме 2002 и 2010 г., когда тип распространения был неясен). Из этой таблицы видно, что «западный» и «центральный» типы реализуются наиболее часто и практически с равной вероятностью, а вот «восточный» тип наблюдается редко. Если было бы наоборот, то влияние ПОС на экосистему Карского моря было бы значительно меньшим.

Работа выполнялась в рамках проекта РНФ №14-50-00095.

Литература

1. Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В. и др. Поверхностный опресненный слой в Карском море // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 698–708.

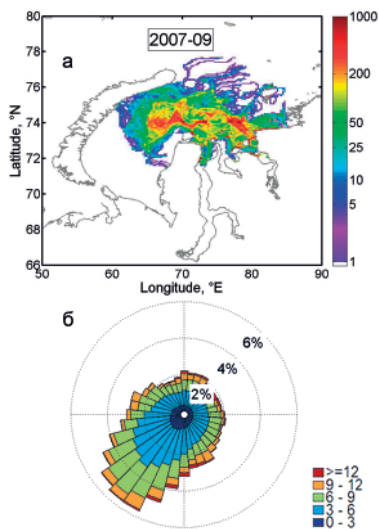


Рис. 1. «Западный» тип распространения ПОС по результатам расчета, цвет – количество частиц, прошедших через данную точку за период с 01 июля по 30 сентября 2007 г. (а), роза ветров за период с 01 июля по 30 сентября 2007 г., цветом указана скорость ветра (б)

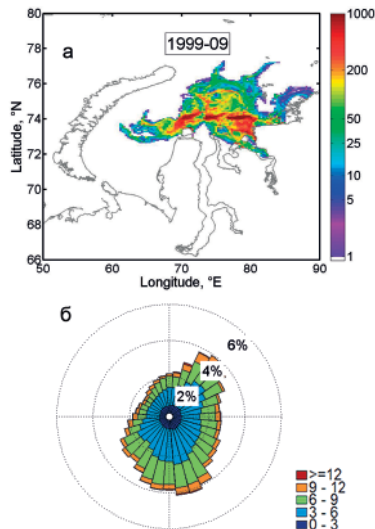


Рис. 2. «Центральный» тип распространения ПОС по результатам расчета, цвет – количество частиц, прошедших через данную точку за период с 01 июля по 30 сентября 1999 г. (а); роза ветров за период с 01 июля по 30 сентября 1999 г., цветом указана скорость ветра (б)

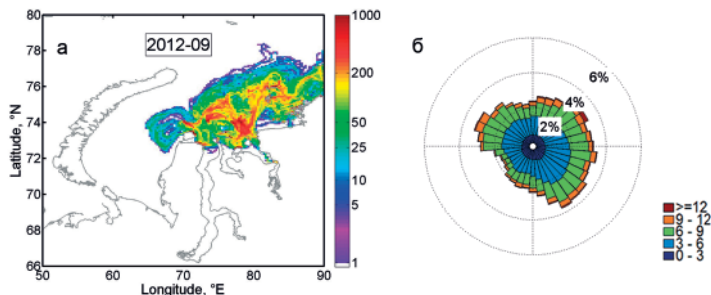


Рис. 3. «Восточный» тип распространения ПОС по результатам расчета, цвет – количество частиц, прошедших через данную точку за период с 01 июля по 30 сентября 2012 г. (а), роза ветров за период с 01 июля по 30 сентября 2012 г., цветом указана скорость ветра (б)

Таблица. Типы распространения ПОС в различные года

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2003
Западный	X			X		X			X	
Центральный		X	X		X		X	X		X
Восточный										
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2012	2013	2014
Западный	X			X			X			X
Центральный		X	X		X				X	
Восточный						X		X		

2. Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Кубряков А.А. и др. Распространение и трансформация вод поверхностного опресненного слоя в Карском море // Океанология. 2015. Т. 55. № 5 (в печати).

3. Русанов В.П., Васильев А.Н. Распространение речных вод в Карском море по данным гидрохимических определений // Тр. ААНИИ. 1976. Т. 323.

СТРУКТУРА ТЕРМОХАЛИННЫХ И БИООПТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ КАРСКОГО МОРЯ ОСЕНЬЮ 2011 ГОДА

*Завьялов П.О., Ижицкий А.С., Осадчиев А.А., Пелевин В.В.,
Грабовский А.Б.*

*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН
E-mail: peter@ocean.ru*

Реки приносят в Карское море до 1350 км³ пресной воды в год [1] (напомним здесь для сравнения, что, например, средний годовой сток Дуная в Черное море составляет «всего» около 200 км³, а сток Волги в Каспийское – около 250 км³). Объем среднегодового стока в Карское море, отнесенный к площади его акватории, составляет слой толщиной 152 см [2]. Этот крайне значительный объем поступающих речных вод – обладающих собственным запасом тепла и импульса, несущих взвесь, растворенную органику и биогены – распространяется на обширной территории в сравнительно мелководном бассейне и оказывает определяющее воздействие на все системы Карского моря [3]. Механизмы переноса материковых вод в море под влиянием ветрового форсинга и морских течений во взаимодействии с окружающими водными массами не до конца изучены.

В ходе 59 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в сентябре-октябре 2011 г. выполнялось непрерывное зондирование термохалинного состояния поверхностного слоя моря по ходу судна с помощью проточной STD системы. При движении судна выполнялось также дистанционное зондирование поверхности моря флуоресцентным сканирующим лидаром. Интенсивности флуоресценции в разных участках спектра затем пересчитывались в концентрации хлорофилла, взвеси и растворенной органики по методикам, изложенным в работах [4, 5].

На основе данных проточной зондирующей системы удалось детализировать горизонтальные распределения солёности (рис. 1) и температуры на поверхности акватории Карского моря в сентябре–октябре 2011 г.

Наблюдавшаяся термохалинная структура поверхностного слоя характеризуется общей *T,S*-диаграммой, построенной по всем имеющимся данным (всего 20484 точек) проточной измерительной системы. Диаграмма показана на рис. 2. Как видно, она указывает на взаимодействие следующих основных водных типов: 1) Солёная (34–35 епс) и холодная (температура ниже 3.5°C) вода арктического происхождения, по-

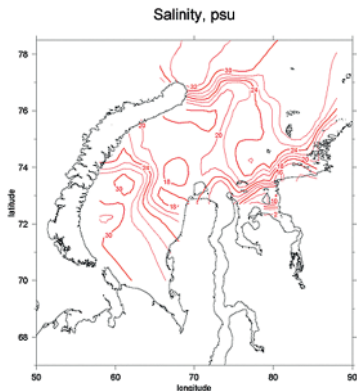


Рис. 1. Распределение солености (eps) на поверхности Карского моря в сентябре-октябре 2011 г.

ступающая из района желоба Св. Анны; 2) Несколько менее соленая (31–32 eps) и теплая (до 9,5°C) вода в западной части моря, вероятно, поступающая из Баренцева моря через Карские Ворота; 3) Пресная вода енисейского происхождения с температурой около 8°C; 4) В довольно локализованной области в восточной части района исследований были также обнаружены опресненные воды иного генезиса, образовавшиеся в результате смешения арктических вод и речных вод предположительно обского происхождения, которые значительно холоднее енисейских (5,5°C). К сожалению, этот последний тип вод может быть соотнесен с обским стоком лишь гипотетически, поскольку измерения непосредственно в устье Оби в этой экспедиции выполнены не были, и фактическая температура вод Оби осталась неизвестной. Так или иначе, судя по T,S -диаграмме, практически все многообразие водных типов в верхнем слое моря неожиданно хорошо описывается простым перемешиванием названных поверхностных водных масс, что позволяет говорить о своего рода «двухмерности» преобладающих здесь взаимодействий и лишь второстепенной роли потоков океан–атмосфера и вертикального перемешивания в процессах формирования вод.

Были рассчитаны относительные процентные содержания трех основных выделенных водных типов и их распределения по акватории

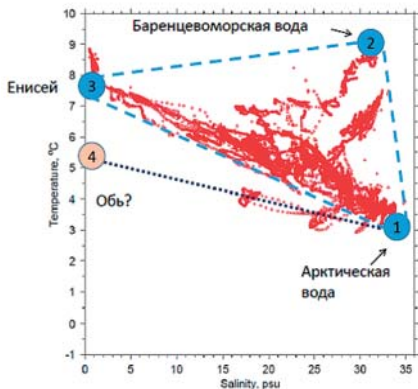


Рис. 2. Общая T,S -диаграмма вод поверхностного слоя Карского моря в сентябре–октябре 2011 г. и основные водные типы: 1 – поверхностная вода арктического бассейна, 2 – баренцевоморская вода, 3 – материковый сток реки Енисей, 4 – материковый сток реки Обь (предположительно)

моря. Карты этих распределений представлены на рис. 3. Содержание арктических вод достигает максимума в северо-восточной части моря в районе желоба Св. Анны, где оно превышает 90%, однако значительно оно и в центральной части моря (40–60%), и лишь в западной части оно падает до 10% и ниже. Материковые воды составляют 50–90% объема приповерхностного слоя в юго-восточной части акватории вблизи Обской губы и Енисейского залива, в центральной части моря их содержание составляет около 40%, что вполне сопоставимо с содержанием арктических вод. Баренцевоморские воды играют центральную роль только в западной части моря вблизи пролива Карские Ворота, однако они присутствуют в концентрациях порядка 10% по всему морю вплоть до его восточной оконечности. В целом по всей акватории Карского моря содержания в поверхностном слое арктических, материковых и баренцевоморских вод соотносятся как 59:34:7, соответственно.

На основе данных флуоресцентного лидара были построены также карты концентраций хлорофилла, взвеси и растворенных органических веществ по всей акватории моря (здесь не показаны). В целом, эти распределения соответствуют обсуждавшейся выше крупномасштабной структуре термохалинных полей. Однако высокое пространственное разрешение лидара дает возможность пойти дальше и исследовать и мелкомасштабную изменчивость. С этой целью были рассчитаны гистограммы масштабов пространственных неоднородностей (пятен) каждого из указанных трассеров. Пример такой гистограммы для концентрации взвеси показан на рис. 4. Оказалось, что максимум изменчивости приходится на масштабы менее 1 км, а средние масштабы неоднородностей соответствовали 0,37 км для растворенной органики, 0,39 км для хлорофилла и 0,49 км для взвеси. Также было показано, что масштабы неоднородностей неплохо коррелируют с

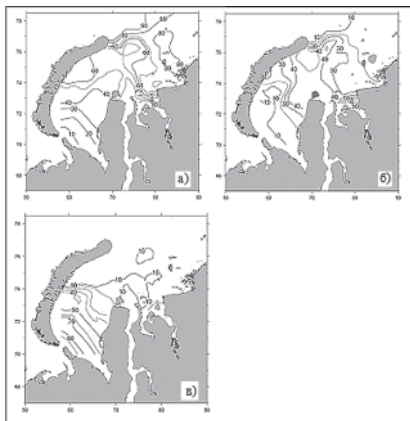


Рис. 3. Доли (в процентах по объему) содержания основных водных типов в составе вод поверхностного слоя Карского моря в сентябре–октябре 2011 г: а) Поверхностная вода арктического бассейна, б) Материковый сток, в) Баренцевоморская вода

соленостью, т.е. мелкомасштабная изменчивость тоже тесно связана с влиянием материкового стока.

Таким образом, в сентябре 2011 г., как и во время предыдущих экспедиций 1993 и 2007 гг., влияние вод материкового происхождения было определяющим при формировании режима поверхностного слоя Карского моря.

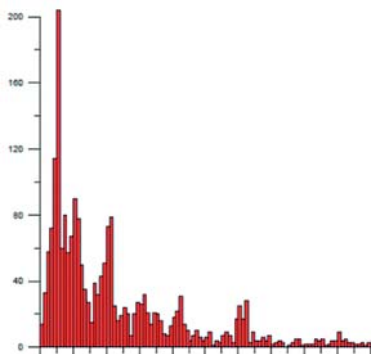


Рис. 4. Гистограмма количества пространственных неоднородностей (пятен) в концентрации взвеси в зависимости от их размера (км)

Оказалось, что положение линзы опресненных вод, а также ее площадные и термохалинные характеристики обладают значительной межгодовой изменчивостью. Положение и характер линзы в экспедиции 2011 г. отличались от наблюдавшихся в 2007 г. В отличие от сентября 2007 г., когда зона максимального опреснения имела изолированный вид у побережья центральной части Новой Земли, в этом году она занимала непрерывную область к востоку и северу от речных устьев, периферийно достигая северо-западной оконечности острова. Возможно, что смещению линзы на восток способствовали ветры южных румбов, преобладавшие в течение большей части сентября. Значения поверхностной солености также в целом были выше отмеченных в 2007 г. на 1–3 епс.

Значения поверхностной солености также в целом были выше отмеченных в 2007 г. на 1–3 епс.

Литература

1. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. Природа и хозяйство. М.: Издательство «Мысль», 1965. 350 с.
2. Никифоров Е.Г., Шнайхер А.О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 269 с.
3. Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В., Поярков С.Г., Соловьев Д.М. Поверхностный опресненный слой в Карском море // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 698–708.
4. Пелевин В.Н., Абрамов О.И., Карлсен Г.Г., Пелевин В.В., Стогов А.М., Хлебников Д.В. Лазерное зондирование поверхностных вод Атлантики и морей, омывающих Европу // Оптика атмосферы и океана. 2001. Т. 14. 8. с.704–709.
5. Айбулатов Н.А., Завьялов П.О., Пелевин В.В. Особенности гидрофизического самоочищения российской прибрежной зоны Черного моря близ устьев рек. Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2008. 4. С. 301–310.

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В ПРОЛИВЕ КАРСКИЕ ВОРОТА

Морозов Е.Г.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Внутренние волны приливного периода, наблюдаемые в Карских Воротах, имеют экстремально большие амплитуды, а механизм их генерации аналогичен механизму в Гибралтарском проливе [2]. Наложение двухслойного бароклинного течения и баротропного прилива усиливает внутренние волны.

В 1997 г. в проливе Карские Ворота было поставлено три буя [1], а в 2007 г. через пролив был сделан разрез буксируемым STD-зондом в сканирующем режиме. Точки остановок и галсы разреза показаны на рис. 1.

Измерения в проливе показали, что поток вод в основной толще направлен из Баренцева моря в Карское со скоростью в ядре от 6 до 26 см/с и максимальной скоростью до 50 см/с. Измерения течений в 1997 г. впервые обнаружили наличие возвратного потока из Карского моря со сред-

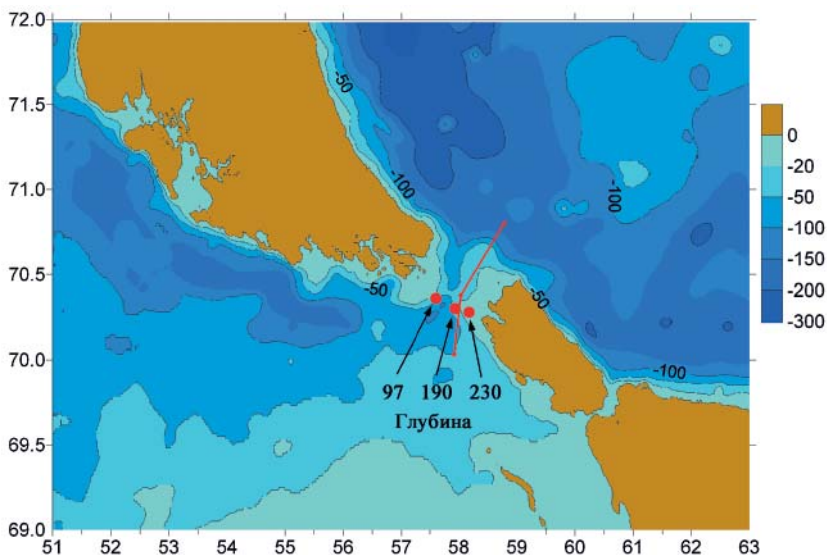


Рис. 1. Батиметрия (по массиву ETOPO) и схема постановки буев (1997 г.) и буксировки через пролив (2007 г.) Карские Ворота

ней скоростью 11 см/с (максимальная 43 см/с) на горизонте 215 м. По расчетам на основании альтиметрических данных амплитуда скорости течения, определяемого баротропным приливом, равна 9.5 см/с.

Измерения температуры на буйковых станциях, установленных в проливе, показывают сильные колебания температуры (рис. 2). Частицы воды (изотермы) совершают вертикальные колебания от горизонта 110 м до 190 м, то есть их смещение от положения равновесия достигает 40 м при глубине моря в проливе 230 м. Период измерений случайно совпал с сизигийным приливом.

В 2007 г. измерения буксируемым термосолезондом IDRONAUT 316 в режиме сканирования в проливе Карские Ворота проводились для изучения приливных потоков и внутренних волн в проливе с сильным течением.

Для оценки того, что можно наблюдать при выполнении гидрологического разреза через пролив Карские Ворота, был проведен расчет по численной модели [2]. Задавалось постоянное течение из Баренцева моря в Карское со скоростью 12 см/с, что соответствует среднему течению по данным измерений на буях. На это течение накладывалось течение баротропного прилива с амплитудой 10 см/с. Оценки скорости те-

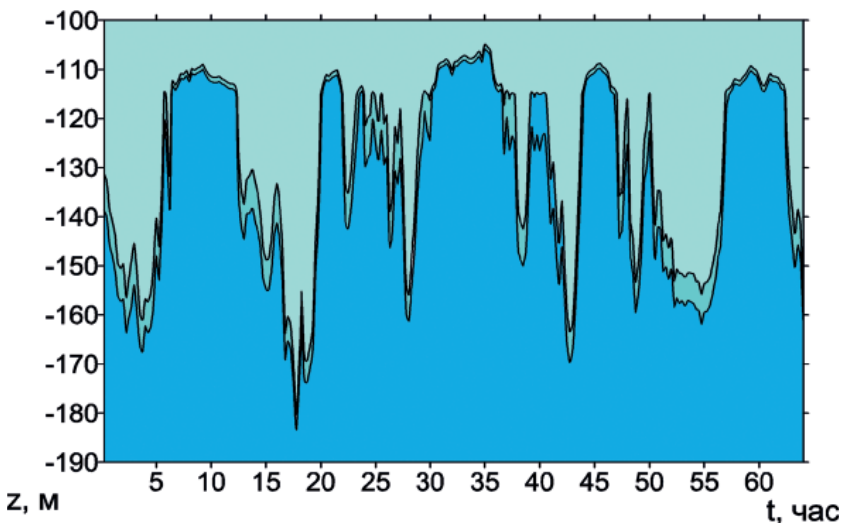


Рис. 2. Временной ход колебания изотерм -0.35°C и -0.4°C по данным измерений температуры на буйе 3

чения баротропного прилива сделаны по спутниковым данным TOPEX/POSEIDON.

Периодические изменения горизонтального потока за счет баротропного прилива возбуждают внутреннюю волну. На рис. 3 показаны изолинии плотности, соответствующие внутренним колебаниям в расчетной области. По данным расчетов, внутренний прилив распространяется преимущественно в сторону Баренцева моря против среднего течения. При распространении внутренней волны против течения, ее амплитуда растет, длина волны сокращается, и внутренний бор высотой около 20 м возникает практически по всей глубине. Непосредственно за внутренним бором возникает пакет короткопериодных внутренних волн. С другой стороны хребта волна распространяется в том же направлении, что и течение. Это приводит к уменьшению амплитуды волны и увеличению ее длины. Согласно расчетам, передний фронт волны пологий, а задний очень крутой.

Со стороны Карского моря к северо-западу от седловины в проливе наблюдается резкое заглубление изопикнических поверхностей, что является гидравлическим скачком возникающим в потоке за препятствием. По данным численных расчетов изопикническая поверхность заглубляется с 60 м до 130 м.

На расстоянии 16 км к западу от порога наблюдается внутренний бор. Изотерма 1°C резко заглубляется на 15 м. Слева от бора виден один период внутренней приливной волны (длины волны равняется около 23 км). Длина волны по численным расчетам равняется 26 км. Различия снимаются если ввести поправку на эффект Доплера.

Измерения и численные расчеты дают близкие результаты. Наиболее показательным с точки зрения генерации приливной внутренней волны на пороге в проливе Карские Ворота, а также возникновения внутреннего бора и гидравлического скачка является разрез температуры, полученный буксировкой CTD-зонда IDRONAUT-316 в сканирующем режиме. Поле изопикн по расчетам с помощью численной модели и температурный разрез буксируемым зондом показаны в совмещенном масштабе на рис. 3.

За внутренним бором должен возникать пакет короткопериодных внутренних волн. Пространственное разрешение при буксировке близко к 900 м. Судно идет со скоростью 6 узлов, а цикл опускания и поднятия зонда от поверхности до дна равняется около 5 мин. За это время судно проходит расстояние около 900 м. Длины короткопериодных внутренних волн, в волновом пакете, который возникает за внутренним

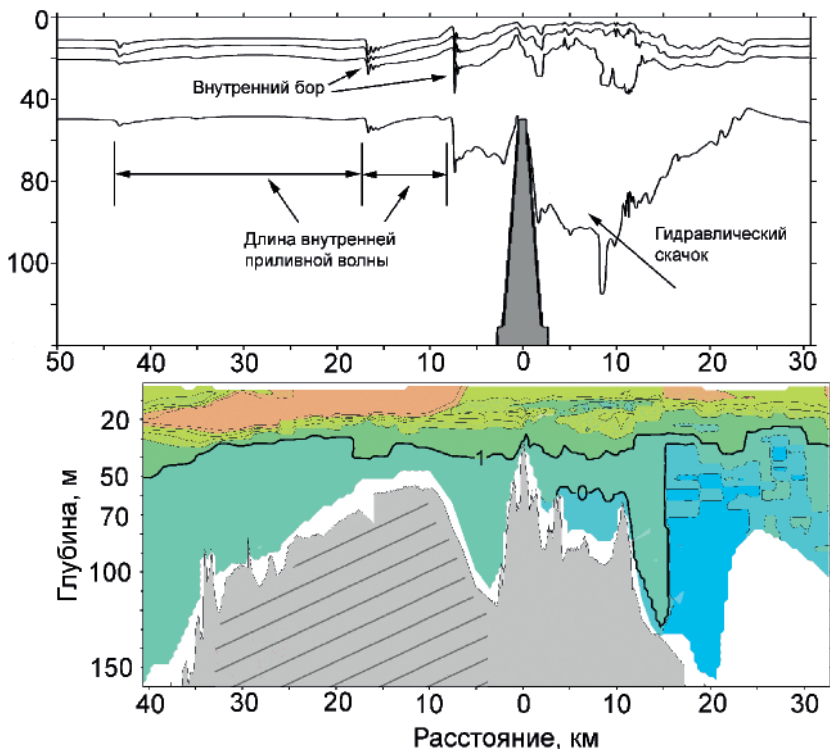


Рис. 3. Поле изопикнических поверхностей 22, 24, 26 и 27 единиц условной плотности, возмущенное потоком через пролив и прохождением внутренних волн в соответствии с расчетами по численной модели [2]. Серым цветом показан рельеф дна в проливе (вверху)

Распределение температуры на разрезе буксируемым зондом. Изолинии температуры проведены с интервалом 1°C. Более толстыми линиями показаны изотермы 1 и 0°C для выделения наблюдаемого эффекта. Заштрихованный профиль дна соответствует банке к юго-западу от порога, над которой прошло судно. В модельном расчете эта банка отсутствует и рассмотрено равномерное уменьшение глубины по обе стороны от порога (внизу)

бором, оцениваются по численной модели в несколько сотен метров. Поэтому пространственное разрешение при таком сканировании недостаточно для описания столь короткопериодных волн. Такие волны видны на радарном изображении морской поверхности.

По данным измерения к востоку от порога на разрезе виден гидравлический скачок. Изотерма 0°C заглубляется от 40 м до 130 м. Численные расчеты по модели хорошо совпадают с гидравлическим скачком по данным измеренный буксируемым зондом.

При распространении внутренней волны против течения, ее амплитуда растет, длина волны сокращается, и возникает внутренний бор аналогичный приливному бору при распространении прилива вверх по реке. С другой стороны хребта волна распространяется в том же направлении, что и течение. Это не приводит к возникновению бора.

Литература

1. Морозов Е.Г., Нейман В.Г., Щербинин А.Д. Внутренний прилив в проливе Карские ворота. Доклады РАН. 2003. Т. 393. № 5. С. 688–690.
2. Morozov E.G., Paka V.T., Bakhanov V.V. Strong internal tides in the Kara Gates Strait. Geophysical Research Letters, 2008. Vol. 35. L16603.

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМОХАЛИННОГО РЕЖИМА КАРСКОГО МОРЯ

Шука С.А., Кременецкий В.В., Недоспасов А.А., Очередник В.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

В августе–октябре 2014 г. в ходе 128 и 129 рейсов НИС «Профессор Штокман» были продолжены многолетние исследования ИО РАН термохалинных характеристик Карского моря (рис. 1). Непрерывные попутные измерения поверхностной (4 м) температуры и солености проводились с помощью термосалинографа SBE21. Вертикальное профилирование проводилось океанографическим зондом SBE911.

Особенности гидрологической структуры и динамики вод Карского моря определяются следующими основными факторами: атмосферное воздействие (тепло- и влагообмен, а также динамическое воздействие ветра); речной (материковый) сток; водообмен с Центральной Арктикой, Баренцевым морем и морем Лаптевых; ледообразование (зимой), таяние льда (летом) и адвекция льда (круглогодично); приливы.

Согласно существующей классификации в Карском море имеется 6 «основных» водных масс:

1. Речные воды;
2. Поверхностные Арктические воды Карского моря;

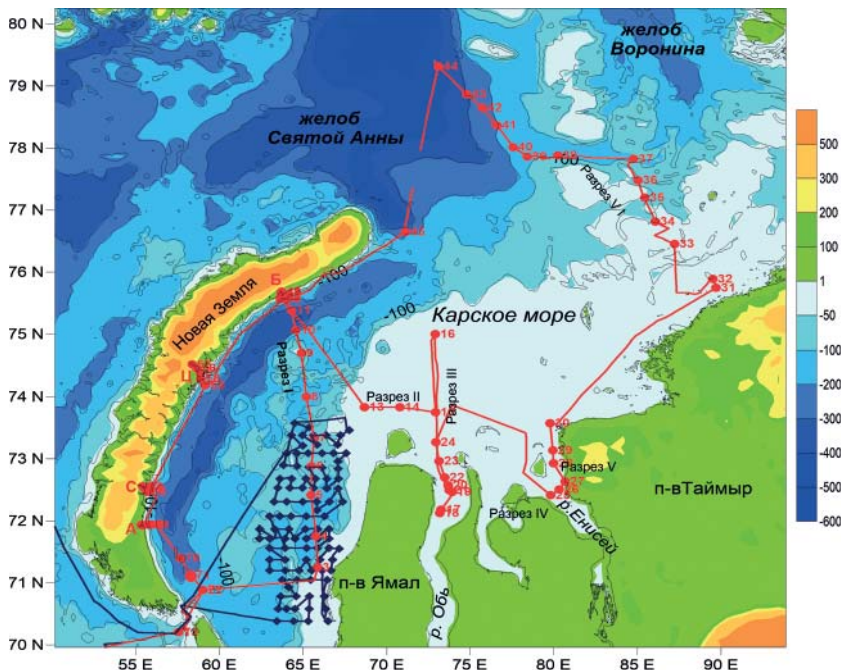


Рис. 1. Карта гидрофизических станций и попутных измерений поверхностной температуры и солёности. Красный – 128 рейс НИС «Профессор Штокман», синий – 129 рейс НИС «Профессор Штокман»

3. Баренцевоморские воды;
4. Зимние Поверхностные воды;
5. Глубинные Атлантические воды;
6. Придонные воды.

Гидрологическая структура Карского моря имеет следующие особенности. Летом температура воды на поверхности моря не поднимается выше 10–12°C даже в наиболее теплой юго-западной части моря. Прогретый слой имеет толщину 20–30 м. Поверхностная температура убывает с юго-запада на северо-восток. В северной части моря, где всегда имеется дрейфующий лед, температура вод близка к точке замерзания. В осенний период года температура поверхностных вод опускается до точки замерзания (–1.5...–1.7°C в зависимости от солёности). Относительно теплая вода атлантического происхождения проникает в Карское море из Арктики вдоль западных склонов желобов Св. Анны и

Воронина. Температура воды возрастает на глубине 50–70 м и достигает максимума от 1.0 до 1.5°C на глубинах от 100 до 200 м. Воды речного плюма характеризуются соленостью меньшей 25 епс и высоким содержанием кремния.

Выполненный гидрофизический разрез в Обской губе (рис. 2) позволяет выявить некоторые закономерности вертикального перемешивания речных и морских вод и проследить их трансформацию. Так, фронтальная зона клина морской воды расположена в области порога. Там же происходит интенсивное вертикальное перемешивание вод. Формирование опресненных речным стоком вод верхнего слоя с соленостью 19–22 епс происходит в устье р. Оби. Слой опресненных вод имеет толщину порядка 10 м. Дальнейшая трансформация и распространение опресненных вод зависит от направления и интенсивности ветрового воздействия. В его отсутствии эти воды должны отклоняться на восток под влиянием силы Кориолиса и распространяться вдоль берега до пролива Вилькитского и далее в море Лаптевых в виде прибрежного течения. В теплый период года над Карским морем преобладающими являются ветра северных и северо-восточных румбов. Под действием этих ветров слой опресненных речным стоком вод должен распространяться в западном и северо-западном направлениях. Вследствие этого в юго-западной части моря к концу лета образуется линза умеренно соленых вод. Площадь этой линзы, дальность ее распространения на запад изменяются год от года.

На рис. 3 представлен разрез по температуре и солености от п-ва Ямал до Новой Земли. На разрезе четко выделяются границы поверхностной опресненной линзы. Практически по всей длине разреза (около 350 км из 500 км) прослеживается поверхностная (до глубины не более 12 м) пресноводная линза.

В ходе 129 рейса НИС «Профессор Штокман» выполнялась полигонная съемка в юго-западной части моря 19.09–03.10.2014 (рис. 1), что позволило исследовать пространственное распределение температуры и солености вод юго-западной части Карского моря на различных горизонтах и проследить распространение поверхностной пресноводной линзы (рис. 4). Как видно на рисунке 4, линза занимает верхний 10 м слой и на горизонте 12 м отсутствует. Положение линзы практически не менялось с августа по октябрь. Есть основание полагать, что это постоянно существующий слой пресных вод в юго-западной части Карского моря. Данное предположение требует дальнейших исследований как экспедиционных, так и с помощью математического моделирования.

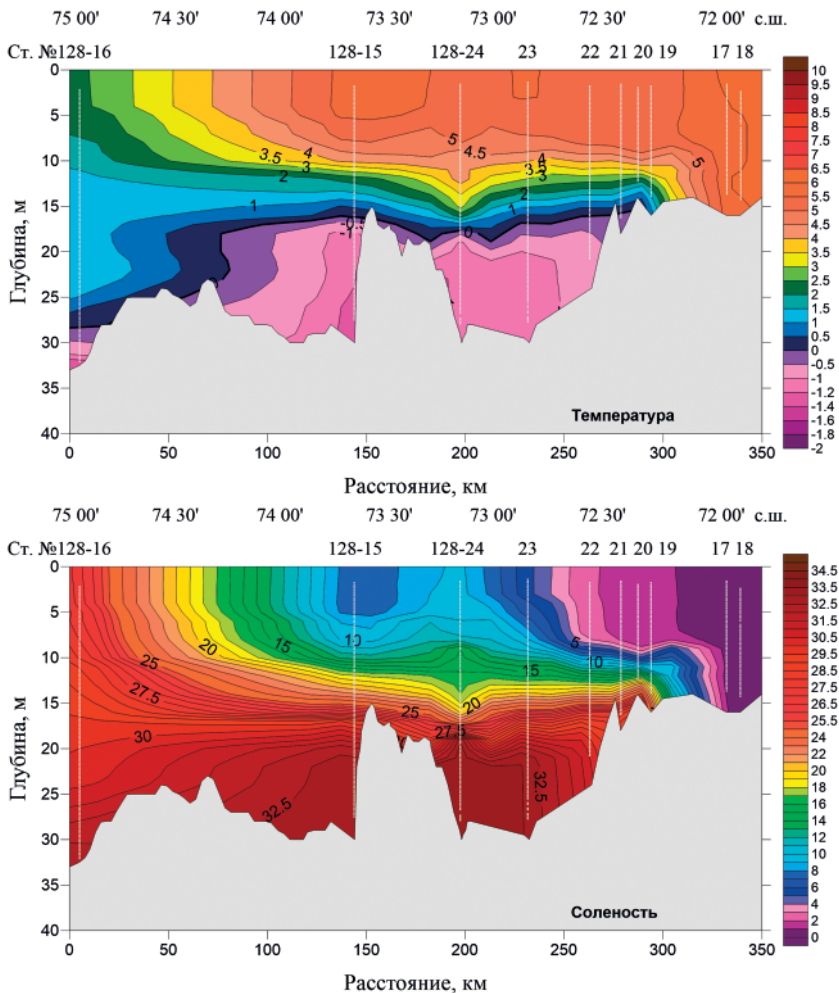


Рис. 2. Разрез по температуре и солености в Обской губе

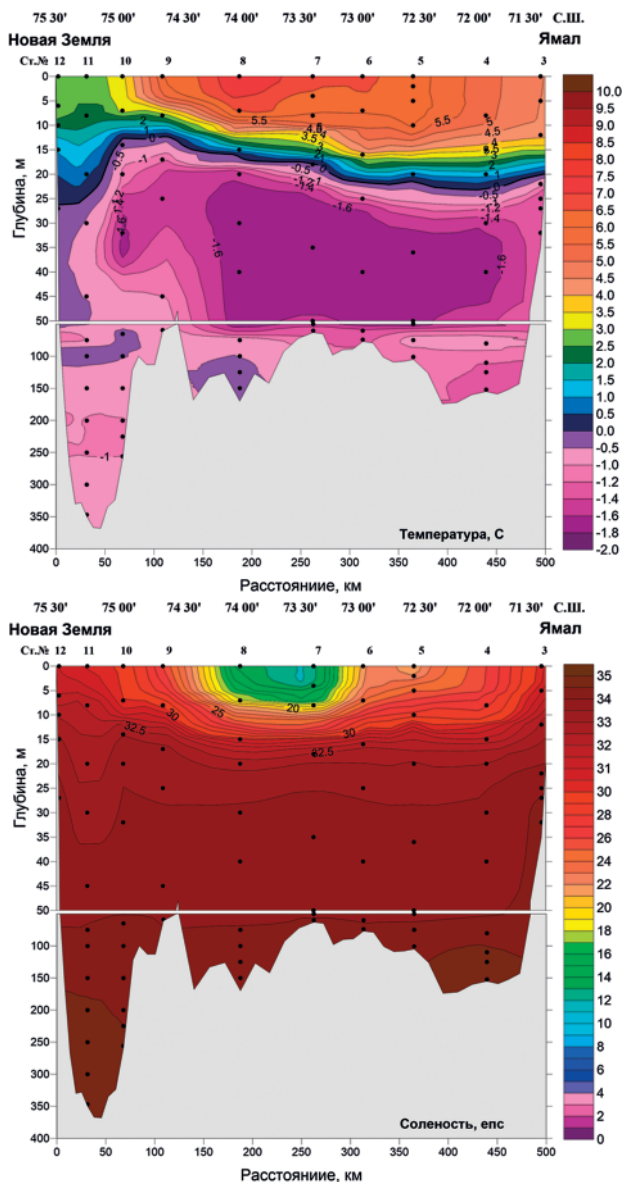


Рис. 3. Разрез по температуре и солёности от п-ва Ямал до Новой Земли

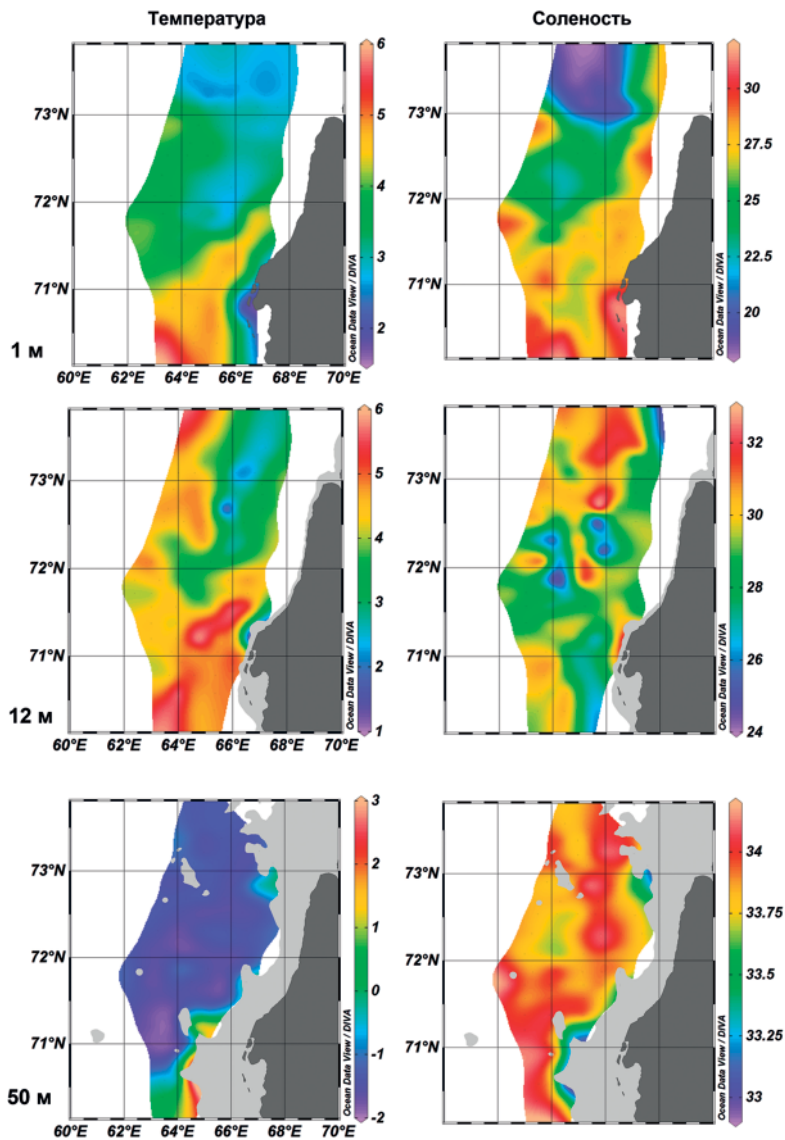


Рис. 4. Пространственное распределение температуры и солёности вод юго-западной части Карского моря в поверхностном слое, на горизонте 12 м и 50 м 19.09–03.10.2014 г.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОД КАРСКОГО МОРЯ В 2013 И 2014 ГОДАХ ПО СУДОВЫМ И СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Гольдин Ю.А.¹, Глуховец Д.И.^{1,2}, Гончаренко И.В.¹, Шатравин А.В.¹

¹Институт Океанологии им. П.П. Шириова РАН

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

Введение. Поверхностный слой вод Карского моря подвержен сильному влиянию материкового стока [3]. Границы поверхностного опресненного слоя (ПОС) проявляются в виде фронтальных зон, разделяющих опресненные и соленые морские воды. Выполненные ранее исследования показали наличие значительной сезонной и межгодовой изменчивости границ и внутренней структуры ПОС. Это обуславливает необходимость проведения регулярных исследований ПОС. Помимо солености морской воды, эффективным индикатором наличия опресненных вод является интенсивность флуоресценции растворенного органического вещества (РОВ) и хлорофилла а (Хл а) [1]. Непрерывные измерения, проводимые на ходу судна, позволяют получать данные о пространственном распределении характеристик ПОС с достаточно высоким пространственным разрешением. Удобным инструментом для проведения таких измерений являются проточные датчики.

В данной работе представлены некоторые результаты исследований, выполненных в Карском море с помощью проточного измерительного комплекса в 125-м (сентябрь 2013 г.) и 128-м (август–сентябрь 2014 г.) рейсах НИС «Профессор Штокман». Данные судовых измерений сопоставлены с данными спутникового сканера цвета MODIS-Aqua.

Методы и средства исследований. Измерения характеристик поверхностного слоя воды выполнялись с помощью проточного измерительного комплекса [2]. Для измерения интенсивности флуоресценции РОВ и Хл а использовался двухканальный проточный флуориметр на сверхярких светодиодах ПДФ-2. В канале измерения интенсивности флуоресценции РОВ длина волны возбуждающего излучения $\lambda_{11}=373$ нм, максимум полосы регистрации соответствует длине волны $\lambda_{12}=480$ нм. В канале измерения интенсивности флуоресценции Хл а, соответственно, $\lambda_{21}=521$ нм и $\lambda_{22}=685$ нм. Измерения солености (S) и температуры (T) морской воды проводились с использованием проточного термосоленографа SBE 21 SEACAT (2013 г.) и проточного кондуктометра «Эксперт

002-2-6Пр». Водозаборная система обеспечивала непрерывную подачу заборной воды с горизонта ~ 1 м. Измерения интенсивности флуоресценции РОВ и Хл а, а также S и T выполнялись непрерывно по маршруту движения судна.

Карты распределения концентрации Хл а (Схл) строились по усредненным по времени данным сканера цвета MODIS Aqua с использованием регионального алгоритма, разработанного для Карского моря [4].

Результаты и обсуждение. Данные проточного измерительного комплекса позволили получить картину пространственного распределения характеристик поверхностного слоя морской воды в районах Карского моря, охваченных маршрутами рейсов. Зарегистрирован ряд фронтов и фронтальных зон, положение которых соответствует границам ПОС и дает информацию о его внутренней структуре.

На рис. 1 представлены распределения T , S , а также интенсивности флуоресценции РОВ и Хл а на разрезе T1 (2014 г.). Положение разреза показано на рис. 2. С севера область опресненных вод ограничена резким фронтом, проявившимся в распределении всех характеристик. Внешними пунктирными линиями отмечены границы уровня ~ 20 епс. Обширную область в средней части разреза занимают воды низкой солености (~ 12 епс). Они характеризуются высокими значениями интенсивности флуоресценции РОВ и Хл а. Здесь же были зафиксированы рекордно низкие для открытых районов Карского моря значения солености. Внутренние пунктирные линии ограничивают область вод с соленостью менее 10 епс и экстремально высокими значениями интенсивности флуоресценции РОВ и Хл а.

Карта распределения Схл (интервал усреднения 11.08–06.09 2014 г.) представлена на рис. 2. На карте показаны маршрут 128-го рейса НИС «Профессор Штокман», места пересечения фронтов, а также положение участков с аномально низкими значениями солёности. Из сопоставления спутниковых и судовых данных следует, что даже в случае использования регионального алгоритма на результат расчета Схл влияет также концентрация РОВ. Это позволяет предположить, что выделяющаяся на карте граница области повышенных значений Схл в значительной мере определяется повышенной концентрацией РОВ. Анализ данных судовых измерений показал наличие в ПОС сильной антикорреляции солености и интенсивности флуоресценции РОВ. Это позволяет использовать полученные карты распределения Схл для оценки положения границ ПОС.

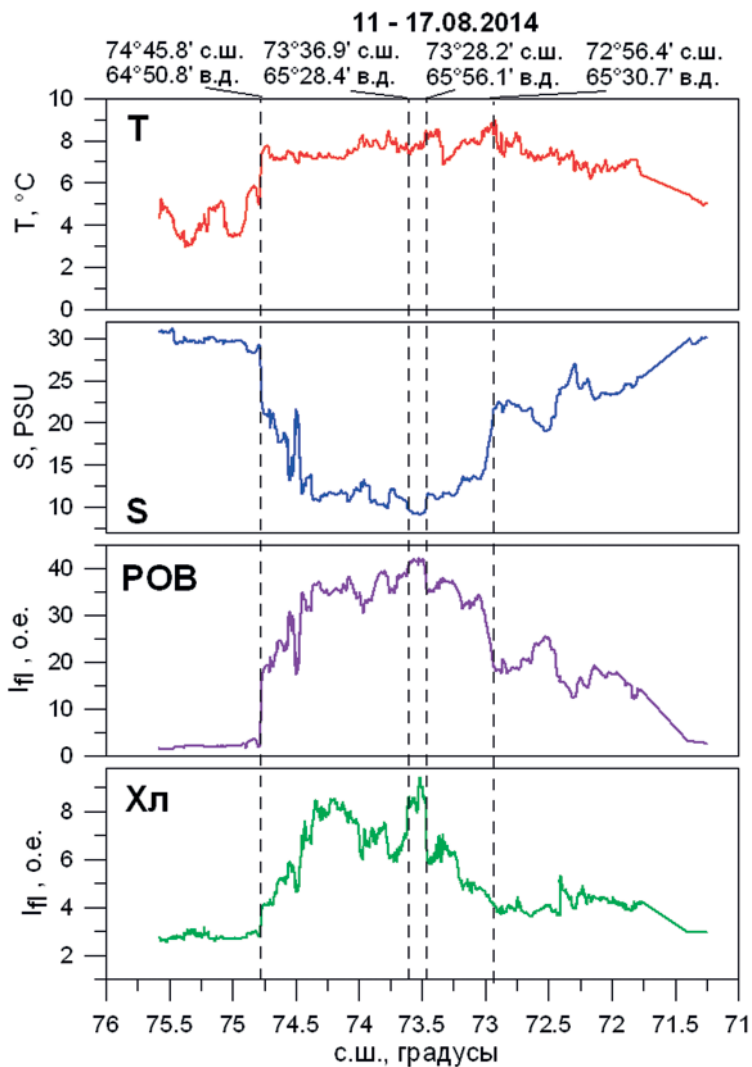


Рис. 1. Распределение температуры, солёности и интенсивности флуоресценции POB и Хл а на разрезе T1 (2014 г.). Протяженность разреза ~500 км

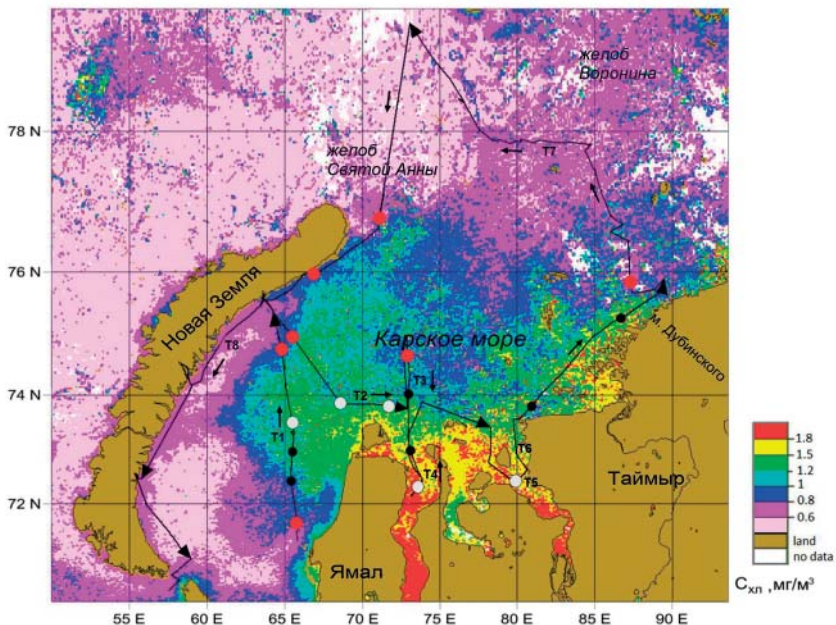


Рис. 2. Распределение концентрации $Хл а$, рассчитанное по данным спутникового сканера цвета MODIS-Aqua, осредненным за период 11.08–06.09 2014 г., и маршрут 128-го рейса НИС «Профессор Штокман». Кружками показано положение фронтов, зарегистрированных проточной системой (красные – внешние фронты, черные – внутренние). Белыми кружками отмечено положение локальных минимумов солености

Для летне-осеннего сезона 2013 г. построена серия карт распределения $С_{хл}$ с минимально возможным интервалом усреднения (порядка нескольких дней). На рис. 3 показано положение изолиний $С_{хл} = 0.9–1.0 \text{ мг/м}^3$, полученных для разных временных интервалов. Сравнение спутниковых и судовых данных показывает, что эти изолинии приблизительно соответствуют изохалинам $\sim 26–28 \text{ епс}$. Рисунок демонстрирует динамику распространения ПОС.

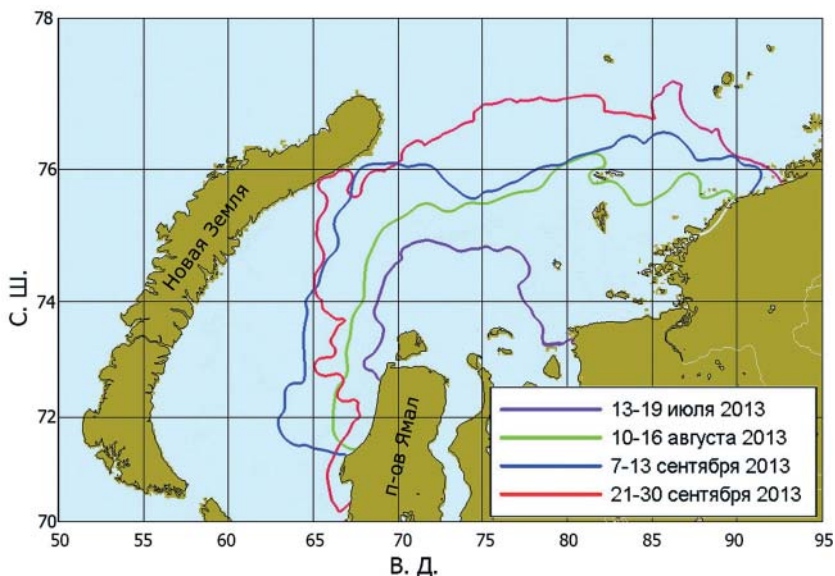


Рис. 3. Положение изолиний $Schl = 0.9-1.0 \text{ мг/м}^3$ в июле–сентябре 2013 г. по данным спутникового сканера цвета MODIS-Aqua. В легенде указаны соответствующие каждой изолинии периоды осреднения данных

Литература

1. Буренков В.И., Гольдин Ю.А., Артемьев В.А., Шеберстов С.В. Оптические характеристики вод Карского моря по судовым и спутниковым наблюдениям. // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 716–729.
2. Гольдин Ю.А., Шатравин А.В., Левченко В.А. и др. Исследования пространственной изменчивости интенсивности флуоресценции морской воды в западной части Черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т.3. № 1. С. 11–20.
3. Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В. и др. Поверхностный опресненный слой в Карском море // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 698–708.
4. Кузнецова О.А., Копелевич О.В., Шеберстов С.В. и др. Оценка концентрации хлорофилла в Карском море по данным спутникового сканера MODIS-Aqua // Исследование Земли из космоса. 2013. № 5. С. 21–31.

СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЙ КАРСКОГО МОРЯ

Щука С.А., Кременецкий В.В., Недоспасов А.А., Корж А.О.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Средние течения в Карском море определяются комбинацией влияния ветрового воздействия, пресноводного стока, термохалинных факторов и топографии дна. Первые два фактора оказывают большее воздействие на поверхностные воды, а другие влияют на более глубоководные слои. Сведения об общей циркуляции вод Карского моря являются весьма противоречивыми, в результате существуют несколько различных схем средних течений [1–4].

Согласно результатам экспедиционных исследований ИО РАН, выполненных в 54-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (6 сентября – 7 октября 2007 г.), основными элементами общей циркуляции вод Карского моря являются: Ямальское течение, Восточно-Новоземельское течение, течение в желобе Святой Анны. Эти течения являются топографически привязанными: они следуют изобатам и распространяются вдоль склона дна. Ямальское течение зарождается в районе Карских Ворот, и как часть циклонического круговорота поворачивает на восток, затем на север и распространяется по изобате 100 м вдоль побережья Ямала. Восточное Новоземельское течение со стрежнем над восточным склоном Новоземельской впадины направлено на северо-восток. Вблизи северной оконечности Новой Земли это течение встречается с течением желоба Святой Анны, отрывается от берега и распространяется практически на восток, сливаясь с продолжением Ямальского течения. Взаимодействие этих течений происходит в области порога, разделяющего желоб Святой Анны и Новоземельскую впадину, где образуется резкий фронт, разделяющий более теплые и соленые арктические воды и более холодные и пресные воды юго-западной части Карского моря [4]. Авторами схемы циркуляции, сформированной по результатам 2007 г., отмечалось частичное несоответствие с другими схемами циркуляции вод Карского моря.

Изучение течений буксируемым ADCP было продолжено в ходе экспедиций ИО РАН в 2011 г. (59 рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»), в 2014 гг. (128 и 129 рейсы НИС «Профессор Штокман»). Наиболее масштабные исследования были выполнены в 2014 г. в ходе попутных непрерывных измерений характеристик течений с помощью

закрепленного к борту судна доплеровского акустического профилографа течений RDI WorkHorse Monitor 300 (рис. 1).

На рис. 2 представлен разрез по скорости и направлению течений от п-ва Ямал до Новой Земли. Четко выраженного Ямальского течения на этом разрезе не наблюдается. На разрезе по направлению течений хорошо видны вихри/меандры, а также четко выделяются границы поверхностной опресненной линзы.

Представляет интерес разрез вдоль северо-восточного берега Новой Земли (рис. 3). На нем четко прослеживается направленное на юго-запад Восточное Новоземельское течение, а также течение желоба Святой Анны, направленное практически на восток.

В ходе 129 рейса НИС «Профессор Штокман» выполнялась полигонная съемка в юго-западной части моря 19.09-03.10.2014 (рис. 1). Эти

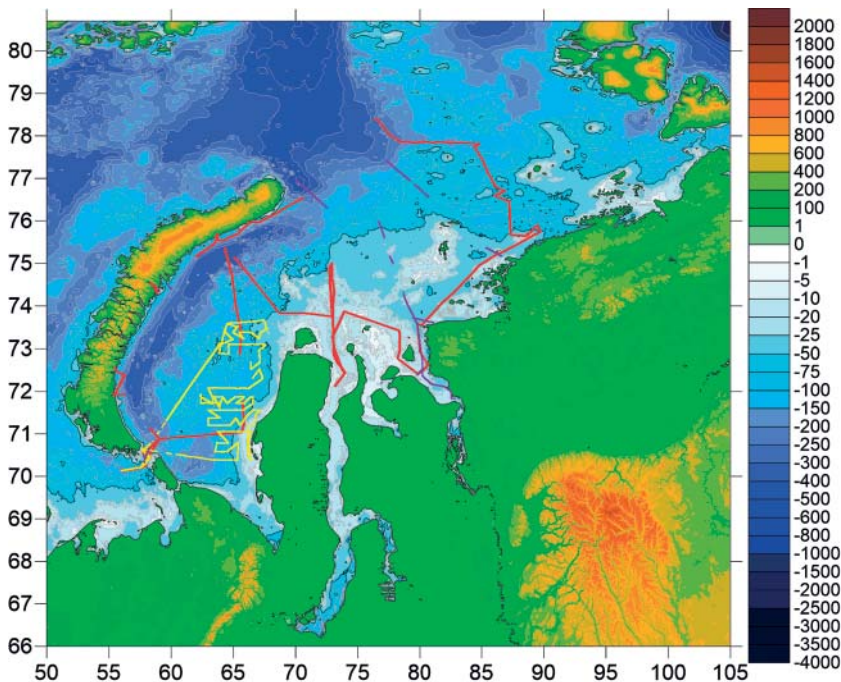


Рис. 1. Карта измерений течений на разрезах буксируемым ADCP. Красный – 128 рейс НИС «Профессор Штокман», желтый – 129 рейс НИС «Профессор Штокман», фиолетовый – 59 рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»

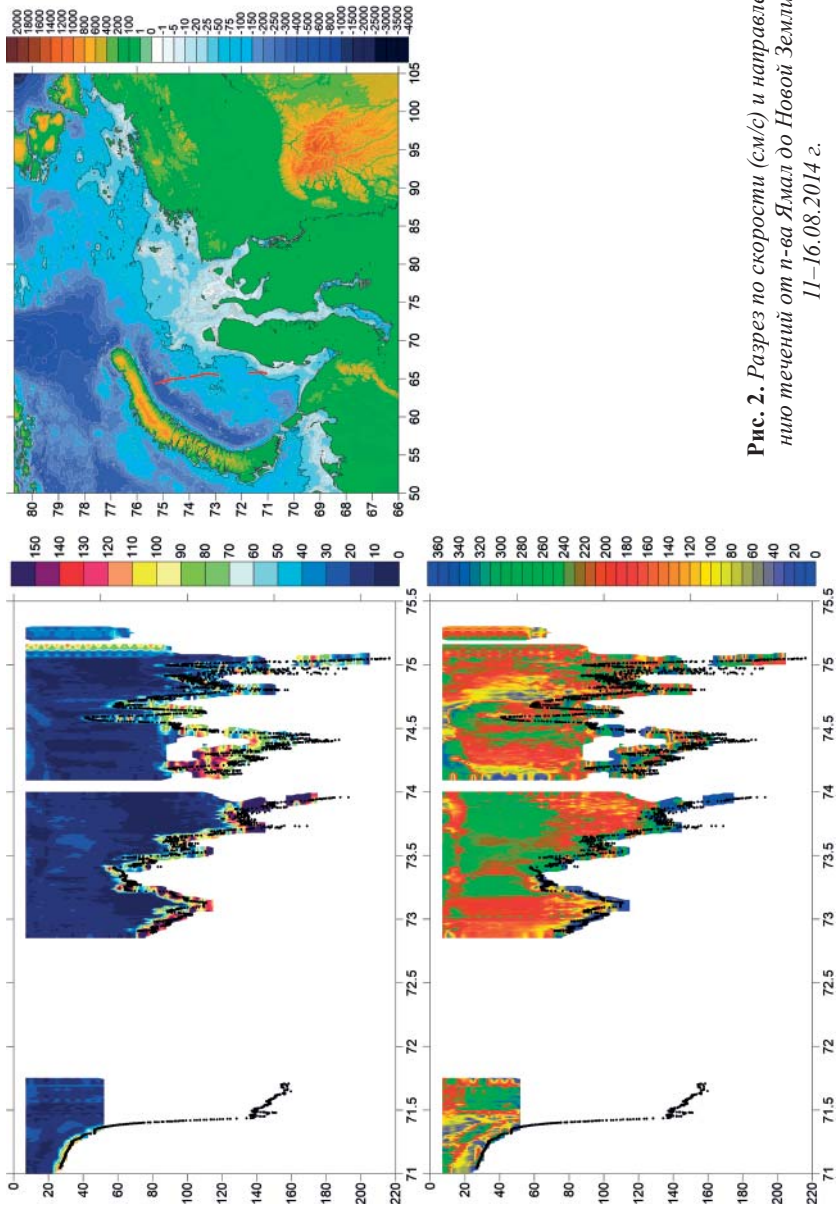


Рис. 2. Разрез по скорости (см/с) и направлению течений от п-ва Ямал до Новой Земли 11–16.08.2014 г.

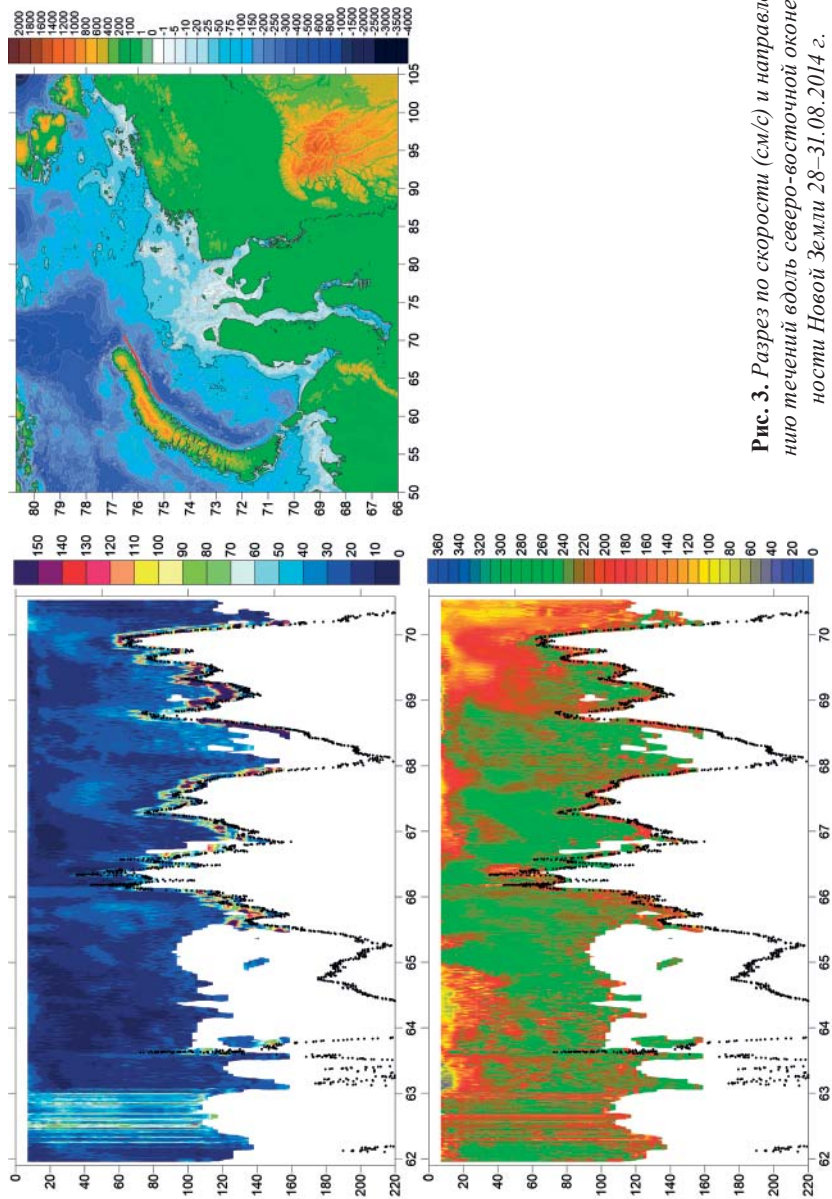
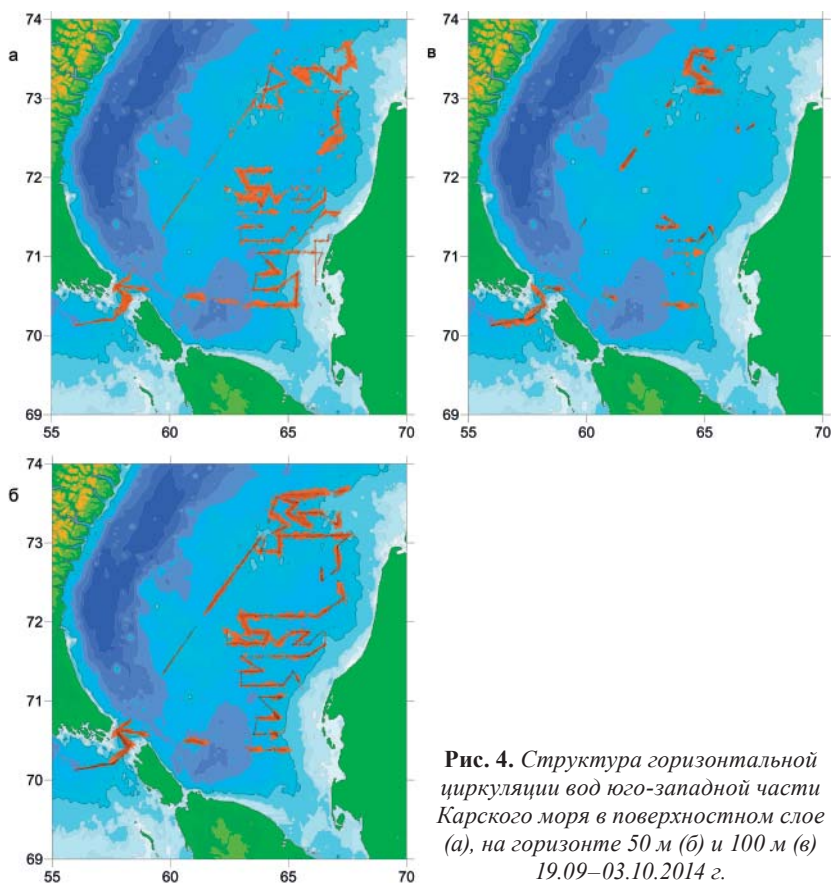


Рис. 3. Разрез по скорости (см/с) и направлению течений вдоль северо-восточной оконечности Новой Земли 28–31.08.2014 г.

исследования позволили увидеть пространственную структуру циркуляции вод на различных горизонтах. На рис. 4 представлена структура горизонтальной циркуляции вод в поверхностном слое, на горизонтах 50 и 100 м.

Полученные нами результаты не согласуются полностью ни с одной из упомянутых в работах [1–4] схемах циркуляции. Так, например, от построенной по результатам исследований 2007 г. схемы [4] наши результаты отличаются наличием юго-западного Восточно-Новоземельского течения, но совпадают с результатами наблюдений в работе [1]. Также мы не наблюдали четко выраженного Ямальского



течения, приуроченного к склону Ямальского шельфа, которое хорошо прослеживалось в 2007 г.

Исходя из всего вышесказанного, можно констатировать, что даже направление переноса вод основными течениями в Карском море не является однозначно установленным. Наиболее противоречивым является вопрос о направлении Восточно-Новоземельского течения. По-видимому, структура циркуляции меняется от года в год вплоть до смены направления «основных течений». Причины и закономерности подобных изменений циркуляции вод изучены недостаточны.

Таким образом, представляется необходимым продолжить и расширить исследования пространственной структуры течений, сопровождаемые подробным изучением термохалинной структуры вод на разрезах и полигонах.

Литература

1. *Pavlov V.K., Pfirmann S.L.*, 1995. Hydrographic structure and variability of the Kara Sea: Implications for pollutant distribution // *Deep-Sea Res. Pt. II*. 1995. Vol. 42. № 6. P. 1369–1390.

2. *Harms I.H., Karcher M.J.*, 1999. Modeling the seasonal variability of circulation and hydrography in the Kara Sea // *J. Geophys. Res.* V. 104 № C6. P. 13431–13448.

3. *Степанов С.И.* Особенности циркуляции вод Карского моря в навигационный период // *Тр. Аркт. и Антаркт. ин-та*. 1985. Т. 389. С. 59–61

4. *Зацепин А.Г., Морозов Е.Г., Пака В.Т., Демидов А.Н., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кременецкий В.В., Поярко С.Г., Соловьев Д.М.* Циркуляция вод в юго-западной части Карского моря в сентябре 2007 г. // *Океанология*, 2010. Т. 50. № 5. С.683–697.

СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЙ В ПРОЛИВЕ КАРСКИЕ ВОРОТА

Щука С.А., Кременецкий В.В., Недоспасов А.А., Корж А.О.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Пролив Карские Ворота на западе Карского моря имеет ширину 45 км и глубину порога около 50 м. Через пролив Карские Ворота проникают относительно теплые и соленые Баренцевоморские воды. Заток Баренцевоморских вод через пролив Карские Ворота (0.3–0.6 Св), продолжающийся потоком вод северо-восточного направления вдоль материкового склона, является одним из важнейших элементов циркуляции

вод Карского моря. Согласно оценкам полных расходов на границах Карского моря, полученных на основе численного моделирования, ориентировочные значения средних за год расходов таковы: а) пролив Карские Ворота – 0.3 Св ($10 \text{ км}^3/\text{год}$); б) пролив Вилькицкого – -0.12 Св ($-3.6 \text{ км}^3/\text{год}$); в) северная морская граница – -0.25 Св ($-7.5 \text{ км}^3/\text{год}$) [1]. С учетом того, что материковый сток дает 0.04 Св ($1200 \text{ км}^3/\text{год}$), водный баланс приблизительно сходится. Однако амплитуда внутригодовой изменчивости значений расходов существенно превышает средние значения. Зимой расход через пролив Карские Ворота достигает величины 1 Св и более, через пролив Вилькицкого – -0.5 Св, через северную морскую границу – -0.5 Св. Летом расход через Карские Ворота становится отрицательным, а через пролив Вилькицкого и северную морскую границы – положительным [1]. Модули летних расходов в несколько раз меньше зимних. Более ранние расчеты также показали, что в теплый период года, т.е. во время паводка и преобладания северо-восточных ветров, приток воды из Баренцева моря в Карское море через пролив Карские Ворота практически прекращается, и сменяется слабым оттоком [2].

В 2014 г. в ходе экспедиций ИО РАН (128 и 129 рейсы НИС «Профессор Штокман») были выполнены попутные непрерывные измерений характеристик течений в районе Карских ворот с помощью закрепленного к борту судна доплеровского акустического профилографа течений (ADCP) RDI WorkHorse Monitor 300. В период 10.08–03.10.2014 было выполнено 4 разреза в Карских воротах, что позволило проследить динамику течений в исследуемом районе в теплый период года. На рисунках 1–4 представлены полученные результаты.

Согласно измерениям, выполненным 10.08.2014, водообмен в Карских воротах в начале августа был незначительным (рис. 1). В то же время обнаруживались струи со скоростями, достигающими 70 см/с. Отсутствие значительного затока баренцевоморских вод косвенно было подтверждено на гидрофизических станциях, расположенных до и после Карских ворот. *T,S*-анализ показал отсутствие ярко-выраженных баренцевоморских вод в Карском море в районе Карских ворот.

Через месяц (09.09.2014) наблюдалось существенное усиление течений в Карских воротах (рис. 2). Скорости в районе порога достигали 130 см/с. Увеличился поток баренцевоморских вод в Карское море. Были повторно проведены гидрофизические зондирования на станциях в районе Карских ворот со стороны Карского и Баренцева моря. *T,S*-анализ показал ярко-выраженное присутствие свежих баренцевоморских вод

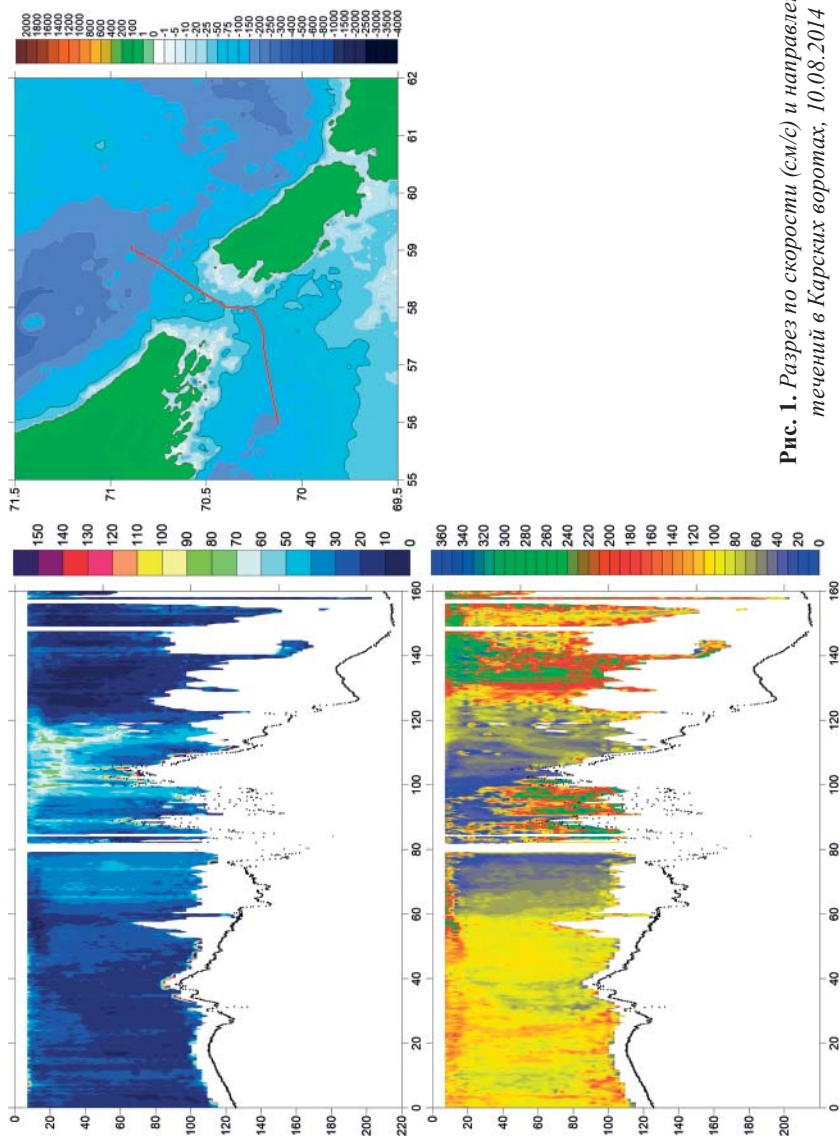


Рис. 1. Разрез по скорости (см/с) и направлению течений в Карских воротах, 10.08.2014

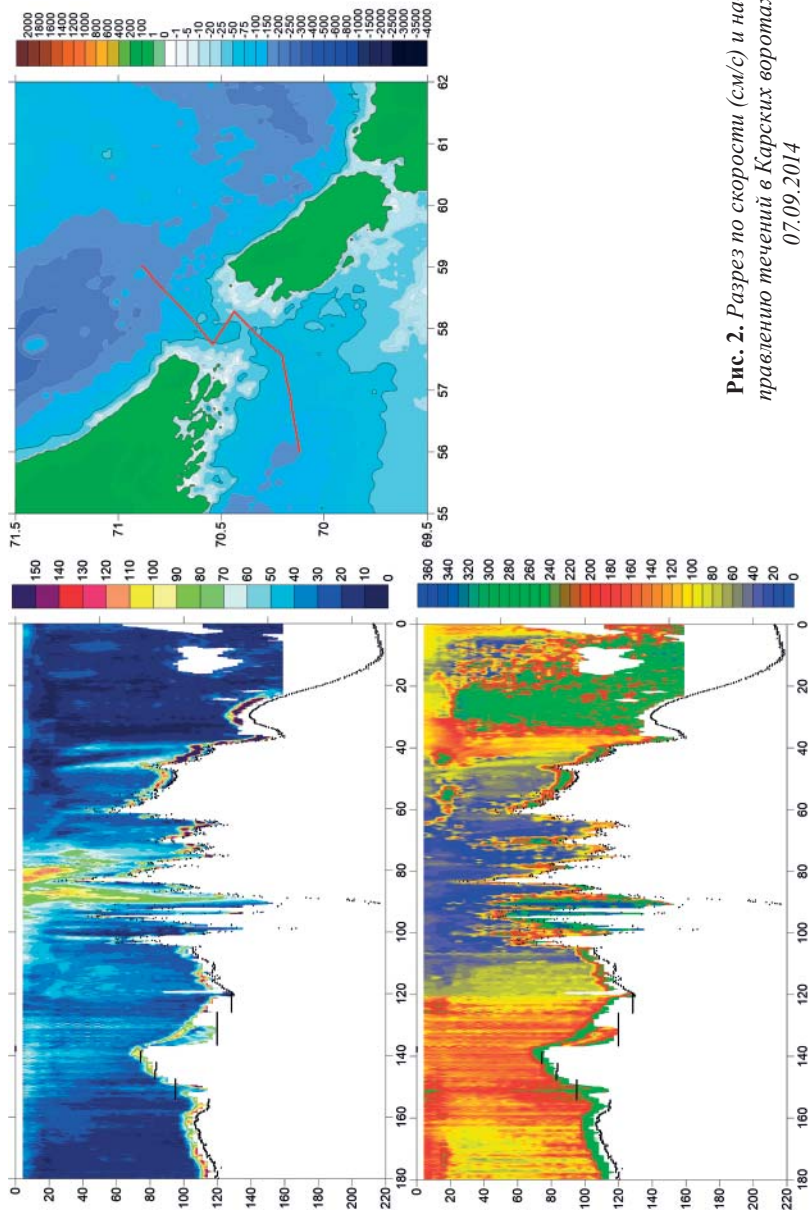


Рис. 2. Разрез по скорости (см/с) и направлению течений в Карских воротах, 07.09.2014

в Карском море в районе Карских ворот. В северной части Карских ворот можно наблюдать течение Литки, направленное из Карского в Баренцево море. Скорость течения порядка 30 см/с.

Через 10 дней, 19.09.2014 поток баренцевоморских вод через Карские ворота еще более усилился (рис. 3). Скорость течения возросла до 150 см/с. Струя занимала большую часть пролива, достигая ширины 30 км и глубины 80 м. За Карскими воротами поток сменил направление с северо-восточного на восточное и стал еще мощнее.

Измерения, выполненные 03.10.2014, выявили существенные изменения в характере водообмена в Карских воротах (рис. 4). Так, основным направлением потока в проливе стало восточное. Скорости потока снизились до 70 см/с, исчезла ярко-выраженная струя. Существенно усилилось течение Литке.

Итак, полученные нами результаты позволили описать динамику водообмена в районе Карских ворот в теплый период 2014 г. Характер водообмена в проливе очень сложный и требует дальнейшего детального изучения. Плохо известен рельеф дна в проливе, что затрудняет правильный выбор расположения гидрофизических разрезов и/или мест постановки заякоренных и донных станций. Полученные нами результаты не полностью соответствуют теоретическим представлениям о характере водообмена, описанном в [1, 2].

Таким образом, представляется необходимым продолжить и расширить исследования пространственной структуры течений, сопровождаемые подробным изучением термохалинной структуры вод на разрезах и постановкой долговременных станций в районе Карских ворот.

Литература

1. *Harms I.H., Karcher M.J.*, 2005. Kara Sea freshwater dispersion and export in the late 1990s, *J. Geophys. Res.*, vol. 110, doi: 10.1029/2004JC002744.

2. *Harms I.H., Karcher M.J.*, 1999. Modeling the seasonal variability of circulation and hydrography in the Kara Sea // *J. Geophys. Res.* V. 104 № С6. P. 13431–13448.

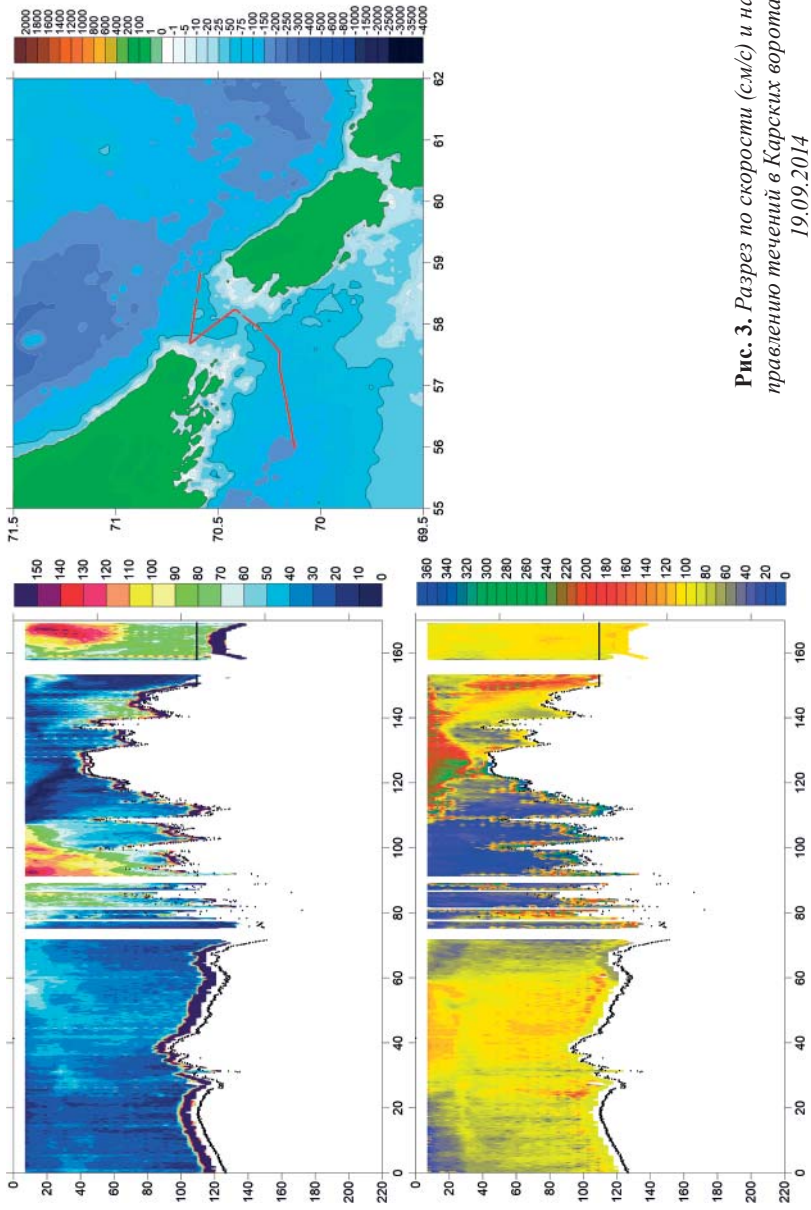


Рис. 3. Разрез по скорости (см/с) и направлению течений в Карских воротах, 19.09.2014

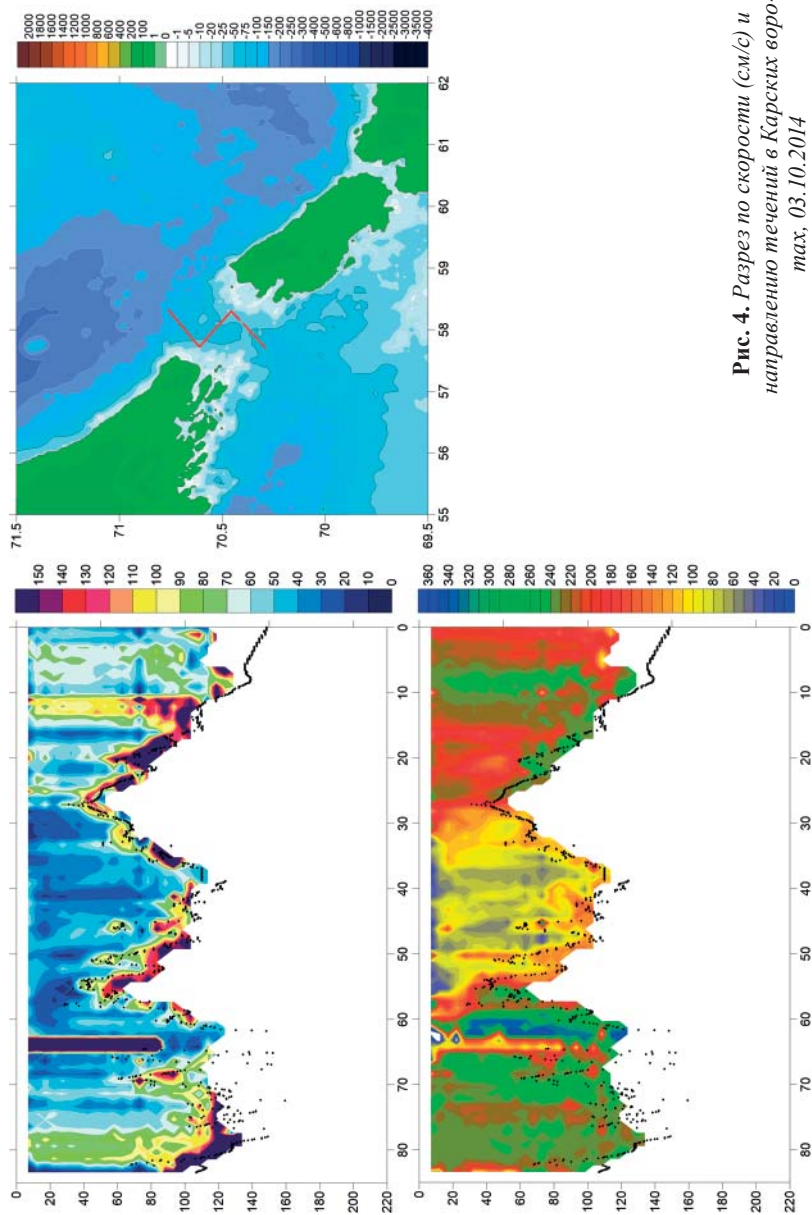


Рис. 4. Разрез по скорости (см/с) и направлению течений в Карских воротах, 03.10.2014

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ МОРСКОЙ ВОДЫ В КАРСКОМ МОРЕ

Глуховец Д.И.^{1,2}, Гольдин Ю.А.¹, Шатравин А.В.¹

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН*

²*Московский физико-технический институт*

Введение. Флуоресцентные измерения – удобный и эффективный инструмент [1, 4, 5] для исследования пространственного распределения биооптических характеристик, в том числе для получения экспресс-оценок. Они позволяют оперативно регистрировать границы поверхностного опресненного слоя (ПОС) и его пространственную структуру. Флуоресцентные измерения помогают произвести оптимальный выбор положения станций и разрезов в условиях высокой пространственно-временной изменчивости исследуемых параметров.

Методы и средства исследований. Исследования горизонтального распределения характеристик поверхностного слоя вод Карского моря проводились с использованием проточного измерительного комплекса [4]. Измерения интенсивности флуоресценции окрашенной части растворенного органического вещества (ОРОВ) и хлорофилла А (Хл а), а также солености и температуры воды выполнялись непрерывно на ходу судна с пространственным разрешением 50–100 м. Длины волн возбуждающего флуоресценцию излучения $\lambda_{11}=373$ нм (ОРОВ) и $\lambda_{21}=521$ нм (Хл а), максимумы полос регистрации $\lambda_{12}=480$ нм и $\lambda_{22}=685$ нм, соответственно.

Спектры флуоресценции ОРОВ и Хл а измерялись с помощью работающего на пробах лазерного спектрометра (ЛС–2) [4]. Флуоресценция в приборе возбуждается лазерным излучением с длинами волн $\lambda_1=401$ нм и $\lambda_2=532$ нм. Спектры регистрируются малогабаритным спектрометром Ocean Optics USB4000. Длинноволновая граница области регистрации – 800 нм. Работа на пробах дает возможность проводить оценки вертикальных распределений биооптических характеристик

Результаты и обсуждение. Данные измерений ЛС-2, выполненные на пробах с разных горизонтов, взятых на станциях разрезов, позволили построить двумерные распределения интенсивности флуоресценции ОРОВ и Хл а.

На рис. 1 сопоставлено двумерное распределение интенсивности флуоресценции Хл а при длине волны возбуждающего излучения 532 нм с двумерным распределением концентрации Хл а, построенным по ре-

зультатам прямых определений (данные А.Н. Ступниковой) на Обском разрезе. В целом наблюдается достаточно хорошее совпадение структур. В области фронта (270–300 км) в распределении интенсивности флуоресценции Хл а зарегистрировано значительное локальное повышение интенсивности, которое не отражается на распределении концентрации. Эта зарегистрированная особенность требует дополнительных исследований.

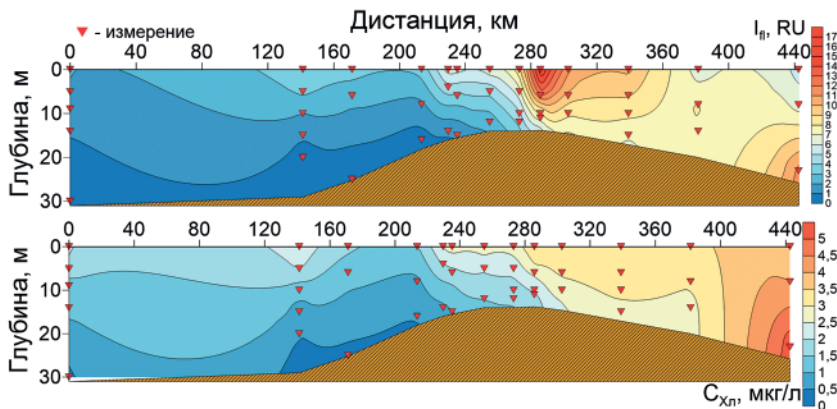


Рис. 1. Двумерное распределение интенсивности флуоресценции Хл а при длине волны возбуждающего излучения 532 нм (сверху) и прямые определения концентрации Хл а (снизу). Обский разрез. Август 2013 г.

На рис. 2 представлено сопоставление двумерных распределений интенсивности флуоресценции ОРОВ и Хл а при длине волны возбуждающего излучения 401 нм и интенсивности флуоресценции Хл а при длине волны возбуждающего излучения 532 нм. Лучшее совпадение с результатами прямых определений (данные не представлены) наблюдается в синем канале (длина волны возбуждающего излучения $\lambda_1 = 401$ нм). Этот результат связан с характеристиками спектра поглощения пигмента Хл а – поглощение имеет максимумы в синей и красной частях спектра. Излучение в зеленой области спектра ($\lambda_2 = 532$) поглощается дополнительными пигментами фитопланктона. Энергия возбуждения безызлучательно передается хлорофиллу А, флуоресценция которого регистрируется ЛС-2. Флуоресценция может зависеть от многих параметров, но качественно она верно передает структуру пространственного распределения ОРОВ и Хл а.

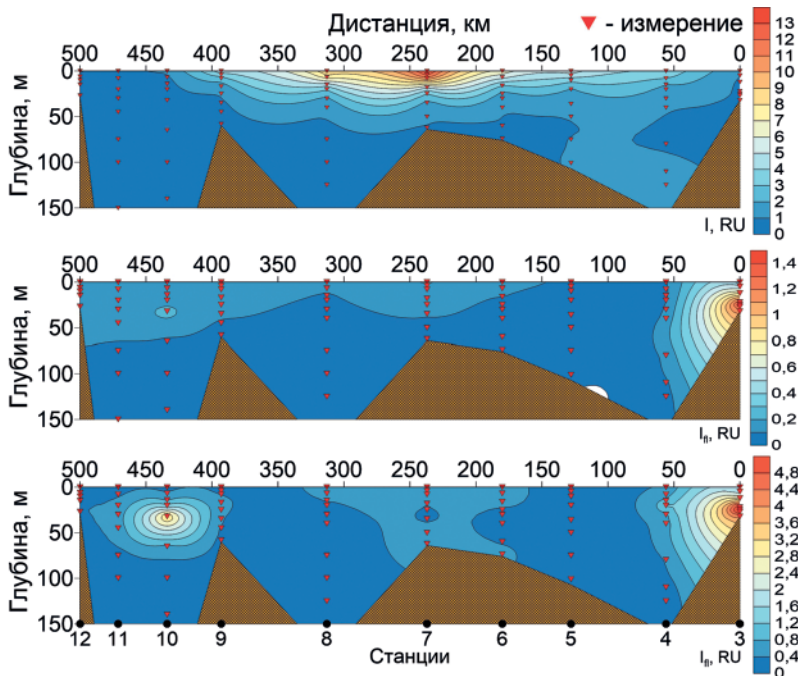


Рис. 2. Двумерное распределение интенсивности флуоресценции ОРОВ при длине волны возбуждающего излучения 401 нм (сверху) и интенсивности флуоресценции Хл а при длине волны возбуждающего излучения 401 нм (в центре) и 532 нм (снизу). Разрез 1. Август 2014 г.

Проточный измерительный комплекс позволил исследовать взаимосвязь характеристик поверхностного слоя вод Карского моря. На разрезах, выполненных в области ПОС, зарегистрирована ярко выраженная антикорреляция интенсивности флуоресценции ОРОВ и солености. Пример антикорреляции показан на рис. 3. Такая связь обусловлена тем, что обе характеристики в значительной мере определяются процессами разбавления [3] – пресные речные воды содержат существенно большее количество ОРОВ, чем соленые морские. В области океанских вод, свободных от влияния речного стока, такой эффект не наблюдается. Наличие антикорреляции позволяет оценивать границы области ПОС по спутниковым данным, используя региональный алгоритм расчета концентрации ОРОВ [2].

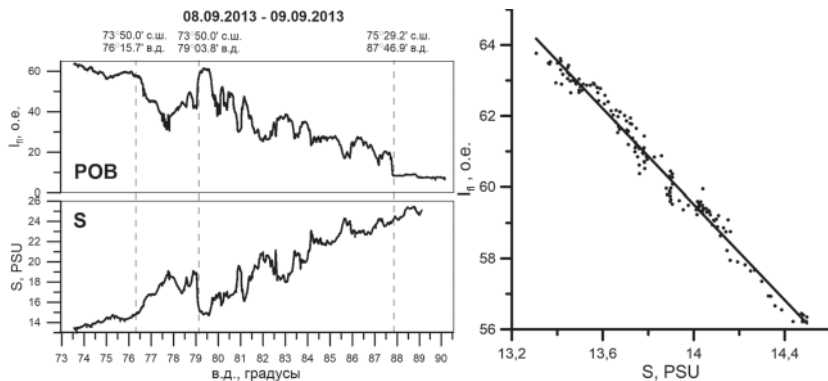


Рис. 3. Распределение солёности и интенсивности флуоресценции ОРОВ на участке разреза, лежащего в области опресненных вод (слева). Диаграмма рассеяния этого распределения, $R^2 = 0.977$ (справа). Сентябрь 2013 г.

Литература

1. Буренков В.И., Гольдин Ю.А., Артемьев В.А., Шеберстов С.В. Оптические характеристики вод Карского моря по судовым и спутниковым наблюдениям. // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 716–729.
2. Вазюля С.В., Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Артемьев В.А. Оценка по спутниковым данным показателей поглощения окрашенного органического вещества и диффузного ослабления солнечного излучения в водах Белого и Карского морей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 31–41.
3. Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А. Исследование биооптических характеристик вод Карского моря с использованием данных спутниковых и судовых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 346–350.
4. Гольдин Ю.А., Шатравин А.В., Левченко В.А., Венцкут Ю.И., Гуреев Б.А., Копелевич О.В. Исследования пространственной изменчивости интенсивности флуоресценции морской воды в западной части Черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т. 3. № 1. С. 11–20.
5. Kopelevich O.V., Goldin Yu.A., Artemiev V.A., Shatravin A.V. Optical structure of the Kara Sea waters from data of the ship measurements in 2011. // Proceedings of VII International Conference «Current Problems in Optics of Natural Waters». Saint Petersburg: «Nauka», 2013. P. 67–71.

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИКОВОГО СТОКА НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КАРСКОГО МОРЯ

Маккавеев П.Н.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова

Общий объём поверхностных и подземных вод, выпадающих в Северный Ледовитый океан (СЛО), оценивался в среднем 5220 км³ в год, модуль стока составляет 355 мм в год на единицу площади, что почти в 3 раза превышает его величину для Мирового океана [1]. Даже среди морей СЛО Карское море занимает особое положение. В море выпадают крупные сибирские реки Обь, Пур, Таз, Енисей, Пясины и другие. На море приходится 41% всего стока с суши в Северный Ледовитый океан или 56% стока рек сибирского сектора Арктики. Суммарный сток рек, выпадающих в Карское море, что составляет 1350 км³/год, из этого объема на долю устьев Оби и Енисея приходится, соответственно, 530 и 603 км³/год или 37 и 45 %, соответственно [3]. Воды этих рек представляют основную составляющую пресного стока. Состав химического стока рек индивидуален для каждой реки и меняется как в пространстве, так и во времени.

Основные процессы взаимодействия морских и речных вод происходят в пределах «устьевой области». По наиболее распространенным представлениям верхняя граница устьевой области (иногда называемая «речной границей») определяется «либо по максимальной дальности распространения в реку колебаний уровня воды морского происхождения (приливов, нагонов) при меженном речном стоке ..., либо по месту, где начинается разветвление устья на дельтовые рукава, если колебания уровня воды морского происхождения сюда не доходят» [3]. Нижнюю границу устьевой области реки рекомендуют выделять по максимальной дальности распространения внешней границы смешения речных и морских вод в поверхностном слое (по положению изогалины 90% от минерализации приемного бассейна) при повышенном речном стоке, например, при половодье. Анализ литературных данных и материалов экспедиций ИОРАН 1997–2014 гг. показывает, что, по крайней мере, вся центральная и западная часть Карского моря может быть отнесена к огромному приустьевому району системы рек Енисей – Обь (рис. 1).

Влияние речного стока на гидрохимическую структуру моря, в первую очередь будет проявляться в образовании поверхностного слоя

вод с пониженной соленостью и достаточно устойчивой плотностной границей с нижележащими водами. Для вод этого слоя будет характерно повышенное содержание растворенного кремния, которым обогащены практически все воды материкового стока. В этих водах величина общей щелочности (Alk) будет ниже, чем в морских водах, но величина отношения Alk/S будет значительно выше, чем в морских водах. Следует отметить, что величина этого отношения надежный критерий определения речного влияния. Изменение солености может происходить и под влиянием таяния льдов (морских, речных, материковых), атмосферных осадков, деградации мерзлоты и прочее. Но изменение соотношения Alk/S (или Alk/Cl) происходит в основном под влиянием именно речного стока. При Alk/S более 0.06–0.08 можно уверенно говорить о значительном присутствии именно речных вод.

Для вод с сильным влиянием речного стока характерно повышенное содержание органического азота и фосфора. Минеральные формы азота и фосфора в этих водах могут снижаться практически до нулевых значений. Это может быть связано с исчерпанием доступных биогенных

элементов еще при выходе из устья рек, с тем, что основная часть органического вещества выносимого реками относится к стойкому виду и может не окисляться значительное время и отсутствием притока биогенных элементов из нижележащих слоев благодаря сильной плотностной стратификации вод.

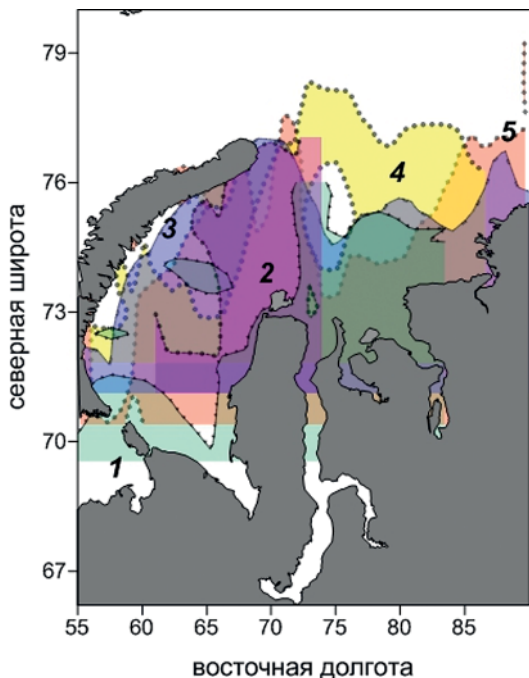


Рис. 1. Положение границ присутствия вод речного стока (до 10% по общей минерализации вод) по результатам работ: 1 – 1993 г.; 2 – 2007 г.; 3 – 2011 г.; 4 – 2013 г.; 5 – 2014 г.

Одна из интересных особенностей воздействия речного стока это формирование в теплое время слоя с повышенным содержанием и насыщением кислорода ниже галоклина. Происхождение этого слоя, скорее всего, можно объяснить тем, что весной значительные массы воды, выносимые с половодьем, перекрывают поверхностные морские воды, в которых в это время активно проходило весеннее цветение [2].

Если рассматривать общее воздействие речного стока на биопродуктивность Карского моря можно сделать несколько неожиданный вывод: обилие речного стока по акватории моря негативно влияет на продукционные характеристики вод. Во-первых, это ухудшение вертикального обмена биогенными элементами, во-вторых, благодаря низкой прозрачности речных вод (повышенная мутность и цветность речных вод) происходит уменьшение толщины фотического слоя; в третьих, выносимые реками биогенные элементы часто с трудом потребляются морскими продуцентами. И наконец, биологическая продуктивность вод морей связана не только с обилием первичного питательного субстрата (биогенных элементов), но и со стабильностью условий обитания. Частая смена соленых и пресных вод приводит к подавлению развития морской биоты.

Прогнозируя возможные изменения речного стока в Карском море можно предположить, что в случае потепления произойдет выравнивание величины стока и химического состава вод в зимнее и летнее время. Объём вод выносимых в океан возрастет, главным образом за счет своей зимней составляющей [4]. Деграция мерзлотных пород приведет к увеличению химического стока. Для районов, прилегающих непосредственно к устьям рек возможно увеличение продуктивности вод. Для открытой части при потеплении в бассейне Северного Ледовитого океана будет сформирован мощный и устойчивый в течении всего года поверхностный слой вод с невысокой соленостью. Усиление стратификации может привести к уменьшению потока биогенных элементов из нижележащих слоёв и лимитировать деятельность первичных продуцентов в верхних слоях СЛО.

В случае похолодания, разница между объёмом зимнего и летнего стока увеличится, Уменьшится вынос химических веществ со стоком, из-за связывания части взвешенного и растворенного органического вещества в мерзлотных почвах. Это приведет к снижению биологической продуктивности в приустьевых районах. Но в открытой части морей, напротив, произойдет разрушение верхнего перемешанного слоя, по крайней мере, в холодное время, выравнивание гидрохимических па-

раметров по вертикали, усиление вентиляции глубинных слоев океана, что компенсирует уменьшение приноса биогенных элементов с речным стоком.

Литература

1. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 160 с.
2. Маккавеев П.Н., Стунжас П.А., Мельникова З.Г. и др. Гидрохимическая характеристика вод западной части Карского моря // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 730–739.
3. Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: Прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
4. Савельева Н.И., Василевская Л.И., Семилетов И.П. и др. Климатическая изменчивость сезонного стока сибирских рек. Труды Арктического регионального центра. Том 2. Часть 1. Гидрометеорологические и биогеохимические исследования в Арктике. – Владивосток: Дальнаука, 2000. С.9–21.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ ОБСКОЙ ГУБЫ В ПЕРИОД ОТКРЫТОЙ ВОДЫ

Лапин С.А.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»)

Обская губа уникальный и единственный в своем роде водоем, вытянутый в меридиональном направлении на 800 км. Через нее в Карское море ежегодно поступает в среднем 530 км³ пресного стока из бассейнов Оби, Таза, Пура, Надыма и многочисленных малых рек Гыданского и Ямальского побережий. Большая часть губы заполнена пресными водами, которые в ее северной части контактируют с солеными водами Карского моря, образуя достаточно протяженную фронтальную зону, положение которой динамично и зависит от объема поступающего в море речного стока в каждый конкретный период времени. В целом клин соленых вод за годичный цикл может перемещаться на расстояние до 300 км, занимая крайнее северное положение в июле-августе, а крайнее южное – в конце зимней межени в марте-апреле. Период открытой воды продолжается порядка трех месяцев с конца июля до начала октября. С учетом достаточно протяженного половодья на р. Оби, вследствие ее естественной зарегулированности, а также трансформации половодной

волны самой губой, сток речных вод в Карское море большую часть этого периода остается достаточно высоким. Соответственно и граница южной части фронтальной зоны в это время относительно стабильна. Обские воды занимают всю верхнюю часть профиля фронтальной зоны, и, постепенно осолоняясь, движутся по клину соленых вод.

Время биологической весны чрезвычайно важно для функционирования любой экосистемы, но особенно исключительную роль оно играет в арктических районах, к которым в значительной части относится и Обская губа. Биологическая весна наступает на ее акватории сразу после схода льда. В этот период после долгой зимы воды губы содержат максимальные запасы минеральных форм биогенных элементов: кремний 120–180 μM (при этом самые высокие концентрации – 180 μM – зафиксированы в лишенных кислорода заморных водах из Оби), азот нитратов 30–32 μM , фосфор фосфатов – около 3 μM [3], к тому же светлое время распространяется практически на полные сутки. Начинается бурная деятельность автотрофов, большая часть которых представлена диатомовым фитопланктоном. Уровень первичного продуцирования в пресноводной части губы достигает максимальных величин, как для данного водоема, так и для прибрежных акваторий в целом (200–600 $\text{мгС/м}^3\text{сут}$ с максимумом в области, прилегающей к фронтальной зоне) [3]. Активный фотосинтез приводит к быстрому освоению зимних запасов биогенных элементов, прежде всего кремния и нитратного азота, их содержание падает соответственно до 15–60 μM и 0–1 μM . Содержание фосфора фосфатов, который всегда присутствует в водах губы в достаточном количестве, также несколько уменьшается, но не ниже 1 μM [2, 3].

В водах фронтальной зоны в акватории обского бара в этот период (биологической весны), напротив, отмечаются повышенные концентрации основных форм минеральных биогенных элементов, прежде всего, кремния – до 206 μM , а также нитратного азота – до 10–12 μM , фосфора фосфатов – до 2.5 μM [2, 3]. Это явление впервые было отмечено в многочисленных, но разрозненных исследованиях ААНИИ, обобщенных в работе С.В. Пивоварова [6]. Впоследствии, до развернутых исследований ВНИРО в начале августа 2010 г. [2], отсутствие летних работ в этой области и, напротив, наличие осенних, привело к игнорированию и забвению этого процесса. В 2012 г. повышенное содержание здесь кремния (150 μM у м. Штормовой), кстати в сравнении с енисейскими водами, было вновь подтверждено работами того же ААНИИ [5]. С нашей точки зрения описанное явление связано с тем, что большое количество пресноводного диатомового фитопланктона,

активно развивающегося в речной части губы в период короткой арктической весны сразу после схода льда, отмирает, попадая с течением в область вод с повышенной соленостью. Далее в районе бара в слое турбулентного потока слегка осолоненных вод над галоклином происходит интенсивное разложение органического вещества детрита, следствием которого является резкое повышение в этой области губы содержания в воде минеральных форм биогенных элементов. Скорость этого процесса вызывает у многих исследователей закономерные сомнения. Однако известно, что во фронтальной зоне эстуарных экосистем скорость утилизации органического вещества многочисленными бактериями, адсорбированными на органических и органоминеральных агрегатах, может быть значительно (иногда на порядки) выше, чем на сопредельных территориях [1]. Также важно отметить, что во всех наших исследованиях фронтальной зоны пик концентраций содержащихся в воде регенерированных биогенных элементов отмечался в юго-восточной части северного расширения Обской губы (северо-восточнее мыса Штормовой). Именно эта область фронтальной зоны находится в тени стокового течения, вследствие специфики батиметрии и преобладающих направлений движения стрекня обских вод. Соответственно именно здесь создаются условия для задержки поступающих с пресноводной части губы вод, а поздней осенью, при падении стока, формируется специфическая относительно изолированная водная масса. Процесс регенерации биогенных элементов во фронтальной зоне Обской губы активно идет в конце июля и в августе, хотя оценка его продолжительности не ясна и требует специальных исследований. Именно в первой декаде августа 2010 года экспедицией ВНИРО (совместно с ИО РАН) в области над баром, были зафиксированы максимальные из когда-либо наблюдавшихся концентрации минеральных форм биогенных элементов. В частности, содержание кремния достигало 206 μM в слое над галоклином и до 160 μM у дна [2]. Поздней осенью того же года (в сентябре–октябре), в условиях резкого снижения биологической активности по всей акватории губы процесс обогащения фронтальной зоны биогенными элементами прекратился, а их содержание в ее восточной и юго-восточной частях лишь ненамного превышало концентрации в пресноводной части губы (по кремнию 50–60 μM против 30–40 μM). Во второй декаде сентября 2014 г. исследования ВНИРО во фронтальной зоне зафиксировали некоторое промежуточное состояние водной среды между двумя ранее упомянутыми съемками (рис. 1).

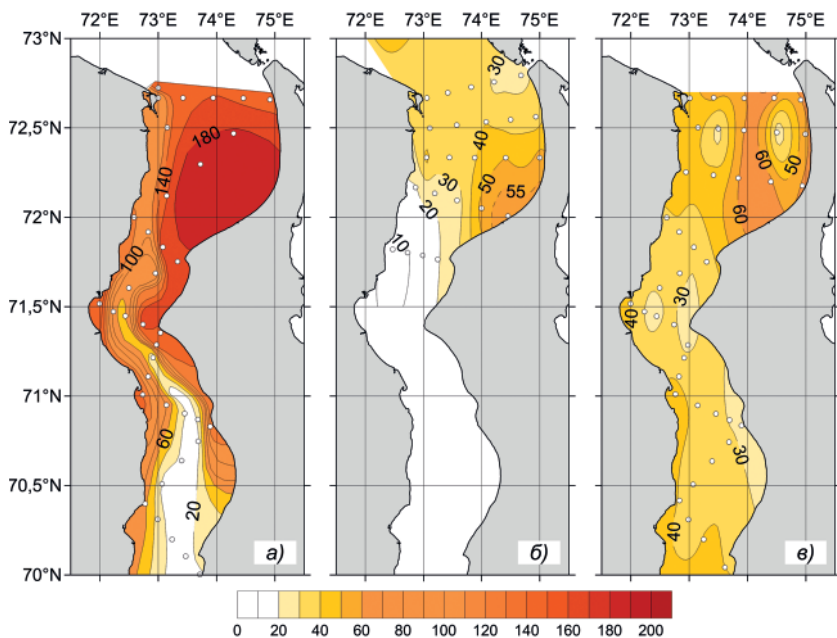


Рис. 1. Содержание кремния в поверхностном слое Обской губы, μM :
 (а) в начале (4–10.08.2010), (б) в середине (13–20.09.2014) и (в) в конце периода
 открытой воды (23.09–01.10.2010)

Можно предположить, что активный процесс регенерации минеральных форм биогенных элементов в области фронтальной зоны над обским баром активно протекает в начальном периоде открытой воды, а далее его следы прослеживаются в постепенном падении концентраций до поздней осени.

В последнее время некоторыми специалистами [7] выдвигается иная версия объяснения повышенных концентраций биогенных элементов в водах фронтальной зоны Обской губы. Утверждается, что это следствие поступления в эту часть губы зимней воды. По мнению данных авторов, зимняя вода, преодолевая сотни километров в период активного весеннего фотосинтеза, не только сохраняет максимальные зимние концентрации биогенных элементов, но даже наращивает их количество, например, по кремнию (см. выше). Иными словами, отрицанием даже мысли о трансформации вод в послезимний (вегетационный)

период, утверждается отсутствие всякой биологической жизни в водах одного из богатейших водоемов.

Тем не менее, созданная природой в южной части фронтальной зоны «фабрика биогенных элементов» играет очень важную роль в жизни Обской губы. На этапе истощения зимнего запаса биогенных элементов вследствие освоения их автотрофами в богатой жизнью пресноводной части губы, в ее области, примыкающей к фронтальной зоне, такой ситуации не возникает. Посредством приливов и нагонов сюда периодически поступают воды, обогащенные регенерированными биогенными элементами, что, в свою очередь, создает уникальные условия для первичного продуцирования в этой части губы. Этот процесс неоднократно освещался в работах ВНИРО [2, 3, 4], а в экспедиции 2014 г. нами зафиксирован и описан конкретный нагон воды, приведший к указанным последствиям [4].

В завершении периода открытой воды (перед ледоставом) на фоне уменьшения стока обских вод, язык соленых вод постепенно замешивается, а фронтальная зона начинает медленное продвижение вглубь губы. В юго-восточном углу северного расширения губы, вследствие нарастающей изоляции от речного потока, еще сохраняются несколько повышенные концентрации, прежде всего, кремния, что напоминает о ранее шедших здесь процессах (рис. 1в).

Литература

1. *Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И.* Пространственно-временная изменчивость органического вещества и скоростей его трансформации в Обской губе // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 2. С. 175–191.
2. *Артамонова К.В., Лапин С.А., Лукьянова О.Н и др.* Особенности гидрохимического режима Обской губы в период открытой воды // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 3. С. 357–366.
3. *Лапин С.А.* Гидрохимическая структура вод Обской губы и оценка ее биопродуктивности // *Вопросы промысловой океанологии*. 2011б. Вып. 8. № 1. С. 84–100.
4. *Лапин С.А., Артамонова К.В., Гангнус И.А., Кивва К.К.* Гидролого-гидрохимическая структура фронтальной зоны Обской губы в ранне-осенний период // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2015. В печати.
5. *Морозова О.А., Весман А.В., Добротина Е.Д. и др.* Особенности гидрохимической структуры вод Карского моря в летний период 2012 г. // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2013. N1 (95). С. 61–71.
6. *Пивоваров С.В.* Химическая океанография Арктических морей России. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 86 с.
7. *Стунжас П.А., Маккаевеи П.Н.* Объем вод Обской губы как фактор формирования гидрохимической неоднородности // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 5. С. 622–634.

ДИНАМИКА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО РАСПРЕСНЕННОГО СЛОЯ КАРСКОГО МОРЯ В АВГУСТЕ–СЕНТЯБРЕ 2014 ГОДА

Полухин А.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

По результатам двух экспедиций в Карское море в 2014 г. была сделана попытка проследить динамику биогенных элементов и других гидрохимических характеристик в поверхностном опреснённом слое. Это стало возможным в результате двух последовательных съёмок к западу от п-ова Ямал с временным интервалом в 1 месяц.

На рис. 1 представлена схема расположения станций в августе (черным цветом) и сентябре (красным цветом). Отдельно на карте–врезке показаны станции, данные которых использовались для исследования сезонной изменчивости гидрохимических параметров.

Наиболее характерными трассерами речных вод являются такие гидрохимические параметры, как общая щелочность и растворенный кремний. На составляющие элементы общей щелочности практически не влияют различные биохимические процессы, а растворенный кремний, который в принципе может являться лимитирующим элементом развития фитопланктона, в избытке поставляется в Карское море из Обской губы и Енисея. Анализируя распределение этих двух параметров (рис. 2), можно сделать вывод, что граница опресненного слоя в западной части моря (определяется по изолинии 1.9–2.1 мг-экв/л щелочности и 10 $\mu\text{моль/л}$ кремния) осталась в тех же координатах в течение месяца, несмотря на изменчивые метеорологические условия, наблюдаемые в период проведения экспедиций. Этот вывод подтверждает и распределение солёности на поверхности по данным STD-зондирования. Таким образом, для западной части поверхностного опресненного слоя характерна пространственная устойчивость гидрохимической структуры вод в течение месяца.

В вертикальном распределении гидрохимических параметров чётко прослеживается сезонная изменчивость. Так, pH морских вод в августе был значительно выше, чем в сентябре (рис. 3), благодаря высоким значениям растворённого кислорода (выше 100% насыщения кислородом в верхнем пяти метровом слое на всех сравниваемых станциях). В некоторых случаях, как на станции 12805–12957, в течение месяца со-

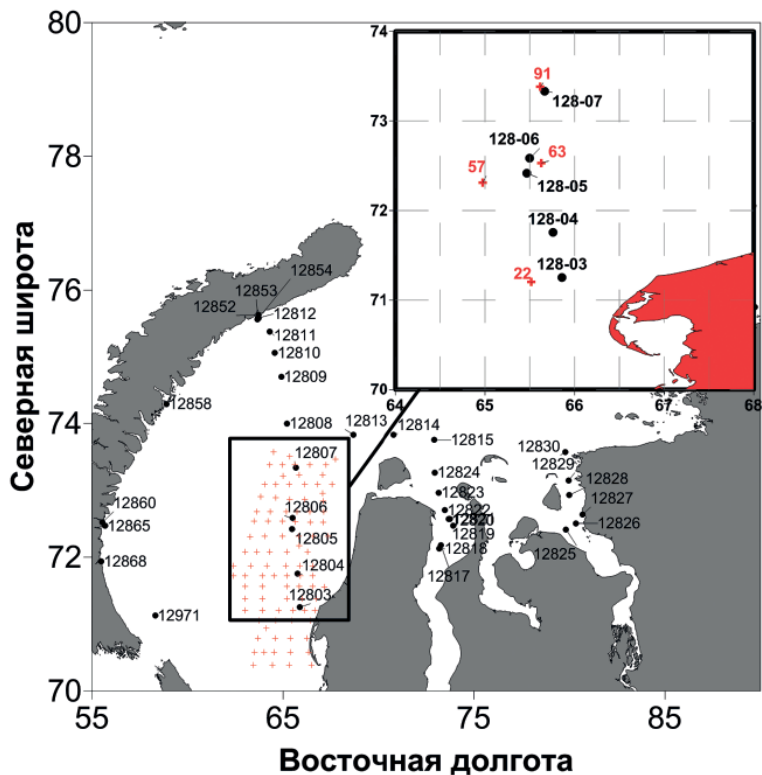


Рис. 1. *Схема станций и станции, где сравнивалась вертикальная структура вод (на карте-врезке)*

хранялась и вертикальная структура. В сентябре значение рН оказалось пониженным в связи с окончанием активного вегетационного периода фитопланктона и, соответственно, уменьшением продуцирования кислорода в результате фотосинтеза. Кроме того, кислород начал уменьшаться в сентябре в результате окисления отмершего органического вещества.

Начало процесса окисления органики отчетливо характеризует аммонийный азот, являющимся первым элементом в цепи окисления минерального азота. Поверхностный слой моря в августе обильно насыщен солями NH_4 относительно фоновых значений чисто морской воды. В двух случаях, на станциях 12803 и 12807, к сентябрю в этих районах

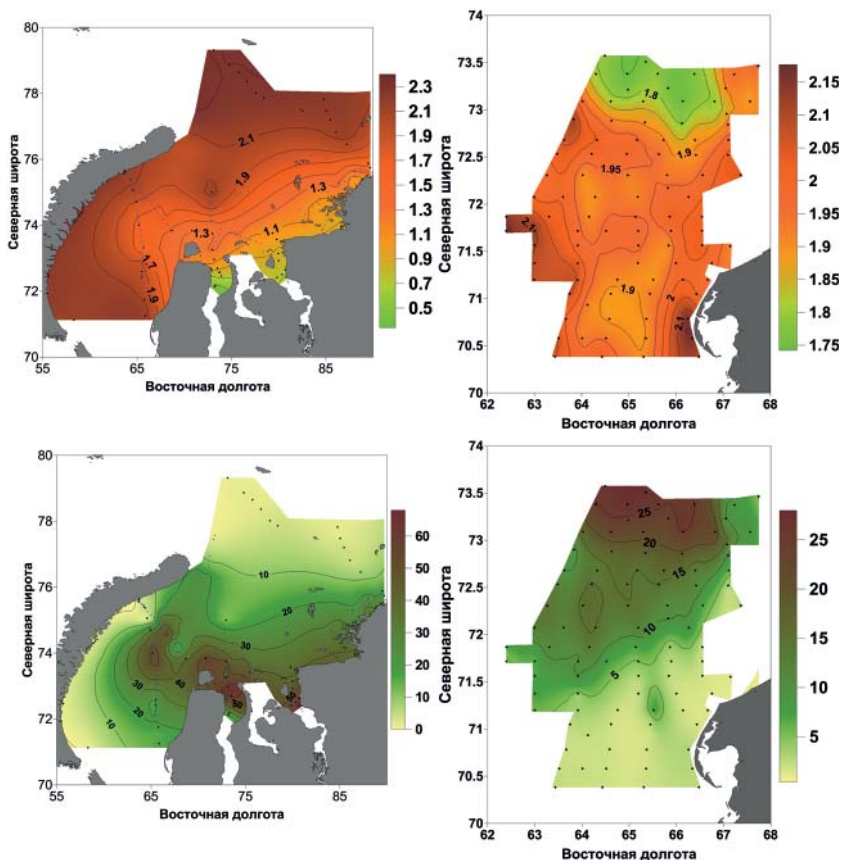


Рис. 2. Распределение общей щелочности мг-экв/л (вверху) и растворенного кремния µмоль/л (внизу) в августе (слева) и сентябре (справа)

моря цикл окисления азота завершён, его значения близки к аналитическому нулю (рис. 3). В двух других случаях, на станциях 12805 и 12806, аммонийный азот в поверхностном слое в сентябре превысил августовские концентрации, по-видимому, в связи с отмиранием фитопланктона после сезонного цветения. То есть первый пик окисления в августе связан с выносом биогенных элементов речным стоком и активизацией процессов вегетации, а сентябрьский максимум отразил процессы сезонного рециклинга (немного повышена концентрация нитратов в

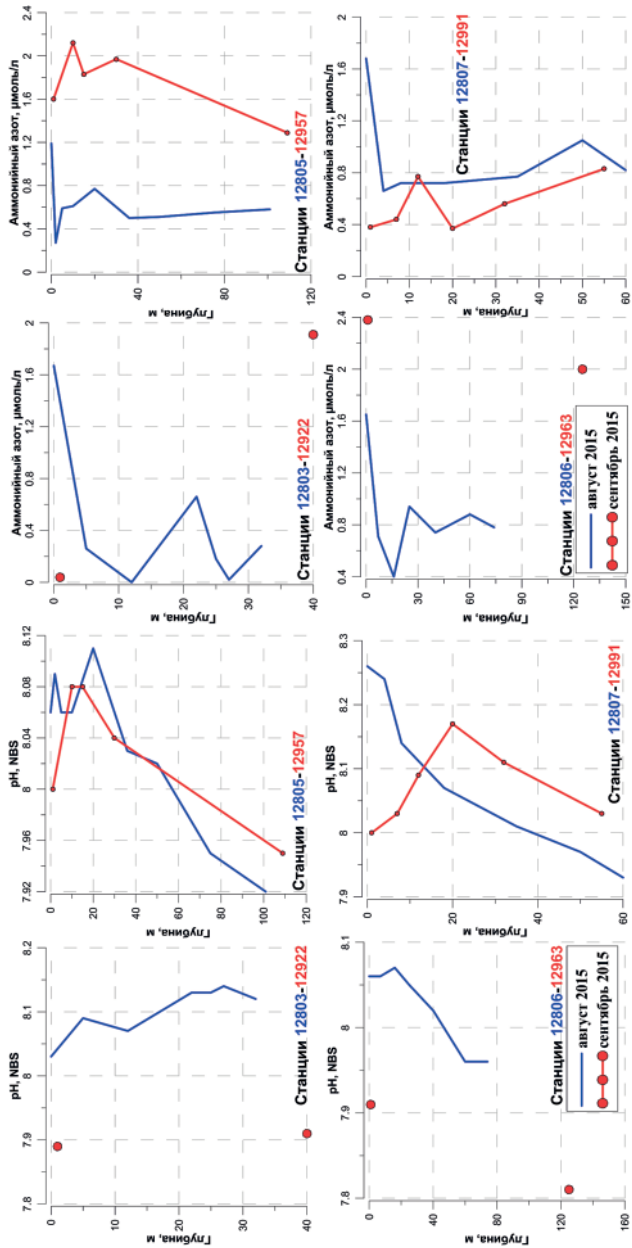


Рис. 3. Вертикальное распределение pH (слева) и аммонийного азота (справа) на близко расположенных друг к другу станциях в августе и сентябре

районе описываемых станций) биогенных элементов ввиду завершения активных биологических и биохимических процессов. В том и другом случае конечные формы окисления минерального азота были близки к аналитическому нулю по причине полного потребления их живыми организмами, что могло послужить лимитирующим фактором развития фитопланктона. Распределение кремния на некоторых станциях также характеризует сезонность в изменении концентрации гидрохимических параметров. Таким образом, в результате двух экспедиций продемонстрирована сезонная изменчивость гидрохимических характеристик в районе, подверженном мощному влиянию материкового стока.

ВРЕМЯ ОБНОВЛЕНИЯ ВОД В ОБСКОЙ ГУБЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОКА

Стунжас П.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Наличие в Обской губе штормовых изменений уровня воды (нагонов и сгонов) хорошо известно. Более того, они являются там обычным явлением, так как размеры губы (длина 800, ширина 50–80 км) и плоские берега этому способствуют [2]. Интересно, что весной (июль–август) для губы типичны южные ветры, способствующие сгону воды из губы, а осенью (сентябрь–октябрь) северные и северо-восточные ветры вызывающие местные нагоны и часто поворачивающие вспять течение в губе [1, 2]. Нас интересует нагон долговременный (порядка месяца), который и называть, наверное, следует не нагон, а долговременное затормаживание среднего течения воды в губе. Реально ли оно, и насколько может быть значительным?

Возможность ответа на такой вопрос стала возможной по результатам рейса 2010 г., охватывающего центральную и северную части губы севернее 68° с. ш. Этот совместный рейс ВНИРО и ИО РАН был хорошо организован: судно с мелкой осадкой, разрезы от берега до берега, 2 съемки почти в одних и тех же координатах. Неудивительно, что в рейсе были получены интересные и во многом уникальные результаты, отраженные в нескольких публикациях [1, 3]. Так, была найдена очень сильная пространственная и временная изменчивость концентрации биогенов, более сильная, чем было известно ранее. Она получила разные

интерпретации: сотрудники ВНИРО придерживаются классических представлений, что причина изменчивости – сильная биологическая трансформация [1]. Наш подход [3]: причина сильной изменчивости – последовательное поступление в губу сначала зимних (грунтовых) вод, а потом паводковых (талых) вод, которые обладают разными гидрохимическими свойствами и присутствуют в губе одновременно. Это возможно благодаря соотношению объема губы (430 км^3 в 1-ю съемку) и объема стока всех рек в губу (540 км^3). Такой подход очень хорошо прослеживался по результатам первой съемки: по положению в губе – грунтовые севернее, паводковые южнее, причем их продвижение на фарватере быстрее, чем у берегов; объемы вод примерно соответствуют тому, что самые северные воды поступили в губу примерно в январе–феврале; грунтовые и талые воды в губе сильно отличаются по таким параметрам как: отношение щелочности к солености, концентрация кремния, нитратов и др. параметров [3].

Однако в [3] предполагался упрощенный обмен вод в губе: сколько воды за 1.5 месяца поступило в губу столько и вытекло в море, т.е. не учитывалось воздействие ветра. Для Обской губы это не справедливо, как отмечалось выше. Учет наличия сгона во время первой съемки мог бы несколько изменить время поступления зимних вод в губу, но это ничего принципиально не меняет. Более интересным является ситуация во время 2-й съемки, когда мог наблюдаться длительный нагон вод. Его рассмотрим более подробно.

Всего за 2 съемки было сделано 114 станций, из них 42 были сделаны в тех же координатах, что позволяет провести сравнение уровня воды во время 1-й и 2-й съемок. Поперечный уклон уровня в губе гораздо больше продольного. Он был максимальным, естественно, у берегов и составлял в среднем 4 м на 10 км, так что требуемая точность измерений разницы глубин в 0.1 м требовала, чтобы разница положений станций в 1-ю и 2-ю съемки была не более 250 м. Этому условию соответствовало 40 повторных станций.

Конечно, возможны случайные погрешности разницы глубин, но они имеют статистический характер, и могут быть усреднены. Вся исследованная акватория губы была разделена на 3 части: южный (район Тазовской губы), средний – примерно от 70° до 72° с. ш., и северный, там ширина губы и обмен с морем значительно увеличиваются.

В таблицу не вошли 3 станции, где разница положения превышала 1 км, а разница глубин 3 м. Как видно из таблицы средняя разница глубин для большинства станций очень хорошо районирована. В юж-

Таблица. Осредненные результаты разницы между 2-й и 1-й съемками по 3-м исследованным районам губы

Количество станций	Средняя глубина, м	Изменение средней глубины, м
Южная часть, №№ ст. 2-13 (по 1-й съемке)		
12	11.12	+0.74±0.12
Средняя часть, №№ ст. 28-52. Русловые измерения		
14	17.30	-0.35±0.10
Средняя часть, левый берег		
4	6.35	+1.78±0,77
Средняя часть, правый берег		
1	10.7	-1.7
Северная часть, №№ ст. 53-59		
10	12.82	-0.12±0.12

Примечание: положительная разница – нагон, отрицательная – сгон.

ном районе она положительна (нагон) и составляет примерно 0.7 м. Для средней части пришлось брать отдельно береговые и русловые станции. Тогда у западного берега довольно сильный нагон (1.8 м), для русловых найден слабый сгон -0.3 м, а у восточного берега – сильный сгон (-1.7 м), правда, это всего 1 точка. Для северного района распределение изменений уровня хаотично, и средняя величина (-0.1 м) не позволяет говорить о наличии нагона или сгона. Нагон на юге косвенно подтверждается также тем, что воды рек Таз и Пур, имеющие самые низкие величины минерализации и щелочности, были зафиксированы во 2-ю съемку к югу от Тазовской губы, а в 1-ю – к северу.

Наиболее интересно общее изменение объема вод в губе между съемками. Формально изменение объема вод можно сделать только для южного района (нагон 11 км³). Подсчет общего объема нагона затруднен, так как нет данных самой южной части Обской губы, а там нагон должен был бы иметь наибольшую величину. Кроме того, надо учитывать, что без воздействия ветра во время 2-й съемки уровень воды в губе должен был понизиться, так как среднее количество вод, поступающих в губу к этому времени уменьшается в 1.5–2 раза. С учетом этого, можно полагать, что общий объем нагона мог составлять примерно 50 км³. Таким образом, скорость переноса вод в губе может сильно отличаться от скорости их поступления вод в губу.

Как мог нагон вод во 2-ю съемку повлиять на гидрохимическую ситуацию? Объем зимних вод в 1-ю съемку был 100 км³, а между съемками в губу должно было поступить 85 км³ летних вод. По простой арифметике почти все зимние воды должны были вытисниться из губы, как нами предполагалось в [3]. С учетом найденного нагона можно говорить, что значительная часть зимних вод осталась в губе, но была сильно трансформирована возбуждаемыми ветром разнонаправленными течениями. Это в значительной степени проясняет обстановку в губе во время 2-й съемки в 2010 г., но усложняет общее описание обновления вод в губе, которое очень сильно зависит от метеоусловий.

Литература

1. Артамонова К.В., Лапин С.А., Лукьянова О.Н. и др. Особенности гидрохимического режима Обской губы в период открытой воды // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 3. С. 357–366.
2. Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
3. Стунжас П.А., Маккавеев П.Н. Объем Обской губы как фактор формирования гидрохимической неоднородности // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 5. С. 622–634.

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД ОБСКОЙ ГУБЫ

Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»)

Своеобразный эстуарий р. Оби, Обская губа, воды которой на протяжении 800 км изменяются от речных до морских, имеет большое рыбохозяйственное значение. Особый интерес представляет вторичная водная масса – солоноватоводная, которая образуется при смешении поверхностной воды Карского моря с речной. Ей присуща специфическая эвригалинная фауна беспозвоночных и рыб. Ее кормовые ресурсы используются популяциями не только ценных сиговых рыб, но и сибирским осетром, корюшкой и налимом [4]. Эта водная масса чрезвычайно изменчива в пространстве и во времени не только по объему и конфигурации, но и по биогидрохимическим характеристикам [2, 3].

Нами в течение 6 лет (2006–2010 гг., 2014 г.) в разные сезоны проводился биохимический мониторинг как «речной», так и «морской» части Обской губы. Измерялись следующие показатели: концентрации растворенного и взвешенного органического углерода ($C_{\text{орг}}$), по величинам которых можно оценить запасы РОВ и ВОВ; концентрации белков и углеводов в РОВ и ВОВ; активности окислительно-восстановительных ферментов электрон-транспортной системы (ЭТС), катализирующих окисление ОВ кислородом до простых окислов, а также активности щелочных фосфатаз, катализирующих отщепление минерального фосфата от фосфорорганических соединений.

Все определения выполнялись в соответствии с руководством ВНИРО [6].

Разнообразный гидрологический режим и значительная его сезонная изменчивость способствует и значительной изменчивости биохимических показателей как в «речной», так и в «морской» части Обской губы. Помимо этого сезонная изменчивость активности разнообразных гидробионтов низших и высших трофических уровней также влияет на концентрации и активность вышеперечисленных показателей.

Максимальные концентрации растворенного $C_{\text{орг}}$ (во все сезоны более 11 мг/л) и в поверхностном, и в придонном слоях отмечались вдоль основного потока поступающей в губу обской речной воды, характеризующейся высокими концентрациями ОВ, распространяющейся в направлении с юга на северо-запад с тенденцией уменьшения концентраций в этом направлении (рис. 1). В период высокой водности этот поток практически не трансформируется и сохраняет в себе все признаки обской воды [5]. Самые высокие средние концентрации РОВ в «речной» части были характерны для мая (14 мг/л $C_{\text{орг}}$) при минимальных концентрациях ВОВ (0.24 мг/л $C_{\text{орг}}$), а самые низкие – для октября–ноября (9 мг/л $C_{\text{орг}}$) при максимальных концентрациях ВОВ (2.67 мг/л $C_{\text{орг}}$). В период интенсивного первичного продуцирования в июле–августе, по данным 4-летних наблюдений, средние концентрации растворенного $C_{\text{орг}}$ в «речной» части изменялись от 9 мг/л до 12 мг/л в зависимости от скорости продукционно-деструкционных процессов в регионе, т. к. концентрации РОВ, приносимые водами р. Оби, в это время были довольно постоянны (15–16 мг/л $C_{\text{орг}}$). Средние концентрации ВОВ в этот же период изменялись в пределах 0.81–1.83 мг/л $C_{\text{орг}}$.

В «морской» части губы средние концентрации и растворенного и взвешенного $C_{\text{орг}}$ уменьшались на 1–3 мг/л и в 2–3 раза, соответственно, в зависимости от сезона. В основном это связано с количеством посту-

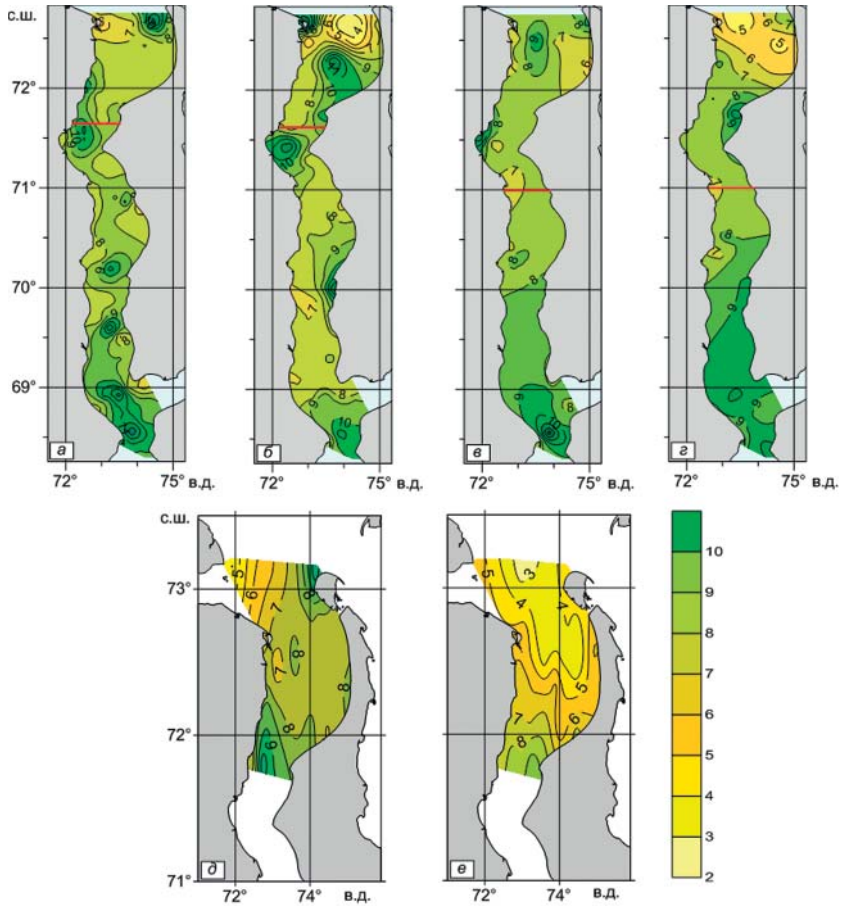


Рис. 1. Распределение растворённого $C_{орг}$ (мг/л) в водах Обской губы в июле–августе (а, б), в сентябре–октябре (в, г) 2010 г. и в сентябре 2014 г. (д, е). Поверхность – а, в, д; придонный слой – б, г, е. Красная линия – положение гидрологического фронта

пающих сюда морских вод, содержание в которых растворенного $C_{орг}$ не превышало 2.5 мг/л. Следует отметить, что доля взвешенного ОВ в общем пуле ОВ и летом, и осенью достигала своих максимальных значений в зоне смешения тазовских и обских вод и в зоне смешения обских вод и вод Карского моря (до 40%). Для этих пограничных зон ха-

рактерна наибольшая изменчивость биохимического (белки, углеводы) состава ОВ, а также скоростей его трансформации (рис. 2 и 3).

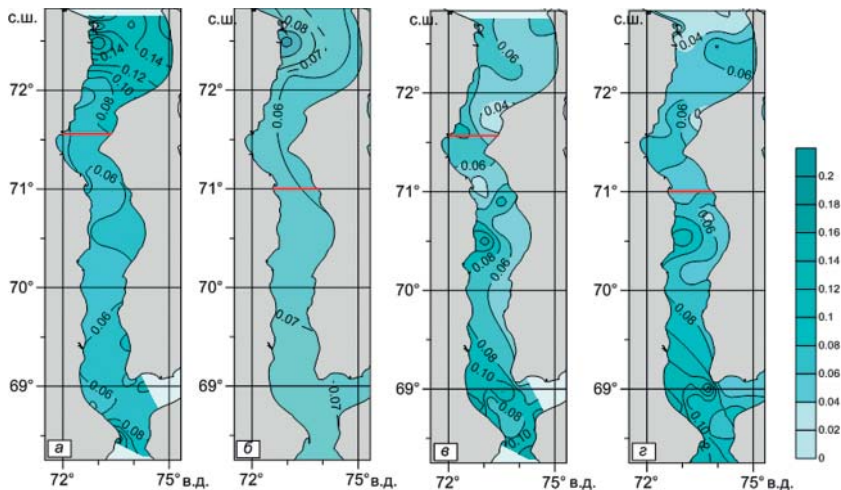


Рис. 2. Распределение растворённого белка (мг/л) в водах Обской губы в июле–августе (а, б) и в сентябре–октябре (в, з) 2010 г. Поверхность – а, в; придонный слой – б, з. Красная линия – положение гидрологического фронта

Распределения растворенных углеводов, которое дает представление об интенсивности первичного продуцирования, а также может служить показателем нефтяных углеводородов [1], во все сезоны очень неравномерно (рис. 2). Самые большие пределы изменений их концентраций характерны для «речной» части 0.32–6.9 мг/л. Максимальные значения зарегистрированы в районах экспериментальных нефтяных установок. Для «речной» части губы следует отметить большую межгодовую изменчивость этого показателя особенно летом. Так значения средних концентраций для августа 2006, 2007 и 2010 гг. изменялись в пределах 1.73–3.36 мг/л. В «морской» части пределы изменения концентраций растворенных углеводов меньше (1.23–4.05 мг/л), а взвешенных больше (0.14–4.52 мг/л) и в основном обусловлены интенсивностью продукционно-деструкционных процессов.

Концентрации растворенного и взвешенного белка, которые являются показателем биомассы гетеротрофного пико-, нано- и микропланктона, распределены очень неравномерно по всей исследованной акватории Обской губы и пределы изменений их довольно значительны (рис. 3).

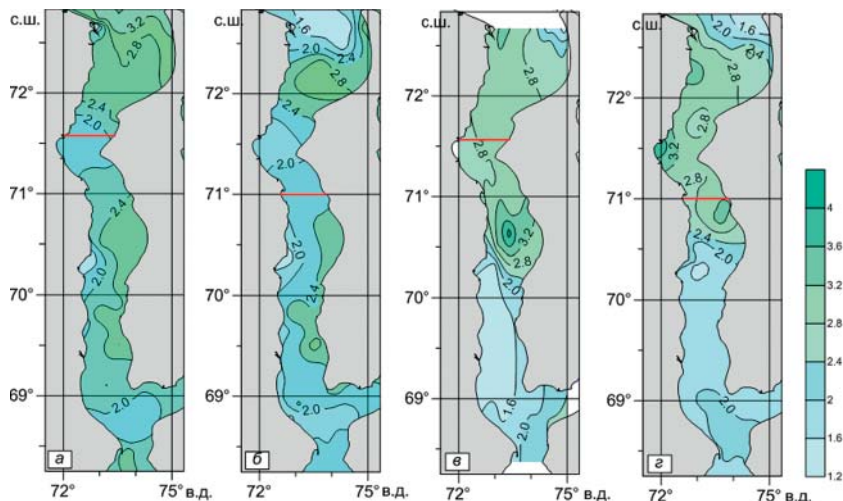


Рис. 3. Распределение растворённых углеводов (мг/л) в водах Обской губы в июле–августе (а, б) и в сентябре–октябре (в, з) 2010 г. Поверхность – а, в; придонный слой – б, з. Красная линия – положение гидрологического фронта

Обращает на себя внимание тот факт, что и летом, и осенью содержание растворенного белка намного ниже содержания взвешенного, как в «речной» (в 8–43 раза летом и в 15–60 раз осенью), так и в «морской» (в 4–35 раза летом и в 6–60 раз осенью) зонах. С одной стороны, это связано с тем, что высокомолекулярные белковые молекулы легко сорбируются из раствора на частичках взвеси, содержание которой в водах губы увеличивается к осени в 2–4 раза. С другой стороны, в эстуарной экосистеме, особенно в пресноводной ее части, биомасса микропланктона может намного превышать биомассу пикопланктона.

Микроорганизмы являются основными трансформаторами как аутохтонного, так и аллохтонного ОВ. Во все сезоны процессы окисления ОВ, катализируемые ферментами ЭТС, в 2–4 раза интенсивнее в «речной» части губы, чем в «морской». К осени интенсивность этих процессов в «речной» части увеличивается, а в «морской» падает. При увеличении деструкционных процессов, концентрации $P_{\text{мин}}$ в 2–4 раза превысили значения летних концентраций, поэтому активности фосфатазы упали в среднем в 3–5 раз.

Таким образом, сезонные изменения количества и биохимического состава ОВ Обской губы тесно связаны не только с изменением гидро-

логического режима этого водоема, но и с активностью населяющих его гидробионтов.

Литература

1. *Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И.* Органическое вещество, его элементный и биохимический состав в водах российской части Арктического бассейна в современных условиях // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 3. С.450–460.

2. *Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И.* Пространственно-временная изменчивость органического вещества и скоростей его трансформации в Обской губе // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 2. С. 175–191.

3. *Артамонова К.В., Лапин С.А., Лукьянова О.Н и др.* Особенности гидрохимического режима Обской губы в период открытой воды // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 3. С. 357–366.

4. *Кузнецов В.В.* О рыбохозяйственном мониторинге при освоении нефтегазовых ресурсов на высокоарктическом шельфе // *Мат. Международной конф. «Нефть и газ Арктического шельфа – 2006»*. Мурманск, ноябрь 2006.

5. *Лапин С.А.* Гидрологическая характеристика Обской губы в летне-осенний период // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 6. С. 984–993.

6. *Руководство по современным биохимическим методам исследования водных экосистем, перспективных для промысла и марикультуры / Под ред. Агатовой А.И. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 123 с.*

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО И ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ ЗАЛИВА БЛАГОПОЛУЧИЯ (НОВАЯ ЗЕМЛЯ)

Степанова С.В., Недоспасов А.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Залив Благополучия – фьордообразный залив Карского моря у восточного берега северного острова Новой Земли [1]. Поперечный профиль дна залива V-образный. Максимальная глубина составляет 176 м. Особый интерес к данному заливу возник в связи с его частичной изолированностью от акватории Карского моря островом Камни, расположенном на входе в залив (максимальная глубина западного пролива составляет 37 м, восточного – 52 м), а также особенностями топографии дна, в частности – наличием котловины в центральной части залива. На основании особенностей рельефа дна было сделано предположение о возможности возникновения гипоксии в заливе Благополучия в глубинных слоях (ниже 50 м). Оценка таких условий стала одной из основных

задач данной работы наряду с анализом особенностей гидрофизической и гидрохимической структуры вод залива в летне-осенний период по имеющимся данным.

Наблюдения в заливе Благополучия проводились в 2007, 2013 и 2014 годах. Ниже приведена схема расположения станций (рис. 1).

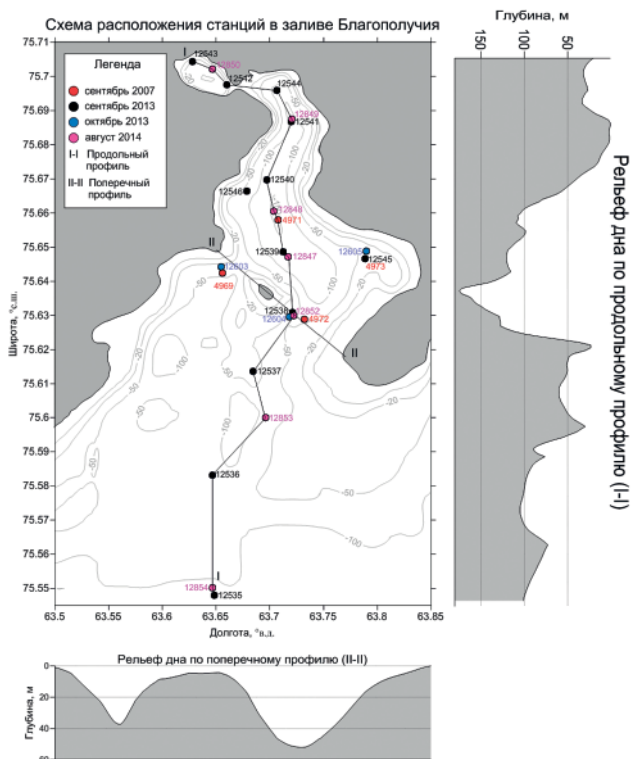


Рис. 1. Схема расположения станций в заливе Благополучия в 2007, 2013 и 2014 гг.

На гидрологическую структуру залива Благополучия оказывают влияние топография дна, особенности циркуляции и сток талых вод с Новой Земли.

Согласно современным представлениям циркуляция вод в заливе имеет циклонический характер, то есть воды поступают в залив через

восточный пролив и выходят через западный. Вертикальное распределение солености по поперечному профилю по данным за сентябрь 2007 и октябрь 2013 г. могут служить подтверждением данной гипотезы (рис. 2).

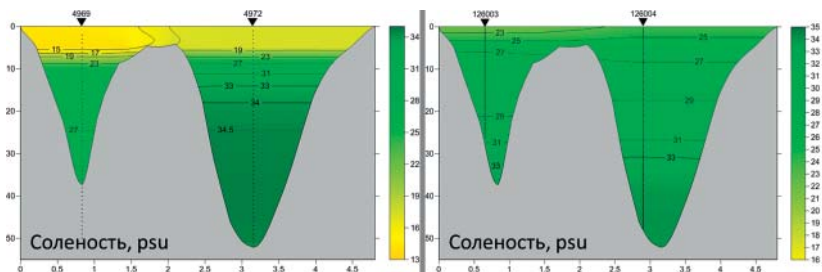


Рис. 2. Вертикальное распределение солености воды (psu) по поперечному профилю в сентябре 2007 г. (слева) и в октябре 2013 г. (справа)

Сток талых вод в залив Благополучия происходит в летний период в большинстве своем в его северной части, в том числе в бухте Укромной. Распреснение вод в заливе в разные годы проходит с разной интенсивностью.

В 2007 году поверхностный слой на всей акватории залива был сильно распреснен (рис. 2). Однако это было связано в большей степени с распространением вод Оби и Енисея, нежели с влиянием стока с Новой Земли.

Для залива скорее характерно распределение гидрологических и гидрохимических параметров, наблюдаемое нами в 2013 и в 2014 годах. Влияние материкового стока прослеживалось в поверхностном слое бухты Укромной и в северной части залива, что хорошо видно по распределению солености (рис. 3).

Вертикальное распределение температуры воды в летне-осенний период характеризуется наличием термоклина, глубина залегания которого варьируется в течение года и по данным наблюдений может достигать 40 м. В открытой части акватории моря в сентябре 2013 г. наблюдался холодный промежуточный слой с минимумом температуры -1.15°C , наличие которого может свидетельствовать о том, что зимняя конвекция не достигала глубин ниже 70 м, где наблюдалось ядро ХПС. Однако в самом заливе ни в одном из рейсов ХПС не наблюдался. Таким образом, в зимний период вертикальная конвекция в заливе Благополучия, по-видимому, достигает дна.

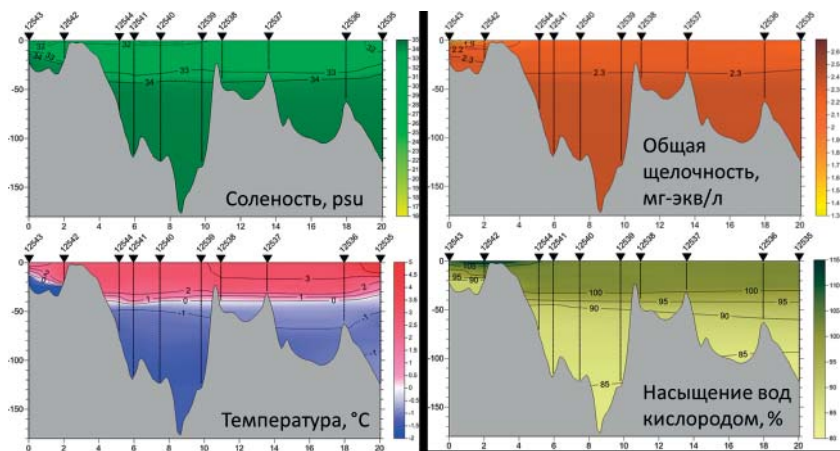


Рис. 3. Вертикальное распределение солёности воды (psu), температуры (°C), общей щёлочности (мг-экв/л) и насыщения кислородом (%) по продольному профилю в 2013 г.

По гидрохимическим параметрам, прежде всего по величине общей щёлочности, влияние стока также прослеживалось в поверхностных водах бухты Укромной и в северной части залива (рис. 3).

Распределение других биогенных элементов в заливе в целом весьма консервативно. В поверхностном слое наблюдались относительно невысокие концентрации фосфора и растворенных форм азота вплоть до «аналитического нуля» и увеличение концентраций ко дну. Концентрация кислорода убывает от значений порядка 8 мл/л на поверхности до 6.5–7 мл/л на дне, в подповерхностном слое может проявляться небольшой максимум. Распределение величины рН в целом повторяет распределение концентрации кислорода.

В летний сезон в поверхностных водах залива может наблюдаться перенасыщение кислородом. Придонные воды менее насыщены кислородом, однако, снижение степени насыщения вод оказалось не настолько существенным, как предполагалось исходя из топографических особенностей залива – минимальная зафиксированная степень насыщения кислородом составила 75 %.

Для характеристики биогенного стока с Новой Земли проводился отбор проб из водотоков, впадающих в залив Благополучия. В результате проведенных исследований, было обнаружено, что содержание в этих

водах различных форм фосфора и азота, а также кремния, в среднем выше, чем в поверхностных водах залива и на выходе из него. Высокие значения также характерны для величин рН и общей щелочности [2].

Для изучения возможности возникновения гипоксии в заливе Благополучия, был рассчитан объем всего залива, а также вод, занимающих глубины ниже 50 и 100 м (1.758, 0.564 и 0.108 км³ соответственно). Выбор таких глубин обусловлен максимальной глубиной проливов на входе в залив. Используя стехиометрическое соотношение Редфилда, для каждого рейса была рассчитана концентрация органического вещества, необходимая для возникновения гипоксии на глубинах ниже 50 и 100 м. Для расчётов была взята концентрация кислорода 2 мл/л [3]. Таким образом, для возникновения условий гипоксии, в среднем, необходимо увеличить концентрацию органического вещества на 2.15 мгС/л. При пересчете на объем для образования гипоксии в 2013 г. необходимо 1224 тС ниже 50 м и 232 тС ниже 100 м. Аналогичные расчеты по 2014 г. дали похожие результаты – 1122 и 201 тС для глубин ниже 50 и 100 м соответственно. Для оценки концентрации органического вещества, поступающего с берегов залива, были использованы данные о содержании органического фосфора в водотоках, впадающих в залив, которые были пересчитаны по стехиометрическому соотношению в концентрацию органического вещества. Средняя концентрация органики в водах, стекающих в залив, составляла 0.285 мгС/л. Таким образом, для обеспечения условий гипоксии в заливе Благополучия, годовой сток должен составлять порядка 4 км³ (ниже 50 м) и 0.75 км³ (ниже 100 м).

Для оценки годового стока в залив Благополучия была рассчитана площадь водосбора, которая составила порядка 500 км². Годовое количество осадков с учетом испарения для этого района около 200 мм. В результате годовой сток оценен в 0.1 км³, что на порядок меньше необходимого для возникновения гипоксии.

В ходе исследований основным результатом стало опровержение гипотезы о возникновении гипоксии в глубинных слоях залива Благополучия. Несмотря на наличие относительно неглубоких проливов, водообмен с открытой частью моря практически не затруднен, а вертикальная конвекция в заливе достигает дна даже в наиболее глубокой центральной его части.

Литература

1. Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия. 1969–1978.

2. Маккавеев П.Н., Полухин А.А., Хлебонашев П.В. Поверхностный сток биогенных элементов с берега залива Благополучия (архипелаг Новая Земля) // Океанология. 2013. Т. 53. № 5. С. 610–617.

3. Гулин М.Б. К изучению роли гипоксии и аноксии в жизни морских эукариот. 2012.

ХИМИЧЕСКИЙ ОБМЕН НА ГРАНИЦЕ ВОДА–ДНО В КАРСКОМ МОРЕ

Проценко Е.А.

Граница вода–дно – зона наиболее активных взаимодействий и изменений концентраций химических элементов. Масштабы химического обмена глобальны; они соизмеримы с потоками химических компонентов, вносимыми в моря и океаны реками или эндогенными источниками. [1] Несмотря на свою важность, это зона недостаточно полно изучена в силу своей труднодоступности.

За счет градиентов концентраций элементов в верхнем слое осадка возникают вертикальные потоки. В частности, вертикальные потоки биогенных элементов в верхнем слое осадка могут служить индикаторами биологической активности, изменения характеристик среды. Вертикальные потоки как дополнительный источник биогенных элементов из осадка (чаще всего они направлены именно из осадка в водную толщу) – важный элемент круговорота веществ и важный компонент экосистемного моделирования.

Один из способов определения величин потоков – косвенный, по градиентам концентраций в поровой воде, он использовался в данной работе.

Методы и данные. По результатам 59 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (18–27 сентября 2011 г.) в акватории Карского моря отрядом геохимии и микробиологии были получены данные о концентрациях биогенных элементов в верхних 30 см осадка и 20 см наддонной воды, схема расположения станций, на которых производился отбор, представлена на рис. 1.

Для отбора проб использовались мультикорер («КИМ» Германия) и трубка Неймисте, полученные поровые воды были проанализированы стандартными гидрохимическими методами, адаптированными к малым объемам. По этим данным, с помощью закона Фика, были рассчитаны вертикальные потоки PO_4 , Si и N_{tot} .

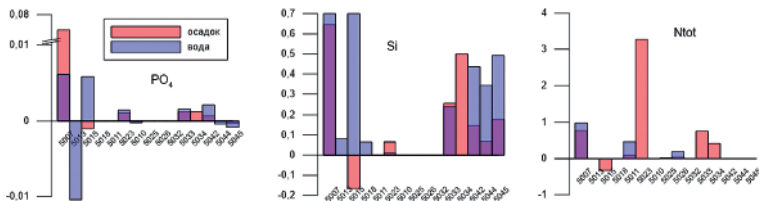


Рис. 1. Распределение величин потоков через границу вода–дно по станциям в $\text{мг}/\text{м}^2\cdot\text{сутки}$, розовый – в слое под границей вода–дно, голубой – над, фиолетовый – их пересечения

$$J = -D_{sed} \cdot \varphi \cdot (dc) / dx, \quad (1)$$

где D_{sed} – коэффициент диффузии в поровом объеме осадка.

D_{sed} может быть рассчитан на основе безразмерных извилистости Θ и коэффициента диффузии в морских растворах.

$$D_{sed} = D^{sw} / \Theta^2. \quad (2)$$

Коэффициенты диффузии в растворах для разных химических компонентов и извилистость как зависимость от пористости, были взяты из [2].

Результаты. Во всех колонках задокументирован наилкок, с высокими положительными значениями Eh, рассчитанные величины потоков согласуются с наличием такого слоя, отвечая наибольшими величинами на придонном водном горизонте.

По результатам расчетов (рис. 1) наибольшие величины потоков PO_4 располагаются на станции 5007 в Западной части моря, 5015 и 5013 в устье Енисея (направлены в осадок). Нетипичный, направленный в осадок поток на станции 5013, скорее всего, обусловлен полностью перемешанными пресными водами, низкими показателями мутности и песчаным составом осадка.

Потоки в глубоководной части на порядок ниже, за исключением станции 5007.

Выявляется общий тренд довольно больших величин потоков кремния на континентальном склоне на ст. 5007, 5032-5045, в Енисейском разрезе потоки значительно меньше, за исключением станции 5015, находящейся в зоне лавинной седиментации.

Потоки общего азота не носят ярко выраженной тенденции распределения, выделяется максимум на 5023 станции, в которой был зафиксирован сероводородный запах.

Для более детального изучения происходящих в осадке процессов, были рассмотрены вертикальные потоки фосфатов (как наиболее лабильных элементов) до глубины 10–20 см (рис. 2). Наиболее интересны результаты также по станции 5015. Здесь, как уже было отмечено, непосредственно над осадком зафиксирован окисленный слой наилка с наибольшим по профилю потоком фосфатов ($0,006 \text{ мкМ/м}^2 \cdot \text{сутки}$), одновременно с этим, с границы вода–дно отмечается поток вглубь осадка, до 2,5 см. Подобный слой повышенных концентраций, с расходящимися от него вверх и вниз потоками находится на глубине 10 см.

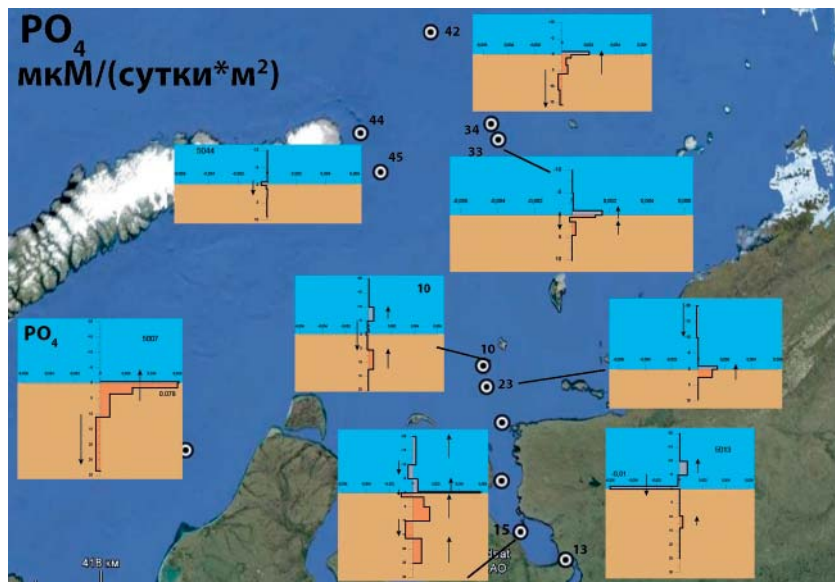


Рис. 2. Величины потоков фосфатов

Таким образом, в верхнем слое осадка находятся горизонты с повышенными концентрациями биогенных элементов, провоцирующие возникновение их разнонаправленных вертикальных потоков. Наиболее ярко такая структура наблюдается в зонах с активным осадконакоплением.

Потоки кремния преобладают в зоне осаждения тонкой взвеси.

Литература

1. *Vershinin A.V., Rozanov A.G.*: Chemical Exchange across the Sediment-Water Interface in Oceans and Seas. Moscow, 2002.
2. *Schulz D.H., Zabel M.*: Marine Geochemistry. 2nd edition. Springer Berlin Heidelberg; 2005.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С НОВОЙ ЗЕМЛИ

Хлебонашев П.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова

Впервые с явлением повышенного фона биогенных элементов во временных водотоках Новой Земли мы столкнулись в 2007 г. Анализ проб воды из ручья, впадающего в залив Благополучия, показал высокое содержание минеральных форм азота и фосфора и незначительное (для вод суши) содержание растворенного кремния. Такой результат стал полной неожиданностью, и мы начали подозревать, что это влияние локального загрязнения органическим веществом данного ручья. Однако дальнейшие исследования показали, что повышенная концентрация азота и фосфора характерна для почти всех водотоков Новой Земли. Средние значения для исследованных в 2007 г. водотоков составили: нитратного азота – 5,42 мкг-ат/л, нитритного азота – 0,13 мкг-ат/л, растворенного неорганического кремния – 32,94 мкг-ат/л, фосфатов – 0,32 мкг-ат/л. Низкая биологическая активность и незначительное количество органического вещества, на поверхности островов позволили высказать предположение, что источником биогенных элементов могут служить горные породы, слагающие Новую Землю.

Пресная вода, насыщенная биогенами, поступает в море благодаря временным водотокам Новой Земли, которые обычно берут начало в зоне питания ледников. Реки в большинстве своём короткие (наибольшая река не превышает 130 км в длину) горного типа с малыми глубинами и каменистым дном, как правило, образуют глубокие каньоны (20–30 м). Зимой промерзают до дна. В нижнем течении, часто уклон небольшой, образуются широкие дельты с большим количеством проток (рис. 1).

Для того, что бы показать практическую возможность поступления в речную воду соединений азота и фосфора из алевролитовых сланцев преобладающих на поверхности Новой Земли, был проведен ряд лабораторных экспериментов.

Для экспериментов были отобраны на побережье Новой Земли образцы алевролитовых сланцев черного и бурого цвета, представляющих собой плитки толщиной от 0.7 до 0.9 см, весом от 111.6 до 393.9 гр. Состав образцов значительно отличался. Образцы бурого цвета содер-

жали более 26% CaCO_3 и около 0.5% органического углерода, в черных образцах содержание CaCO_3 было всего 0.4%, а органического углерода более 1% (данные предоставлены Н.П. Толмачевой).



Рис. 1. Река, впадающая в залив Благополучия

В 2007 и 2011 г. эксперименты по выщелачиванию азота и фосфора из пород были проведены в лабораторных условиях в Москве при комнатной температуре. В 2014 г. эксперименты были поставлены во время экспедиции. Для предотвращения микробиологической деятельности образцы были обработаны раствором сулемы (0.3 г на литр) и стерилизованы ультрафиолетовым облучением. Пробы экспонировались в закрытых емкостях с добавкой сулемы (две величины ПДК) на палубе при температуре близкой к температуре окружающей среды.

В ходе экспериментов было подтверждено, что после экспозиции алевролитовых сланцев в воде, в ней увеличивалось содержание азота в общей и неорганической формах, а также фосфора и кремния. Наблюдался рост и величин рН и общей щелочности. Интенсивность обмена (выделения вещества из пород) зависит от площади контакта. Результаты эксперимента подтверждают предположение о том, что источником азота и фосфора могут быть породы, слагающие берега данных заливов. Видно, что интенсивность выделения фосфора, азота, кремния и углерода, полученная в результате лабораторных экспериментов 2007 г. выше, чем в 2014 г. (табл. 1). Связано это в первую очередь с тем, что, как говорилось выше, в 2007 г. экспозиция велась при

Таблица 1. Выделение фосфора, азота, кремния и углерода из образцов в воду (результаты лабораторных экспериментов)

Параметр	Выделение в воду (мг/м ² в сутки)			
	«черный» образец		«бурый» образец	
Год	2007 г.	2014 г.	2007 г.	2014 г.
Кремний	0.72	0.26	1.14	0.24
Фосфор общий	0.40		0.14	
Фосфор минеральный	0.015	0.005	0.018	0.002
Азот общий	1.41		1.04	
Сумма нитратного и нитритного азота	0.14	0,10	0.35	0.06
Неорганический углерод	2.71	1.78	3.77	0.64

температуре близкой к 20°C, а в 2014 г. при температуре 2–4°C, что более соответствует естественным условиям.

Чтобы оценить степень влияния поверхностного стока с Новой Земли в 54-м, 59-м рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» (сентябрь 2007 г., сентябрь–октябрь 2011 г. соответственно) и 125, 128 рейсах НИС «Профессор Штокман» (август–сентябрь 2013 и 2014 г.) проводились работы на разрезах через Новоземельский желоб и в заливах арх. Новая Земля (рис. 2).

В результате работ в заливах Благополучия и Течений (54-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш», сентябрь 2007 г.) впервые показано, что в водах, поступающих с берегов архипелага, содержится значительное количество растворенного азота и фосфора, значительно повышены и величины pH и общей щелочности.

Наиболее подробные гидрохимические исследования в 4-х заливах арх. Новая Земля Благополучия, Цивольке, Степанкова и Абросимова были проведены в 2014 г. Кроме работ на разрезах в каждом заливе проводился отбор воды из различных типов водотоков и водоемов по берегам каждого залива. Всего проведен отбор в 42 точках, включая водотоки (ручьи и реки), пресные и солоноватые озера, прибрежные воды в местах впадения водотоков.

Анализируя данные разных лет, мы пришли к выводу, что наибольшее влияние поверхностный сток с берегов Новой Земли оказывает

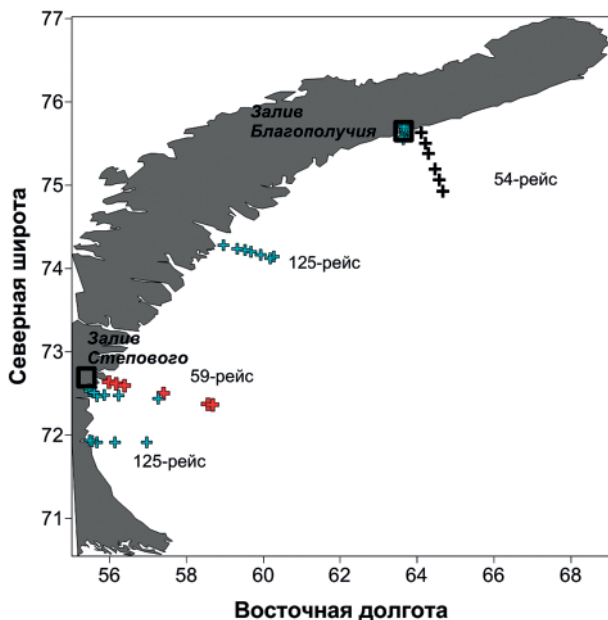


Рис. 2. Схема станций и отборов проб в прибрежных водах архипелага Новая Земля, 2007–2014 гг.

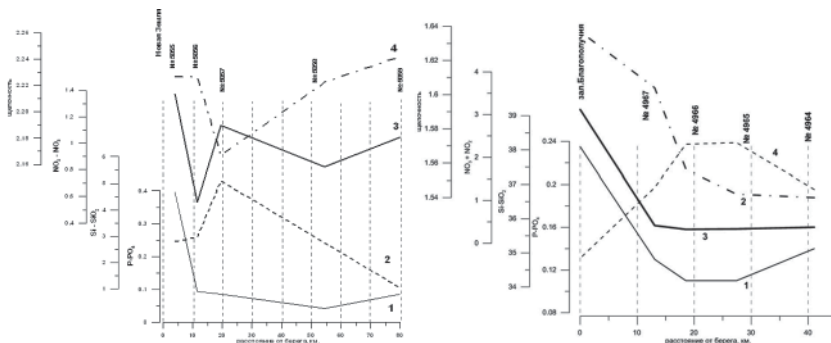


Рис. 3. Изменение в верхнем 10-метровом слое воды содержания: 1 – растворенного неорганического фосфора (мкг-ат/л); 2 – растворенного неорганического кремния (мкг-ат/л); 3 – суммы нитратного и нитритного азота (мкг-ат/л); 4 – величины общей щелочности (мг-экв/л)

на экосистемы заливов архипелага. Однако, в целом, влияние стока на гидрохимическую структуру верхнего 10-метрового слоя морских вод

прослеживалось (в период работ) на 16–20 км от берега [1]. В прибрежной зоне отмечается повышение содержания всех основных биогенных элементов (рис. 3), но особо нужно отметить поступление минерального азота в нитратной форме, поскольку в высокоширотных морях недостаток содержания азота может сдерживать развитие фитопланктона. Не смотря на небольшой объем поверхностного стока, получение дополнительного количества биогенных элементов может оказывать локальное воздействие на прибрежные экосистемы (рис. 3).

Литература

1. Маккавеев П.Н., Мельникова З.Г., Полухин А.А. и др. Гидрохимическая характеристика вод западной части Карского моря // *Океанология*. 2013.

ИЗОТОПНЫЕ (δD , $\delta^{18}O$) ПАРАМЕТРЫ ВОД КАРСКОГО МОРЯ

Дубинина Е.О., Коссова С.А., Файзуллина Р.В., Мирошников А.Ю.

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии РАН*

Изотопный состав кислорода и водорода является уникальной природной меткой молекулы воды. Данные о вариациях δD и $\delta^{18}O$ в природных водах используются для установления их генезиса, наличия в истории водных масс фазовых переходов и процессов смешения. Изотопный состав вод Карского моря был изучен в 192 образцах, отобранных в ходе 128 рейса НИС «Профессор Штокман» вдоль профиля от п-ова Ямал до залива Благополучия (ст. 4–7 и 9–12); в заливах южного побережья Новой Земли (Благополучия, ст. 52–54, Цивольки, ст. 55–59, Сепового, ст. 60–62, 65 и Абросимова ст. 66–69); ледниках Розе и Цивольки и реках Обь (ст. 18) и Енисей (ст. 25–28).

Изотопный анализ кислорода проведен методом изотопного уравновешивания с использованием приборного комплекса GasBenchII + автосамплер PAL. Размер образца составлял 0.5 см³. Измерения изотопных отношений проведены на масс-спектрометре DELTAV+, работающем в режиме постоянного потока гелия. Изотопный анализ водорода проведен методом разложения микро-образцов (0.001 см³) воды на горячем (800 °C) хrome с использованием приборного комплекса H/Device + масс-спектрометр DELTAplus, работающем в режиме двойного напуска. Величины δD и $\delta^{18}O$ калиброваны в шкале SMOW-SLAP с использова-

нием референтных образцов МАГАТЭ. Точность определения величин $\delta^{18}\text{O}$ и δD составила ± 0.2 и ± 0.3 ‰ соответственно.

Ледники и реки. Изотопный состав воды ледников Розе и Цивольки ($\delta\text{D} = (94.1) - (122.8)$ и $\delta^{18}\text{O} = (13.4) - (17.0)$ ‰) является в целом более «тяжелым», чем состав вод основного речного стока – рек Обь и Енисей. Фигуративные точки ледников на изотопной $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ диаграмме располагаются вдоль линии Крейга ($\delta\text{D} = 8.06 \cdot \delta^{18}\text{O} + 14.17$ ($R^2=0.997$)), что указывает на их атмосферный генезис с характерным для осадков данного района высоким избытком дейтерия. Вода реки Обь характеризуется более «легким» изотопным составом – величины δD и $\delta^{18}\text{O}$ составили 131.4 ± 0.2 и 17.6 ± 0.03 ‰ соответственно. Вода реки Енисей показала бимодальное поведение изотопных параметров. На ст. 25 и 26 величины δD и $\delta^{18}\text{O}$ близки к установленным в реке Обь (134.4 и 17.7 ‰), а на ст. 27 и 28 эти величины существенно более высокие (120.7 и 15.8 ‰). Весьма вероятно, что в районе станций 25 и 26 может присутствовать вода, поступающая из реки Обь, а пробы станций 27 и 28 характеризуют, собственно, воду реки Енисей.

Воды заливов южного побережья Новой Земли имеют характерное изотопное облегчение, связанное с разбавлением пресным компонентом. На диаграмме $S-\delta\text{D}$ (рис. 1) хорошо видно, что для всех четырех изученных заливов наблюдается разбавление единого изотопно-«тяжелого» соленого компонента изотопно-«легкими» пресными водами с разным

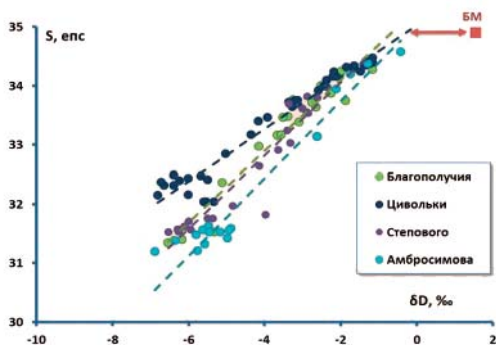


Рис. 1. Диаграмма « δD – соленость» для вод заливов южного побережья Новой Земли. Статистические тренды (пунктир) сходятся в области максимальной солености при едином изотопном составе водорода, характеризующая единый источник соленых вод, разбавляемых пресным компонентом, различающимся по величине δD

изотопным составом. Характеристики соленого компонента не вполне соответствуют имеющимся данным о составе вод Баренцева моря, что, по-видимому, требует дальнейших исследований. Наиболее «легкий» состав пресноводного стока наблюдается в самом северном заливе – Цивольки, наиболее «тяжелый» – в самом южном заливе – Абросимова, что, возможно, связано с локальной неоднородностью пресноводного стока в масштабах архипелага. Тем не менее, поверхностные воды (0–10 м) всех изученных заливов почти не различаются по изотопному со-

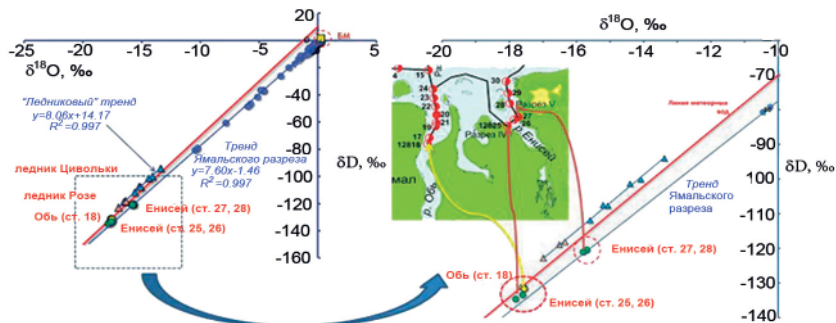


Рис. 2. Изотопная $\delta D - \delta^{18}O$ диаграмма с нанесенными составами вод Ямальского разреза, ледников Новой Земли и рек Обь и Енисей

ставу в пределах погрешности анализа: для 30 образцов величины δD и $\delta^{18}O$ составляют 6.2 ± 0.6 и 0.6 ± 0.2 ‰ соответственно. Этот факт может указывать на гомогенизацию верхнего слоя вод вдоль южного берега Новой Земли, например, за счет поверхностного течения.

Воды станций 4–7 и 9–12, расположенных вдоль профиля от п-ова Ямал до залива Благополучия (Ямальского разреза, ЯР) также показывают разбавление пресным компонентом, которое неоднородно проявлено в пространстве. На изотопной $\delta D - \delta^{18}O$ диаграмме (рис. 2) хорошо проявлен линейный тренд, сформированный точками проб ЯР ($y = 7.60x - 1.46$, $R^2 = 0.997$). В области максимальных значений этот тренд попадает в интервал, характерный для вод Баренцева моря, имеющих максимальную соленость ($n = 44$, $S = 34.90 \pm 0.05$, $\delta D = +1.56 \pm 0.4$, $\delta^{18}O = +0.25 \pm 0.1$ ‰). Разбавление пресными водами имеет резкий градиент по глубине, в результате чего в поверхностной зоне в центре моря формируется «линза» сильно распресненных вод с изотопными параметрами, близкими к составу атмосферных вод (величина δD , например, достигает 80 ‰). Параметры тренда на диаграмме рис. 2 позволяют устано-

вить наиболее вероятный источник опресняющих вод. Наши данные показывают, что наиболее вероятным кандидатом на эту роль являются воды реки Енисей, характеризующиеся станциями 27 и 28. Как следует из диаграммы, воды ледников Новой Земли не имеют отношения к процессу опреснения вод Карского моря. Важно, что на всех станциях ЯР изотопные параметры глубинных вод не достигают значений, характерных для вод Баренцева моря. Это является прямым указанием на то, что даже глубинные и наиболее соленые воды Карского моря являются опресненными.

Нами проведена оценка содержания пресных вод для проб станций ЯР, основанная на модели двухкомпонентного смешения вод Баренцева моря и пресных вод реки Енисей (ст. 27 и 28). Результаты расчета приведены на рис. 3. На всем изученном разрезе не установлены воды, в ко-

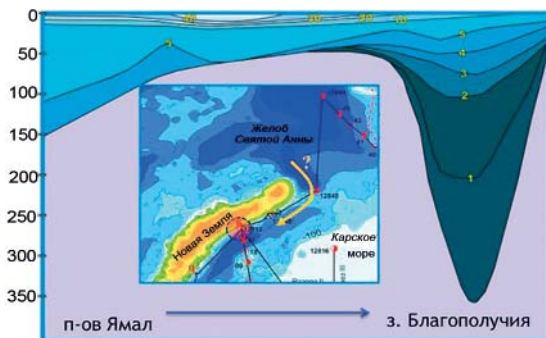


Рис. 3. *Распределение доли пресных вод (мас. %) в водах Карского моря вдоль Ямальского разреза. Цифры по оси Y – глубина в метрах*

торых нет примеси пресноводного компонента. На глубинах более 100 м пресноводный компонент составляет 1–5 %, в основной части водной массы содержание пресных вод составляет 5–10 %, в области «линзы» доля пресноводного компонента достигает 40 % и выше.

Полученные данные позволяют заключить, что воды Карского моря являются продуктом двухкомпонентного смешения вод Баренцева моря и воды реки Енисей. У побережья Новой Земли в поверхностном слое присутствуют воды, частично сформированные за счет пресноводного стока, однако их роль является резко подчиненной.

Исследования выполнены при поддержке гранта РНФ № 14-17-00764.

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ТИПОВ ВОД КАРСКОГО МОРЯ

Степанова С.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Классический метод выделения водных масс связан с использованием T,S-диаграмм. Однако, говоря о поверхностном слое, особенно в высоких широтах, использование данного метода может не всегда давать корректные результаты. Поэтому представляется целесообразным применение кластерного анализа, явным преимуществом которого является возможность использования широкого набора параметров. В данной работе к температуре и солёности из гидрохимических параметров был добавлен pH, так как по нему обычно имеется больше данных. Основная цель работы – выделение типов вод, наблюдавшихся в поверхностном слое в летне-осенний период в Карском море в ходе экспедиций 2007, 2011, 2013 и 2014 гг. (рис. 1).

Данные были нормированы, расчеты производились в программе Primer 6.0. Результаты кластерного анализа были наложены на распре-

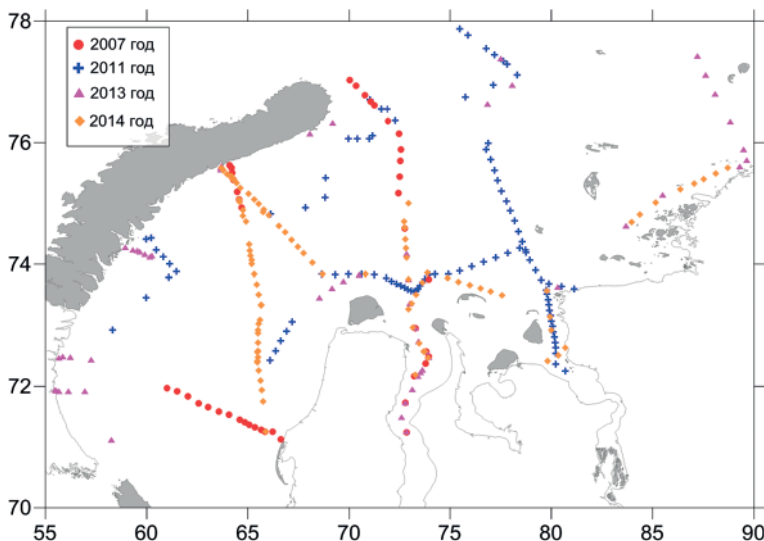


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб в 2007, 2011, 2013 и 2014 годах

деление кремния, который использовался как дополнительный параметр для интерпретации данных (рис. 2).

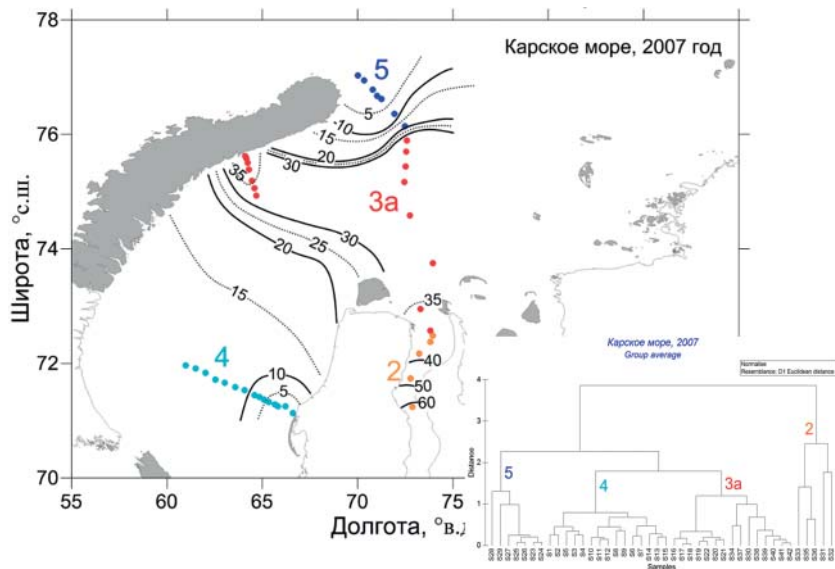


Рис. 2. Типы вод по результатам кластерного анализа за 2007 г. Изолиниями показано распределение кремния, мкг-ат/л

Согласно существующей классификации в Карском море можно выделить 6 водных масс: речные воды, поверхностные арктические воды Карского моря, Баренцевоморские воды, зимние поверхностные воды, глубинные атлантические, придонные воды [1, 2]. В работе 2003 г. [3] на основании анализа большого количества данных был сделан вывод о необходимости увеличить их количество. Например, было предложено разделить речные воды на летние и зимние, выделить эстуарные водные массы, летние и зимние воды речного плюма и т. д. Хотя окончательной классификации в работе не приводится, при анализе типов вод за основу были взяты представления, изложенные в данной работе, так она основана на более новых данных.

В результате исследований было выделено 8 типов вод, отличающихся по происхождению и степени влияния речного стока (табл. 1). Основным критерий выделения речных вод – соленость менее 1‰. Эстуарные воды были обнаружены нами во все года в северной части заливов Оби и Енисея, они характеризуются значениями солености до 10‰ и высо-

Таблица 1. Типы вод в Карском море в 2007, 2011, 2013 и 2014 гг.

Тип вод	2007	2011	2013	2014
Речные			+	
Эстуарные	+	+	+	+
Воды речного плюма	+	+	+	+
«Линза» речных вод				+
Прочие трансформированные воды		+		+
Воды юго-западной части Карского моря	+	+	+	
Тёплые летние поверхностные воды Баренцева моря	+			+
Воды центрального Арктического бассейна		+	+	

кой концентрацией кремния. Значительные площади в поверхностном слое Карского моря в летне-осенний период занимают трансформированные речным стоком воды, область их распространения называют поверхностным опресненным слоем (ПОС). Эти воды отличаются значительным разбросом солености в диапазоне 9–25 ‰, им соответствует зона с повышенным содержанием кремния. Область распространения ПОС часто ограничена гидрологическими фронтами. В работе [3] воды, трансформированные речным стоком, называются водами речного плюма (ВРП), граница проводится по концентрации кремния 10 мкг-ат/л. Однако, видится целесообразным использовать для их определения более нейтральный термин, и если и пытаться выделить ВРП как область наибольшего влияния речного стока, то по нашим данным она скорее соответствует концентрациям кремния порядка 25 мкг-ат/л. При анализе данных отдельных рейсов также выделяются иные типы трансформированных вод, занимающие небольшие площади и приуроченные, по-видимому, к зонам контакта различных водных масс. Отдельно можно выделить «линзу» речных вод, наблюдаемую нами в 2014 г., так как ее свойства могут сильно отличаться от вод речного плюма. Выделенные морские воды характеризуются соленостью более 25‰, для них характерно низкое содержание кремния (обычно менее 10 мкг-ат/л), между собой они отличаются по соотношению температуры, солености и величины рН.

Таким образом, распространение и параметры типов вод соответствуют имеющимся представлениям. Однако результаты кластерного анализа необходимо корректировать по дополнительным параметрам.

Решающее влияние на распространение типов вод в поверхностном слое Карского моря, помимо величины речного стока, оказывает ветровое воздействие.

Литература

1. *Русанов В.П., Яковлев Н.И., Буйневич А.Г.* Гидрохимический режим Северного Ледовитого океана // Тр. ААНИИ. 1979. Т. 365. 144 с.

2. *Никаноров Е.Г., Шнайхер А.О.* Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 270 с.

3. *Pivovarov S., Schlitzer R., Novikhin A.* River run-off influence on the water mass formation in the Kara Sea // Proceedings in marine science: Siberian river run-off in the Kara Sea: characterization, quantification, variability and environmental significance. Elsevier Science B.V., Amsterdam, 2003. PP. 9–26.

II. ФИТОПЛАНКТОННЫЕ И ЗООПЛАНКТОННЫЕ СООБЩЕСТВА, ИХТИОЦЕНОЗЫ КАРСКОГО МОРЯ

ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ КАРСКОГО МОРЯ: ИЗМЕНЧИВОСТЬ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Демидов А.Б.¹, Мошаров С.А.^{1,2}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

*²Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана*

Среди всех морей Арктического бассейна Карское море занимает уникальное место в силу специфики протекающих в нем процессов новообразования органического вещества. Речной сток Оби и Енисея и мелководный характер водоема определяют специфику снабжения эвфотического слоя основными биогенными элементами и оптические свойства верхнего слоя. Задача оценки годовых величин интегральной первичной продукции (ИПП) подразумевает работу по созданию базы данных по продукционным показателям фитопланктона, исследование пространственной изменчивости ИПП, выявление абиотических и биотических факторов ее определяющих, исследование вертикальной изменчивости первичной продукции (ПП) и хлорофилла «а» (Хл), разработку моделей и их верификацию. Поставленная задача представляется актуальной в свете климатических изменений в Арктическом бассейне, происходящих в последние десятилетия, влияющих как на условия новообразования органического вещества, так и на уровень продуктивности морей этого региона.

Пространственная изменчивость ИПП Карского моря и условия ее формирования. База данных, анализируемая в работе, была создана по материалам 3-х комплексных экосистемных экспедиций в Карское море: 49-й рейс НИС «Дмитрий Менделеев» (август–сентябрь 1993 г.), 54-й и 59-й рейсы НИС «Академик Мстислав Келдыш» (сентябрь 2007 и сентябрь–октябрь 2011 гг., соответственно). Опираясь на разработанную ранее классификацию водных масс ВМ [4], на исследованной акватории мы выделили Юго-западный бессточный район (I), эстуарии Оби (II) и Енисея (III), Обь-Енисейский район речного выноса (IV) и районы

восточного и западного отрогов желоба Св. Анны (V) (рис. 1). Граница районов I, IV и V была проведена по среднемноголетнему положению изогалины 25 psu на поверхности.

Средние величины ПП и Хл, рассчитанные для разных районов Карского моря (рис. 1) позволяют определить их трофический статус. По содержанию Хл на поверхности ($X_{л_0}$) [3] эстуарии Оби и Енисея и район речного выноса в осенний период относятся к эвтрофным акваториям ($X_{л_0} > 1 \text{ мг/м}^3$), а юго-западный район и воды желоба Св. Анны (северная ВМ) классифицируются как типично мезотрофные ($0.1\text{--}1 \text{ мг/м}^3$). Опираясь на величины первичной продукции на поверхности (ПП₀) [1], эстуарии Оби и Енисея и район речного выноса можно отнести к переходным между мезотрофными и эвтрофными ($10\text{--}100 \text{ мгС/м}^3$ в день), юго-западная ВМ характеризуется как мезотрофная ($5\text{--}10 \text{ мгС/м}^3$ в день), а северная ВМ – переходная между олиготрофными и мезотрофными водами ($2\text{--}5 \text{ мгС/м}^3$ в день). По значениям ИПП [2] только эстуарий

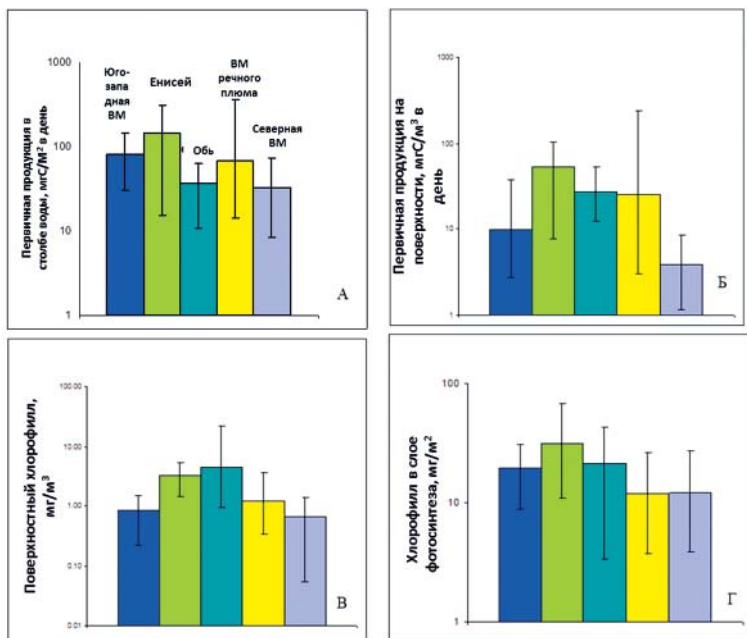


Рис. 1. Средние величины продукционных характеристик фитопланктона в разных районах Карского моря. Вертикальные отрезки – пределы вариальности показателя

Енисей можно отнести к мезотрофным водам (100–500 мгС/м² в день), а остальные районы акватории Карского моря являются типично олиготрофными с величинами первичной продукции в столбе воды ниже 100 мгС/м² в день.

Исследование зависимости ИПП от содержания Хл₀ и ассимиляционной активности (АЧ_м) показало, что только 12% изменчивости интегральной ПП определялось вариабельностью величин Хл₀, в то время как между ИПП и АЧ_м была отмечена тесная связь ($R^2 = 0.64$) (рис. 2). Таким образом, в осенний период величины ИПП Карского моря определялись главным образом уровнем ассимиляционной активности фитопланктона. В конце вегетационного сезона высокие (близкие к 1 мг/м³ и более) величины Хл₀ не являлись показателем уровня функционирования фитопланктонного сообщества всего фотосинтетического слоя, в котором процесс образования органического вещества протекал с невысокими скоростями. В свою очередь уровень ИПП и АЧ_м зависел главным образом от интенсивности инсоляции и был слабо связан с содержанием растворенных форм азота и фосфора (рис. 2). В осенний период, в конце вегетационного сезона, уровень инсоляции, по-видимому, становится главным в определении условий формирования первичной продукции Карского моря.

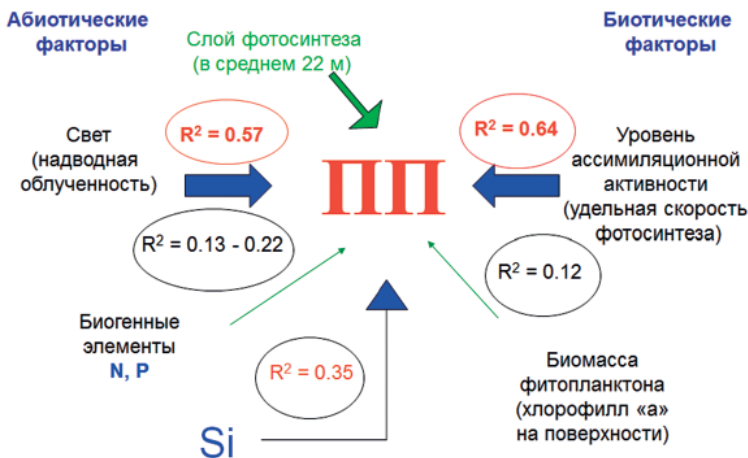


Рис. 2. Абиотические и биотические факторы, определяющие уровень первичной продукции Карского моря в осенний период

Вертикальная изменчивость первичной продукции и хлорофилла. Максимальные величины Хл регистрировались обычно на поверхности. В водах с содержанием X_{l_0} 0.1–0.5 мг/м³ отмечено гомогенное распределение в эвфотическом (1% фотосинтетически активной радиации) слое и близкое к линейному уменьшение Хл ниже этого слоя. При значениях $X_{l_0} > 0.5$ мг/м³ уменьшение величин Хл в исследованном слое происходило линейно или экспоненциально. Подповерхностный хлорофильный максимум (ПХМ) был выражен слабо и отмечался в основном в водах с содержанием X_{l_0} от 0.1 до 0.5 мг/м³. Образование ПХМ в Карском море соответствовало общим для Мирового океана закономерностям. Устойчивость водного столба, содержание биогенов и уровень подводной освещенности оказывали приблизительно равное влияние на формирование ПХМ. Вклад ПХМ в ПП в столбе воды составлял от 1 до 27%. Произведена параметризация вертикальных профилей Хл в целях их использования в моделях расчета ПП в столбе воды. Максимум Хл на поверхности и незначительное проявление ПХМ в Карском море облегчает задачу оценки ПП в столбе воды по спутниковым данным с использованием моделей с вертикальным разрешением.

Интегрированная и разрешающая по глубине модели первичной продукции. Региональные алгоритмы первичной продукции Карского моря были разработаны по базе данных, созданной в 3-х осенних экспедициях (сентябрь–октябрь 1993, 2007 и 2011 гг.). Верификация моделей была проведена по данным, собранным в сентябре 2013 г. (125-ый рейс НИС «Профессор Штокман»). Сравнение адекватности различных алгоритмов натурным данным показало, что модель с разрешением по глубине воспроизводит величины интегральной первичной продукции (ИПП) лучше, чем интегрированная по глубине модель (ошибки линейной регрессии равнялись 0.29 и 0.31, соответственно). По сравнению с моделями, включающими только Хл, воспроизводимость алгоритмов повышалась при введении в расчетные формулы среднего в слое дневного ассимиляционного числа и эффективности фотосинтеза в качестве коэффициентов и с использованием падающей фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР) как входящего параметра. Наши результаты показывают, что эффективность моделей первичной продукции Карского моря повышается при включении в расчеты физиологических параметров, ФАР и вертикального разрешения (рис. 3). С использованием спутниковых данных разработанные модели ИПП могут быть применены для оценки годовых величин и исследования

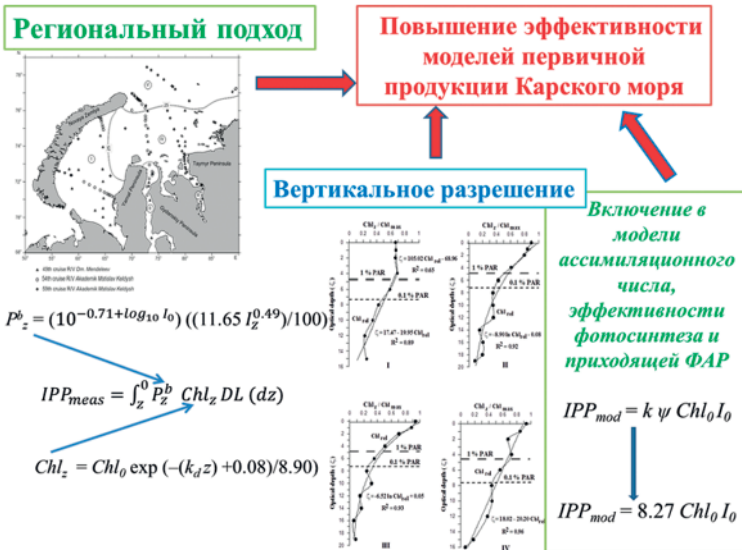


Рис. 3. Схема интегрированной и разрешающей по глубине моделей первичной продукции Карского моря и пути повышения их эффективности

долговременной изменчивости первичной продукции в морях Арктики, сходных с Карским морем по гидролого-гидрохимическим условиям.

Литература

1. Кобленц-Мишке О.И. Первичная продукция // Тихий океан. М.: Наука, 1967. Т. 7. Биология Тихого океана. Кн. 1. Планктон. С. 86–97.
2. Кобленц-Мишке О.И., Ведерников В.И. Первичная продукция // Биология океана. М.: Наука, 1977. Т. 2. Биологическая продуктивность океана. С. 183–209.
3. Antoine D., André J.-M., Morel A. Oceanic primary production 2. Estimation at global scale from satellite (coastal zone color scanner) chlorophyll // Global Biogeochem. Cycles. 1996. V. 10. № 1. P. 57–69.
4. Pivovarov S., Schlitzer R., Novikhin A. River run-off influence on the water mass formation in the Kara Sea // Siberian river run-off in the Kara Sea / Eds. Stein R. et al. Amsterdam: Elsevier, 2003. PP. 9–25.

ИЗУЧЕНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА КАРСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А»

Мошаров С.А., Демидов А.Б.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Фотосинтетическая активность фитопланктона определяет уровень первичной продукции в морской экосистеме, которая зависит от уровня освещенности, скорости фотосинтеза и количества хлорофилла «а». Собственно, при непосредственном участии хлорофилла «а» происходит один из ключевых процессов фотосинтеза – биологическая конверсия световой энергии в химически связанную энергию в форме углеродных органических соединений. И от того, насколько эффективно проходит процесс улавливания света, зависит фотосинтетическая способность клеток фитопланктона. Измерение флуоресценции хлорофилла «а» позволяет оценить обилие хлорофилла «а» в воде и квантовую эффективность процессов фотохимии.

Изучение фотосинтетической активности фитопланктона с использованием флуоресценции хлорофилла «а» основано на измерении минимальной и максимальной флуоресценции и расчете на их основе характеристик активности и квантовой эффективности первичных световых процессов фотосинтеза (относительная переменная флуоресценция F_v/F_m и относительная скорость электронного транспорта $rETR$ в зависимости от уровня освещенности от 0 до 500 мкмоль фотонов/м²·сек – световая кривая фотосинтеза) [1]. По световой кривой определялась $rETR_{max}$ и соответствующая ей оптимальная освещенность E_k .

Измерения флуоресценции хлорофилла «а» в Карском море проводились в сентябре 2011 г. на 44 станциях в разных районах для проб из всего фотического слоя. Минимальная флуоресценция F_0 линейно связана с концентрацией хлорофилла «а», что нашло отражение и в наших данных – корреляция этих двух параметров для всего массива данных была достаточно высокой ($r=0.87$, $n=340$). При этом относительный выход флуоресценции на единицу хлорофилла «а» ($F_0/Chl-a$) различался в разных районах (табл. 1). Увеличение этого параметра в определенной степени отражает снижение способности хлорофилла улавливать свет и использовать его для процессов синтеза органического вещества (первичной продукции).

Таблица 1. Относительный выход флуоресценции на единицу хлорофилла «а» в разных районах Карского моря в сентябре 2011 г.

Район моря	$F_0/\text{Chl-}a$
Западный район	0,711
Енисейский разрез	0,429
Район Таймыра	1,186
Желоб Св. Анны – восток	1,155
Желоб Св. Анны – запад	0,935
Район Новой Земли	1,028

Величина относительной переменной флуоресценция (F_0/F_m) дает информацию о физиологическом состоянии фитопланктона, т.е. о потенциальной фотосинтетической способности. Всего получено 280 значений F_0/F_m . Среднее F_0/F_m составило 0.62 ± 0.04 (min 0.35, max 0.72). Если учесть, что максимально возможное значение этой безразмерной величины равно 0.8 [2], то очевидно, что потенциальная фотосинтетическая активность фитопланктона в Карском море в сентябре 2011 г. была очень высокой, причем по всей глубине фотического слоя.

Стандартный радиоуглеродный метод позволяет определять первичную продукцию (PP) в виде новосинтезированного органического вещества как результат и световых, и темновых стадий фотосинтеза. Флуоресцентный метод дает оценку скорости электронного транспорта ($rETR_{max}$), т.е. эффективность световых процессов фотосинтеза. Сопоставление двух параметров дает важную информацию о соотношении световых и темновых процессов фотосинтеза, а кроме того, позволяет оценить возможность применение более простого флуоресцентного метода для определения уровня первичной продукции.

Был проведен сравнительный анализ величин первичной продукции, полученных по радиоуглеродной методике при инкубации проб в течение 3 часов, и значений $rETR_{max}$. Результаты, представленные на рис. 1, свидетельствуют о сильной линейной связи между PP и $rETR_{max}$ ($r=0.71$, $n=41$), что отмечалось ранее другими авторами [3]. Однако количественная характеристика этой связи значительно варьирует в разных районах моря. По результатам исследований можно сказать, что флуоресцентный метод определения $rETR_{max}$ может использоваться для общей сравнительной оценки уровня первичной продукции. С другой стороны, различия в соотношениях между PP и $rETR_{max}$ в отдельных

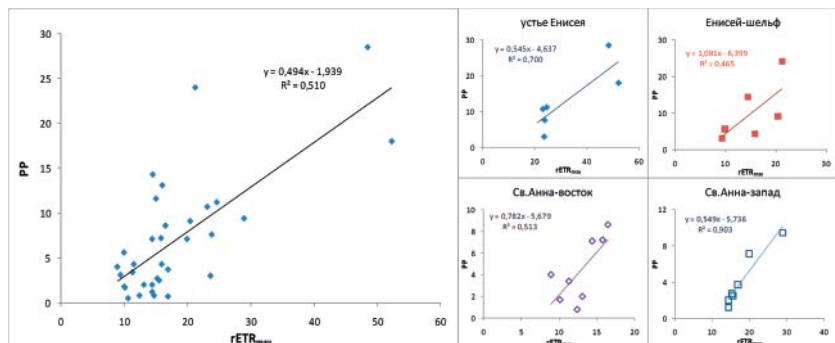


Рис. 1. Соотношение измеренной первичной продукции (PP, мгС/л сут) и величин $rETR_{max}$ (отн.ед.) в Карском море в целом (слева) и в отдельных районах (справа)

районах характеризуют разную степень реализации в виде синтеза органического вещества накопленной фотосистемой световой энергии, что может быть связано как с обеспеченностью биогенными элементами, так и текущим состоянием фитопланктонных клеток.

Оптимальная освещенность для продукционной активности фитопланктона Карского моря в среднем составила 106 мкмоль фотонов/м² в сек (при варьировании от 30 до 285 мкмоль фотонов/м² в сек). Среднее значение природной освещенности в период исследований 74 мкмоль фотонов/м² в сек (при варьировании от 40 до 208 мкмоль фотонов/м² в сек). Таким образом, продукционная активность фитопланктона Карского моря в сентябре 2011 г. была лимитирована низким уровнем природной освещенности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 13-05-00029), Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 23 (проект 9.5), Министерства образования и науки РФ.

Литература

1. Kolber Z., Falkovski P.G. Use of active fluorescence to estimate phytoplankton photosynthesis in situ // *Limnol. Oceanogr.*, 1993. V. 38. № 8. P. 1646–1665.
2. Schreiber U. Pulse amplitude (PAM) fluorometry and saturation pulse method // Chlorophyll fluorescence: a signature of photosynthesis. Advances in photosynthesis and respiration series/ Eds. Papageorgiou G., Govindjee G. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 2004. P. 270–319.
3. Beer S., Bjork M., Gademann R., Ralph P.J. Measurement of photosynthesis in seagrasses. In: Short, F.T., Coles, R. (Eds.), *Global Seagrass Research Methods*. Elsevier Publishers. The Netherlands. 2001. P. 183–198.

СТРУКТУРА ГОДОВОГО ЦИКЛА ПЕЛАГИЧЕСКИХ АЛЬГОЦЕНОЗОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КАРСКОГО МОРЯ

Макаревич П.Р.

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

До последнего времени исследования пелагических первичных продуцентов на акваториях замерзающих арктических морей проводились преимущественно в летне-осенний период, когда акватория полностью или частично освобождена ото льда, поэтому информация о зимней и весенней стадиях вегетации фитопланктонного сообщества практически отсутствовала. Принято считать, что структурные перестройки пелагического биотопа в ходе годового гидрологического цикла естественным образом делят цикл сезонного развития планктонного фитоценоза на отдельные фазы, сменяющие друг друга в ходе сукцессии и обладающие характерными особенностями как качественного состава, так и значений количественных показателей.

В результате проведения комплексных экспедиционных исследований, выполненных на судах ММБИ КНЦ РАН и атомных ледоколах ОАО «Мурманское морское пароходство» в 1996–2006 гг., были получены данные о состоянии пелагических микроводорослей Карского моря в течение всех гидрологических сезонов. Анализ динамики видового состава, количественных показателей развития фитопланктона и тенденций изменений абиотических факторов среды дал возможность построения схемы годового цикла развития фитопланктонного сообщества на акваториях, большую часть года полностью покрытых льдом.

Основанием для выделения отдельных фаз сезонного развития сообществ микроводорослей явились временная изменчивость таксономического состава и биомассы на протяжении календарного года (рис. 1), вертикальное распределение биомассы фитопланктона и гидрологических показателей (рис. 2) в отдельные гидрологические сезоны, а также сезонная изменчивость фитогеографических и экологических характеристик доминирующих комплексов.

В составе сукцессионной системы микрофитопланктона прибрежья Карского моря выделено 4 структурные фазы.

Ранневесенняя фаза развития (цветение криофлоры). В конце февраля на акватории Обь-Енисейского мелководья на фоне изменений в зимней структуре микропланктонного сообщества наблюдается

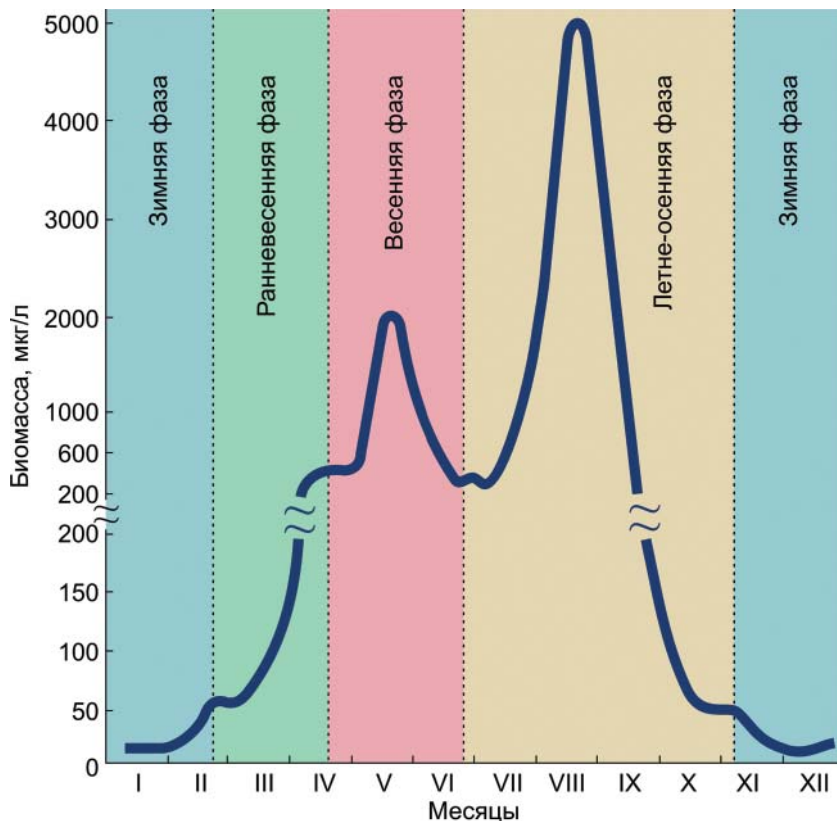


Рис. 1. Годовая динамика биомассы пелагических микроводорослей в прибрежье Карского моря

активизация ранневесеннего диатомового комплекса. Начинают активно развиваться пелагические пеннатные диатомовые микроводоросли, а также представители центрических диатомей. Биомасса, по многолетним данным, колеблется в пределах 35–103 мкг/л при численности 4–40 тыс. кл./л. Анализируя фазу активизации микроводорослевого сообщества в ранневесенний период, можно выделить два основных структурных тренда: постепенное нарастание видового разнообразия, численности и биомассы диатомового комплекса и постепенный переход доминирующей роли в сообществе от пеннатных форм к центрическим (эта смена в доминировании осуществляется на уровне биомассы 50–100 мкг/л).

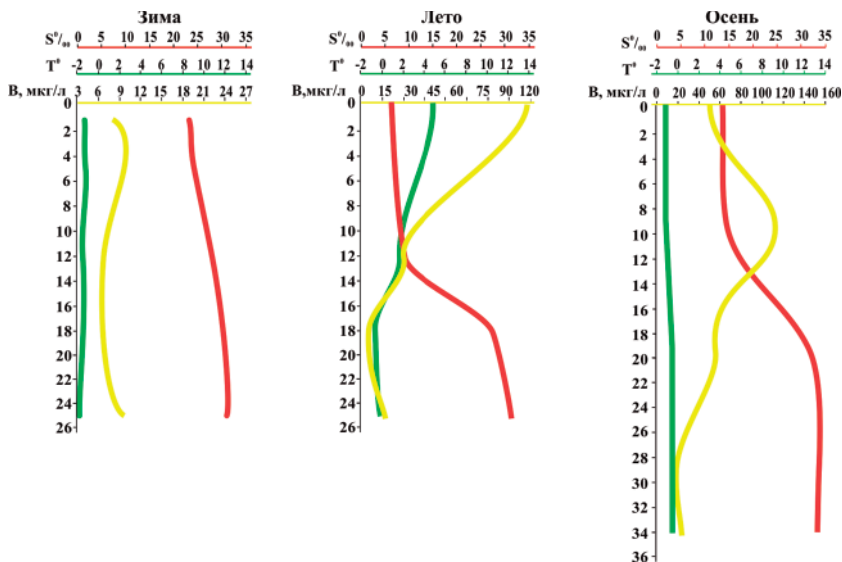


Рис. 2. Вертикальное распределение гидрологических характеристик и биомассы микрорфитопланктона в прибрежной части Карского моря

Весенняя фаза развития (прикромочное цветение). Выход сообщества пелагических микроводорослей Обь-Енисейского мелководья на весеннюю фазу экспоненциального роста (начало массового весеннего цветения фитопланктона) начинается в конце апреля. Для этого периода характерны наибольшие уровни концентраций биогенных элементов и начало разрушения ледового покрова, приводящего к увеличению инсоляции и достижению светового оптимума.

Максимум развития планктонного альгоценоза, с уровнями биомассы свыше 1.5 мг/л и высоким таксономическим разнообразием – на отдельных точках отбора проб регистрировалось до 50 видов, формируется во второй половине мая. Динамика количественных показателей имеет вид остроконечной кривой – резкий взлет сменяется столь же резким спадом значений.

Биомасса сообщества нарастает преимущественно за счет водорослей из рода *Thalassiosira* и *Chaetoceros*. Это виды, характерные для весеннего комплекса фитопланктона, формирующие пиковые значения численности и биомассы весеннего цветения в арктических пелагических экосистемах. Помимо диатомовых водорослей в планктоне присутствуют представители отделов Dinophyta, Chrysophyta и

Chlorophyta, но их видовое разнообразие и количественные характеристики не достигают значительных величин. В составе сообщества наблюдается весь спектр экологических форм – океанические, неритические и пресноводные виды, а также формы морского и эстуарного микрофитобентоса.

Летне-осенняя фаза (фаза смешанного синтеза). В июле функционирование пелагического альгоценоза определяется быстрым прогревом водных масс, образованием верхнего стратифицированного слоя, усилением пресного стока. Уровни количественных характеристик фитопланктона достигают своего максимума за весь сезон вегетации: численность – 1000 тыс. кл./л, а биомасса – 5000 мкг/л. Основу структуры сообщества в исследуемый период составляют комплексы арктобореальных и космополитных представителей диатомовых и динофитовых микроводорослей.

В конце сентября – в начале октября на фоне быстрого остывания водной массы начинаются процессы дезинтеграции флористической структуры и постепенного спада количественных показателей развития микроводорослей. К концу сезона численность микроводорослей снижается до 8 тыс. кл./л, а биомасса до 50 мкг/л. На этом этапе вегетации в альгоценозе представлены как виды пресноводного генезиса, так и морской фитопланктон.

На стадии летне-осеннего развития в пелагиали наблюдаются заметный спад фотосинтетической активности и одновременное усиление роли гетеротрофной компоненты фитоценоза (на начальном этапе описываемой фазы диатомеи составляют 90% общей массы, т.е. в сообществе сохраняется доминирование облигатных автотрофов, а в конце – около 50%, что происходит в основном за счет увеличения доли миксо- и гетеротрофных динофитовых водорослей), – следовательно, пелагический альгоценоз находится в фазе смешанного синтеза. Окончание этой стадии соответствует завершению сезона вегетации.

Зимняя фаза (фаза покоя). В целом зимний сезон характеризуется абсолютным доминированием представителей отделов Dinophyta и Struptyophyta и мелких диатомовых класса Pennnatophyceae. В составе сообщества преобладают формы с миксо- и гетеротрофным типом питания. Из планктона практически полностью исчезают облигатные фотосинтетики. На этот период приходится годовой минимум активности микроводорослей, общая численность которых не превышает нескольких сотен клеток на литр. Общая биомасса, хотя и может достигать 50 мкг/л, в большинстве случаев составляет 5–20 мкг/л.

В роли основных экосистемных регуляторов, определяющих в это время структуру планктонного альгоценоза, выступают быстрое охлаждение водной толщи, образование ледяного покрова и резкое снижение инсоляции.

Особо интересным, не укладывающимся в традиционные представления о функционировании подледных автотрофных сообществ, является факт активного развития микрофитопланктонного сообщества в пелагиали под сплошным ледяным покровом в весенний период. На исследуемой акватории нами наблюдалась следующая картина (рис. 3). Толщина ледового покрова достигала 60 см, а толщина снежного покрова льда – 20 см. Температура воздуха колебалась в пределах $-10 \dots -15^{\circ}\text{C}$, температура подледной пелагиали была в пределах -1°C , т. е. таяния ледового покрова не происходило. Слой льда и снежного покрова на нём, через процессы поглощения и отражения, делал возможным проникновение в водную толщу только менее 1% солнечной энергии, т.е. такого количества, которого, по мнению многих исследователей, недостаточно для начала активной вегетации микроводорослей. Но, несмотря на то, что в сложившиеся в момент наших исследований ледовые, гидрологические и метеорологические условия соответствовали гидрологической зиме, а, значит, не способствовали началу весенней активизации фитопланктонного сообщества, мы наблюдали в подледной пелагиали развитие комплекса фитопланктона, который по своим таксономическим и количественным характеристикам соответствовал ранневесеннему, развивающемуся в те же сроки в открытых водах Баренцева моря.

Таким образом, полученные результаты исследований позволяют считать, что весенняя вегетация фитопланктона на акватории Карского моря, покрытой льдами, начинается в мелководных прибрежных районах задолго до разряжения, начала таяния и вскрытия льдов, формирования прикромочных зон и очищения поверхности моря ото льдов.

Сравнительный анализ показал, что цикл развития пелагических альгоценозов на акваториях, большую часть года полностью покрытых льдом, отличается от такового в незамерзающих областях арктического шельфа (рис. 4). Активизация продукционных процессов начинается в то же время, что и в открытых участках побережья, но протекает под сплошным покровом льда задолго до его разрушения – за счет подледного «цветения» и развития представителей криофлоры. Однако нарастание биомассы происходит медленнее, поэтому вспышка собственно весеннего «цветения» (в данном случае преимущественно прикромочного) наступает позже и отличается более низкими количественными

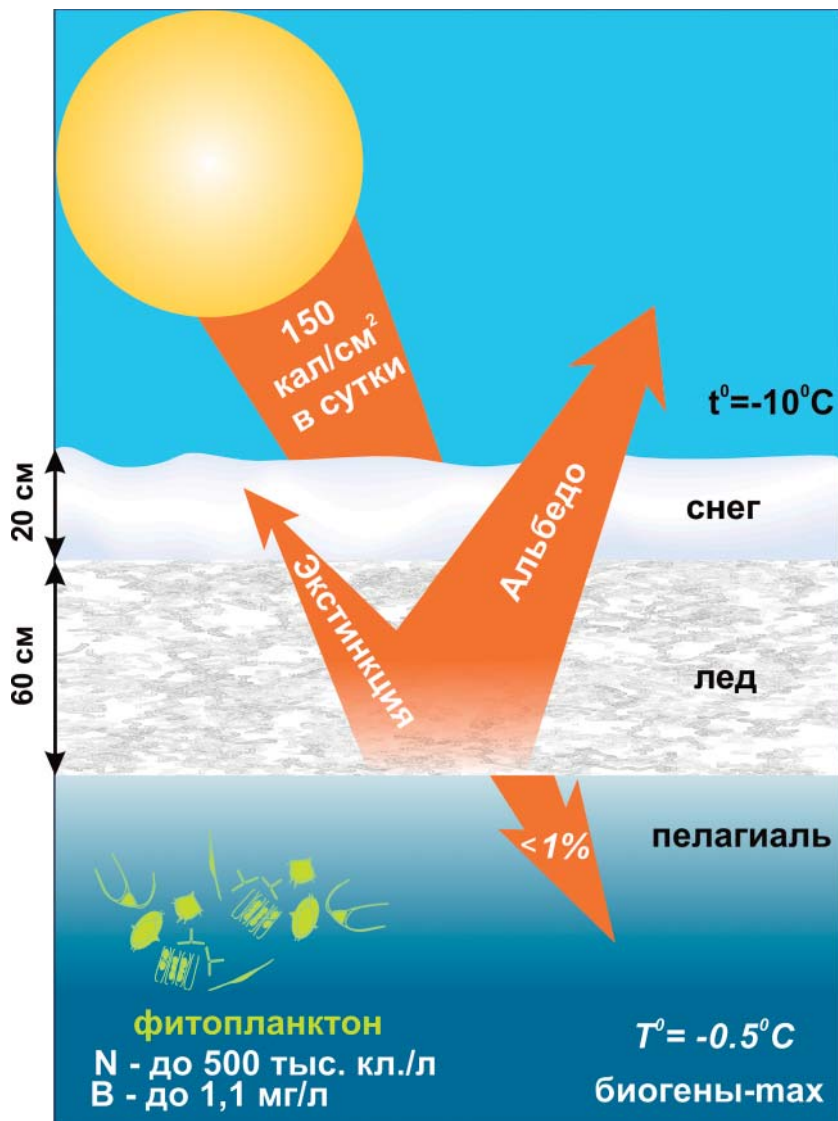


Рис. 3. Развитие весеннего цветения фитопланктона в мае в прибрежье Обь-Енисейского мелководья Карского моря

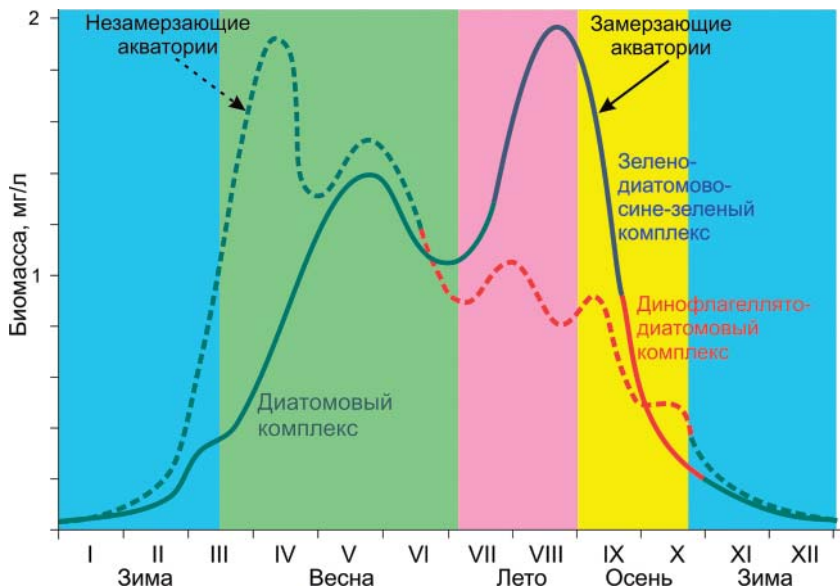


Рис. 4. Годовой цикл развития сообществ микроводорослей прибрежной зоны замерзающих и незамерзающих акваторий (на примере Баренцева и Карского морей)

показателями. Максимального же уровня развития, сравнимого с величиной весеннего пика в открытых прибрежных зонах, сообщество достигает летом, когда резко увеличивается объем пресного стока крупных рек. Влиянием последнего фактора объясняется и тот факт, что значительный вклад в продукционные характеристики сообществ микроводорослей в этот сезон вносят пресноводные виды.

Рассматривая суммарную годовую биомассу микрофитопланктона прибрежных зон Баренцева моря и побережья Обь-Енисейского мелководья Карского моря (рис. 5) можно отметить, что их биомасса очень сходна. Это позволяет утверждать, что пелагические экосистемы прибрежных районов этих морей, имеют практически равный продукционный потенциал независимо от наличия или отсутствия в течение года ледяного покрова.

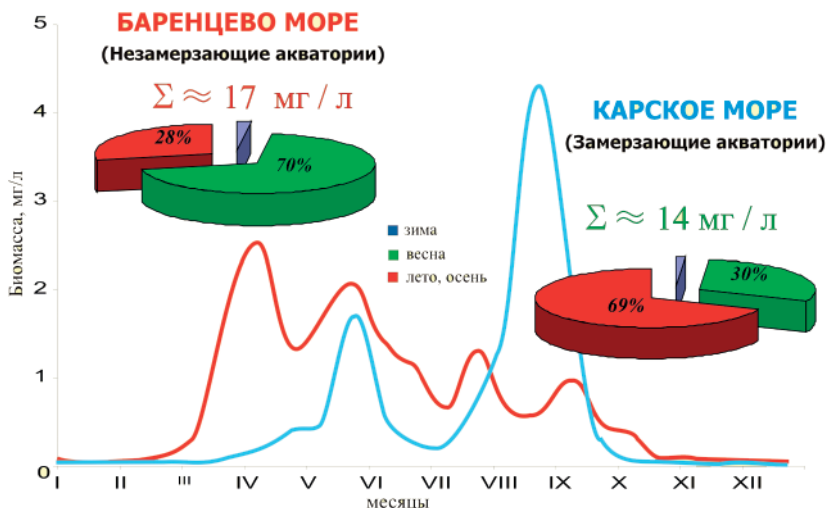


Рис. 5. Суммарная годовая биомасса фитопланктона прибрежных зон Баренцева и Карского морей

ФИТОЦЕНОЗЫ ЭСТУАРИЕВ ОБИ И ЕНИСЕЯ И ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОГО ВЗМОРЬЯ

Суханова И.Н.¹, Флинт М.В.¹, Сергеева В.М.¹, Дружкова Е.И.²

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

² Мурманский морской биологический институт
Кольского научного центра РАН

Эстуарии Оби и Енисея, через которые в Карское море в год поступает 1100–1300 км³ пресной воды, представляют собой громадную «кухню», в которой происходит трансформация гидрофизических, гидрохимических и геохимических свойств пелагической среды, что определяет кардинальные изменения характеристик и свойств экосистемы в целом и фитоценоза в частности. Эти изменения отличает ярко выраженная широтная зональность, при этом ключевым районом перестройки экосистем является эстуарная фронтальная зона.

Материалы, положенные в основу настоящего исследования, собраны в Обском эстуарии 27–30 сентября 2007 г. и в Енисейском эстуа-

рии 18–22 сентября 2011 г. (рис. 1 а, б). Оба года были теплыми, даже на фоне аномально теплых последних двух десятилетий в Арктике.

Для отбора и обработки проб фитопланктона использовались методология и методы, принятые в Институте океанологии [2].

Сравнение фитопланктона эстуариев Оби и Енисея и прилегающих мелководных шельфов выявили как общие черты, так и особенности каждого из этих близко лежащих районов.

Общность рассматриваемых районов состоит, прежде всего, в том, что мощные эстуарные фронтальные зоны разделяют два принципиально отличающихся биотопа: пресноводный с соленостью от < 1.0 psu до $5-6$ psu и морской с соленостью $> 18-20$ psu. Пресноводный биотоп населен пресноводными видами с преобладанием диатомовых, главным образом видов рода *Aulacoseira*, зеленых и в отдельных случаях сине-зеленых водорослей. Биотоп с соленостью выше $15-18$ psu населен морскими неритическими видами, среди которых по численности доминируют представители рода *Chaetoceros*. В общую биомассу фитопланктона наряду с *Chaetoceros* значительный вклад вносят виды рода

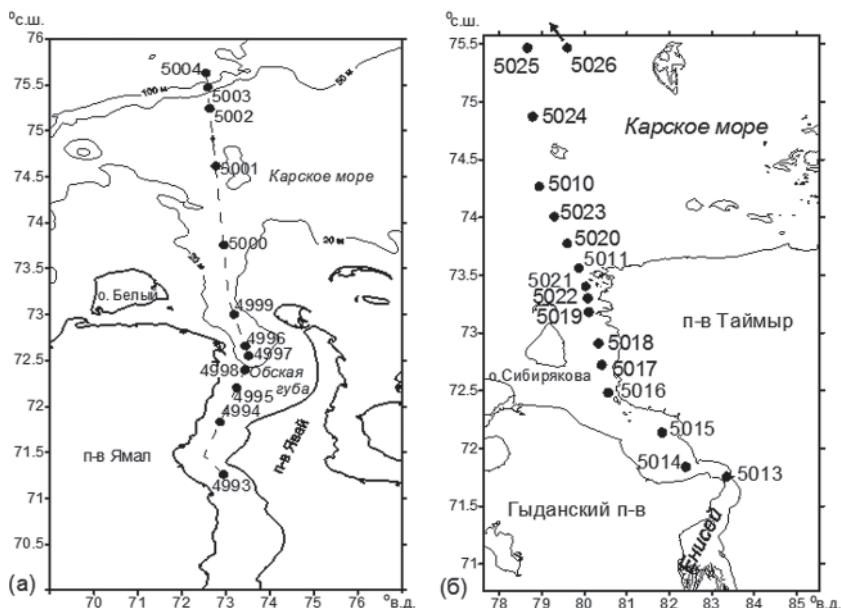


Рис. 1. Схемы разрезов и положения станций в Обском (а) и Енисейском (б) эстуариях

Thalassiosira. Кроме того, в биомассе биотопа с относительно высокой соленостью существенную роль играют динофлагелляты, практически отсутствующие в пресноводной зоне эстуариев.

Принципиально важно то, что в эстуарных фронтальных зонах Оби и Енисея не было обнаружено специфического солоноватоводного фитоценоза, в отличие от мезопланктона, в котором в этой области четко выделялось хорошо обособленное солоноватоводное сообщество. Фитоценоз эстуарной фронтальной зоны был образован пресноводными и морскими эвригаллиными видами водорослей.

Протяженность эстуарных фронтальных зон Оби и Енисея в осенний период составляла 120–150 км. Характерной чертой этих областей было резкое снижение всех количественных показателей фитопланктона на южной границе фронтальной зоны – внутреннем фронтальном

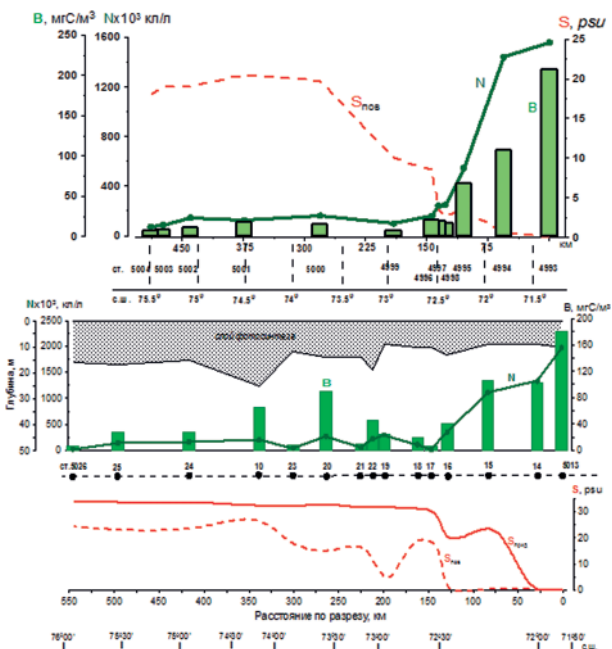


Рис. 2. Численность ($N \times 10^3$ кл/л) и биомасса (B , mgC/m^3) фитопланктона, толщина слоя фотосинтеза, поверхностная ($S_{\text{пов}}$, psu) и придонная ($S_{\text{придн}}$, psu) соленость на меридиональных разрезах из Обского (а) и Енисейского (б) эстуариев к прилежащему шельфу. Оранжевой тенью показано положение эстуарной фронтальной зоны

разделе (рис. 2 а, б). В пресноводном биотопе наблюдалось монотонное распределение по глубине температуры, солености, концентрации биогенных элементов. Количественные характеристики фитопланктона были наиболее высокими и снижались с глубиной не более, чем в два раза. Пробы из придонного слоя показали существование плотных скоплений фитопланктона, значительную (>50%) часть которых составляли мертвые клетки.

Во фронтальной зоне, характеризующейся резким галопикноклином на глубине 3–7 м, в опресненном слое над пикноклином от 10 до 95% общей численности водорослей составляли пресноводные виды. Доля пресноводных видов в общей численности клеток сокращалась по мере продвижения к северной границе фронтальной зоны. Слой под пикноклином с соленостью > 15–18 psu был населен главным образом морскими видами (рис. 3). За пределами северной границы эстуарных фронтальных зон галоклин существенно ослабевал, и небольшие скопления фитопланктона встречались на разных глубинах.

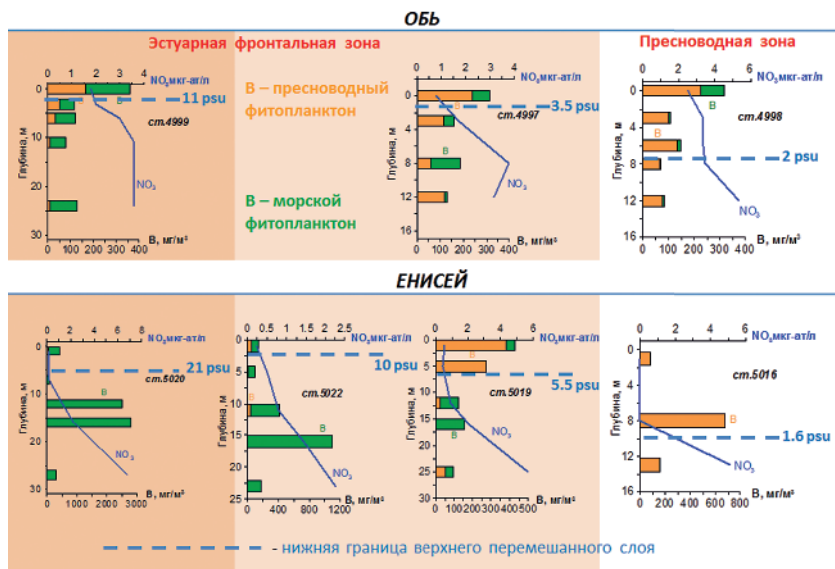


Рис. 3. Вертикальное распределение биомассы (B , $\text{мг}/\text{м}^3$) пресноводного и морского фитопланктона, нитратов (NO_3) и нижняя граница верхнего перемешанного слоя (пунктирная линия) на станциях разрезов в эстуариях Оби (вверху) и Енисея (внизу). Для каждой станции указана соленость (psu) на нижней границы верхнего перемешанного слоя

В южной части енисейской эстуарной фронтальной зоны был зарегистрирован заток морской воды с соленостью в поверхностном слое 17–20 psu, который маркировался более высоким содержанием биогенных элементов и типично морским фитоценозом, нарушая таким образом широтную зональность в смене структуры фитопланктонного сообщества. Морские виды в области залива на ст. 5017 составляли в верхнем перемешанном слое 80%, на ст. 5018 – от – 95%. При этом на ст. 5016, выполненной на 16 км южнее области залива, морских видов не было вообще, а на ст. 5019 в 20 км севернее границы залива они составляли всего 2.5%. За пять лет исследований Обского эстуария подобное явление не было встречено.

Различия между эстуарными фронтальными зонами Оби и Енисея наблюдались в качественном составе, количественных характеристиках и в вертикальном распределении фитопланктона (рис. 2а, б; рис. 3). В эстуарной фронтальной зоне Енисея по сравнению эстуарной фронтальной зоной Оби численность была в полтора раза, биомасса в два с половиной раза выше. На рис. 3 в енисейской фронтальной зоне (ст. 5020, 5022) видны «глубинные» максимумы фитопланктона, не наблюдавшиеся в Обском эстуарии, где обилие фитопланктона повсеместно падало с глубиной. Высокая численность и доминирование в «глубинных» максимумах морских относительно крупноклеточных водорослей *Chaetoceros compressus* и *Thalassiosira nordenskiöldii* определяли существенные различия в величинах биомассы фитопланктона в рассматриваемых эстуарных районах. На наш взгляд очень показательны средние значения интегральной первичной продукции в двух эстуариях, приведенные в работе Демидова с соавторами [3]. Величина интегральной первичной продукции в эстуарии Енисея была в 4 раза выше, чем в Обском эстуарии.

Эти различия, вероятнее всего, связаны с особенностями водосборных бассейнов и стока двух рек. Большая часть водосбора Оби расположена на обширной территории Западно-Сибирской низменности, отличающейся исключительной заболоченностью. По данным Кравчишиной с соавторами [1] средняя концентрация взвеси в поверхностном слое пресноводной части эстуария Оби в 2007 г. составляла 26 мг/л, во фронтальной зоне с соленостью в верхнем слое 3.5–10 psu – 16 мг/л. К северу от фронтальной зоны на внутреннем шельфе с поверхностной соленостью >18–20 psu концентрация взвеси снижалась до значений 0.3–0.4 мг/л. Доля фитопланктона во взвеси эстуария Оби не превышала 5–6%, возрастая на внутреннем шельфе до 50–75%.

Енисей, самая многоводная и протяженная река России, значительная часть водосбора которой охватывает Среднесибирское плоскогорье и другие участки Сибирской платформы, сложенные кристаллическими породами, устойчивыми к речной эрозии. Ее сток характеризуется существенно более низкими концентрациями взвеси: 2.6–2.9 мг/л в опресненной части эстуария и 1.3–0.6 мг/л в эстуарной фронтальной зоне. К северу от фронтальной зоны концентрация взвеси была такой же, как на обском мелководье. Доля сырой биомассы фитопланктона в массовой концентрации взвеси в пресноводной части эстуария достигала 40–70%, на шельфе она составляла 50–70%.

Существенные различия в концентрации взвеси двух эстуариев определяли прозрачность вод и соответственно толщину слоя фотосинтеза. В обском эстуарии нижняя граница слоя фотосинтеза располагалась на глубине 3–4 м и совпадала с верхней границей галоклина. Основная масса водорослей ниже 3–4 м, находясь вне зоны фотосинтеза была обречена на вымирание и оседание на дно. В то же время высокое положение пикноклина создавало условия, при которых сильный ветер мог временно интенсифицировать вертикальное перемешивание, ослабить плотностную преграду и способствовать взаимопроникновению надгалоклинного в основном пресноводного фитоцена в нижележащие слои и морских водорослей в поверхностный слой. Это хорошо видно на вертикальном распределении фитопланктона (рис. 3).

В Енисейском эстуарии прозрачность вод была в 2–3 раза выше. Верхняя граница пикногалоклина располагалась на глубине 5–7 м. Нижняя граница слоя фотосинтеза была на 8–15 м ниже. Содержание нитратов и нитритов, крайне низкое (как правило, ниже 0.5 мкг-ат/л) в пресной воде Енисея и в верхнем опресненном слое в эстуарной области возрастало до 3–7 мкг-ат/л вблизи нижней границы слоя фотосинтеза. Кремний был в избытке во всем столбе воды. Это определяло то, что ниша между галоклином и нижней границей слоя фотосинтеза оказалась благоприятной для массового развития морского фитоцена. Численность водорослей в этом слое на ст. 5020 и ст. 5022 достигала уровня «цветения» – 562×10^3 кл/л и 385×10^3 кл/л соответственно.

Перечисленные выше особенности вертикальной гидрофизической и гидрохимической структур и вертикального распределения фитопланктона определяют различия между обской и енисейской эстуарными фронтальными зонами в интегральной первичной продукции и обилии планктонных водорослей.

Исследования выполнены при финансовой поддержке проектов РФФ №14-50-00095 (лабораторная обработка материалов фитопланктону и гидрохимии) и РФФИ № 13-05-00377 (полевые работы, включая гидрофизические исследования).

Литература

1. *Кравчишина М.Д., Леин А.Ю., Суханова И.Н. и др.* Генезис и пространственное распределение концентрации взвеси в Карском море в период наибольшего сокращения арктической ледовой шапки // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 4. (в печати).

2. *Суханова И.Н., Флинт М.В., Дружкова Е.И. и др.* Фитопланктон северо-западной части Карского моря // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 4. (в печати).

3. *Demidov A.B., Mosharov C.A., Makkaveev P.N.* Patterns of the Kara Sea primary production in autumn: biotic and abiotic forcing of subsurface layer // *J. Marine Systems*. 2014. V. 132. P.130–149.

СТРУКТУРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В ГЛУБОКОВОДНЫХ РАЙОНАХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

Сергеева В.М.¹, Суханова И.Н.¹, Дружкова Е.И.², Сажин А.Ф.¹, Демидов А.Б.¹, Мошаров С.А.¹, Кременецкий В.В.¹, Полухин А.С.¹

*¹Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН
Мурманский морской биологический институт
Кольского научного центра РАН*

Глубоководные желоба (желоб Св. Анны и желоб Воронина), расположенные на севере Карского моря, вызывают интерес по нескольким причинам: во-первых, их малой изученностью, в связи с их трудно доступностью, во-вторых, в желобах происходит взаимодействие вод разного происхождения – непосредственно шельфовых вод Карского моря, вод Арктического бассейна и трансформированных атлантических вод [3]. Такое взаимодействие разных по гидрофизическим и гидрохимическим характеристикам водных масс создает в желобах сложную структуру. Фитопланктон, являясь чувствительным компонентом морских экосистем, быстро реагирует на изменения абиотических факторов среды, поэтому многообразие биотопов глубоководных желобов Карского моря оказывает влияние на его структуру и функционирование. В свою очередь изменения структуры сообщества микроводорослей, являю-

щихся первичным звеном трофической системы, будут определять качественный состав и количество доступных ресурсов для более высоких трофических уровней.

Данное исследование посвящено анализу распределения численности и биомассы фитопланктона, пространственной и сезонной изменчивости его видового состава и вертикальной структуры, а также особенностей функционирования сообщества в целом. Работы охватили два периода: конец сентября 2011 г. и конец августа 2014 г. Такие исследования фитопланктона, выполненные в разные месяцы второй половины вегетационного периода, и дополненные детальными гидрофизическими и гидрохимическими данными, в восточном отроге желоба Святой Анны и на прилегающем к желобу шельфе Карского моря были проведены впервые.

Материал был собран в ходе двух рейсов: с 24 по 27 сентября 2011 г. и с 26 по 27 августа 2014 г. Район исследований включал склоновую часть восточного отрога желоба Св. Анны с глубинами 150–400 м, глубоководную часть с глубинами более 400 м и прилегающий карскоморский шельф с глубинами менее 150 м в пределах координат с $76^{\circ}33'$ по $79^{\circ}19'$ с. ш. и с $72^{\circ}48,5'$ по $80^{\circ}45'$ в. д. (рис. 1). Методика отбора фитопланктонных проб подробно описана в работах [4]. Для определения концентрации хлорофилла «а» и оценки первичной продукции использовали стандартные методики, подробно описанным в предшествующих работах [1]. В сентябре 2011 г. параметр относительной переменной флуоресценции фитопланктона, характеризующий потенциальную фотосинтетическую активность водорослей, измеряли флуориметром МЕГА-25 (разработка кафедры биофизики биологического факультета МГУ имени Ломоносова). Химико-аналитические и расчетные операции произведены согласно протоколам JGOFS [2]. В работе были использованы данные по ледовому покрытию (со спутника MODIS: ladsweb.nascom.nasa.gov), а также данные о концентрации биогенных элементов, вертикальном распределении температуры и солености, полученные в ходе тех же рейсов, что и фитопланктонные пробы.

На основании полученных гидрофизических и гидрохимических данных выделено 4 зоны: прилежащий к желобу Св. Анны шельф Карского моря (I), верхняя часть склона желоба Св. Анны (II), нижняя часть желоба Св. Анны (III) и его глубоководная часть (IV). Показано, что сообщество фитопланктона в водах прилежащего шельфа, подверженного влиянию речного стока, отличается от сообщества непосредственно в самом желобе и сентябре, и в августе (рис. 2). В нижней части

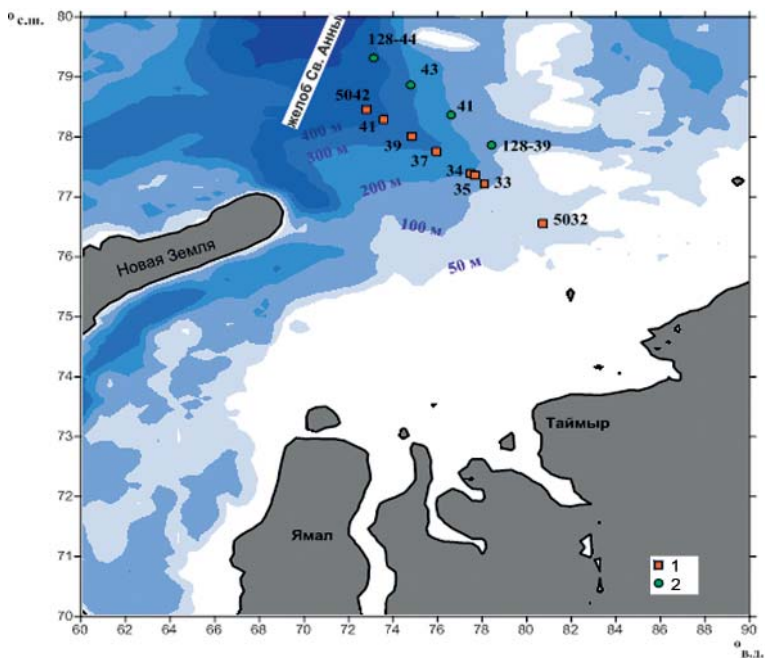


Рис. 1. Карта района и расположение станций: 1 – в 2011 г., 2 – в 2014 г.

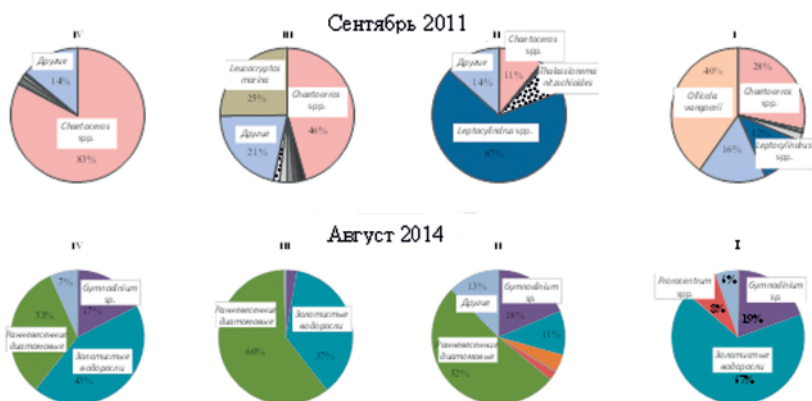


Рис. 2. Преобладающие по численности виды и группы фитопланктона в слое максимального обилия водорослей в сентябре 2011 г. и августе 2014 г. в разных зонах восточного отрога желоба Св. Анны

склона желоба и в его глубоководной части в сентябре 2011 г. и в августе 2014 г. сообщество фитопланктона находилось в 2-х разных стадиях сезонной сукцессии: в августе – поздневесенней и летней, в сентябре – в летне-осенней.

При этом концентрация хлорофилла «а» в августе 2014 г. в целом была выше в 1.4 раза, а показатель первичной продукции – в 3.3 раза по сравнению с сентябрем 2011 г. В конце сентября 2011 г. были зафиксированы достаточно высокие значения относительной переменной флуоресценции фитопланктона 0.61 ± 0.04 (при максимально возможном значении этого параметра 0.8). Это свидетельствует о значительной потенциальной активности хлорофилла «а» в конце сезона вегетации, которая, по всей видимости, лимитирована абиотическими факторами.

В сентябре 2011 г. в хорошо выраженной фронтальной зоне между шельфом и желобом (II зона) наблюдалась перестройка сообщества фитопланктона, проявившаяся в смене доминирующих видов и увеличении численности и биомассы водорослей в 1.5–2 раза (рис. 3), увеличении хлорофилла и первичной продукции в 1.2 и в 3 раза соответственно. Возрастание величины первичной продукции (в 2 раза) в этой зоне по сравнению с близлежащими областями наблюдалось и в августе 2014 г.

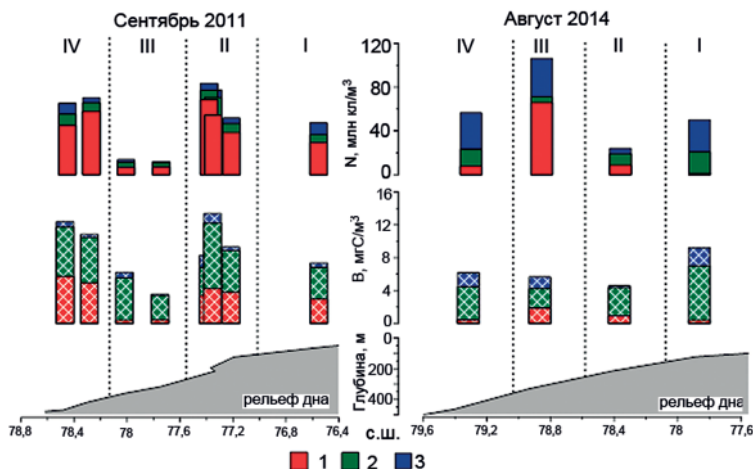


Рис. 3. Распределение численности (N , $\times 10^6$ кл/м³) и биомассы (B , мгС/м³) фитопланктона в сентябре 2011 г. и августе 2014 г. в разных зонах восточного отрога желоба Св. Анны
1 – диатомовые водоросли; 2 – динофлагелляты; 3 – жгутиковые водоросли

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ №14-50-00095 (лабораторная обработка материалов и подготовка статьи) и №14-17-0068 (полевые исследования, включая сбор гидрофизических и гидрохимических данных и данных по растительным пигментам).

Литература

1. *Demidov A.B., Mosharov S.A., Makkaveev P.N.* Patterns of the Kara Sea primary production in autumn: Biotic and abiotic forcing of subsurface layer // *Journal of Marine Systems*. 2014. V. 132. Pp. 130–149.

2. JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study Protocols). Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study Protocols (JGOFS). Core Meas, Manual Guides. 1994. P. 119–122.

3. *Зацепин А.Г., Морозов Е.Г., Пака В.Т., и др.* Циркуляция вод в юго-западной части Карского моря в сентябре 2007 г. // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 683–697.

4. *Суханова И.Н., Флинт М.В., Дружкова Е.И. и др.* Фитопланктон северо-западной части Карского моря // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 4. В печати.

МИКРОБИОТА ГЛУБОКОВОДНЫХ ЖЕЛОБОВ КАРСКОГО МОРЯ

Романова Н.Д., Сажин А.Ф.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова

Бактерии и гетеротрофный нано- и микропланктон, формирующие «микробную петлю» – важнейший компонент планктонного сообщества, ответственный за реминерализацию органического вещества. В полярных экосистемах значение микробной компоненты планктона еще более возрастает, поскольку в течение полугода развитие фотосинтезирующих организмов ограничено недостатком света. В подобных условиях осмотрофные микроорганизмы, способные эффективно усваивать растворенное органическое вещество, становятся основой пищевой цепи. Данная работа посвящена исследованию микробиоты глубоководных желобов Карского моря (желоба Св. Анны и Воронина), через которые осуществляется основная часть водообмена между Карским морем и Центральным Арктическим бассейном [4].

Материал был собран в ходе трех рейсов в Карское море: в северной части желоба Святой Анны и в области континентального склона в конце лета 2007 г. в ходе экспедиции ARKTIS-XXII/2, а также в южной части желоба и на прилегающем шельфе Карского моря осенью 2007 и

2011 г. в ходе 54-го и 59-го рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш» соответственно (рис. 1). Для определения обилия и видового состава микроорганизмов использовали люминесцентную микроскопию [3, 5]. Измерение продукции бактериопланктона проводили прямым методом с использованием антибиотиков-ингибиторов бактериального роста [6].

Над южной оконечностью желоба Св. Анны поворачивающая на восток струя Восточно-Новоземельского течения ограничивает распространение на север поверхностного слоя распресненных речным стоком вод [1]. По этой причине величины обилия бактериопланктона в верхнем прогревом слое воды над склоном желоба были существенно ниже, чем над прилегающим шельфом Карского моря (30–92 и 126–290 тыс. кл/мл

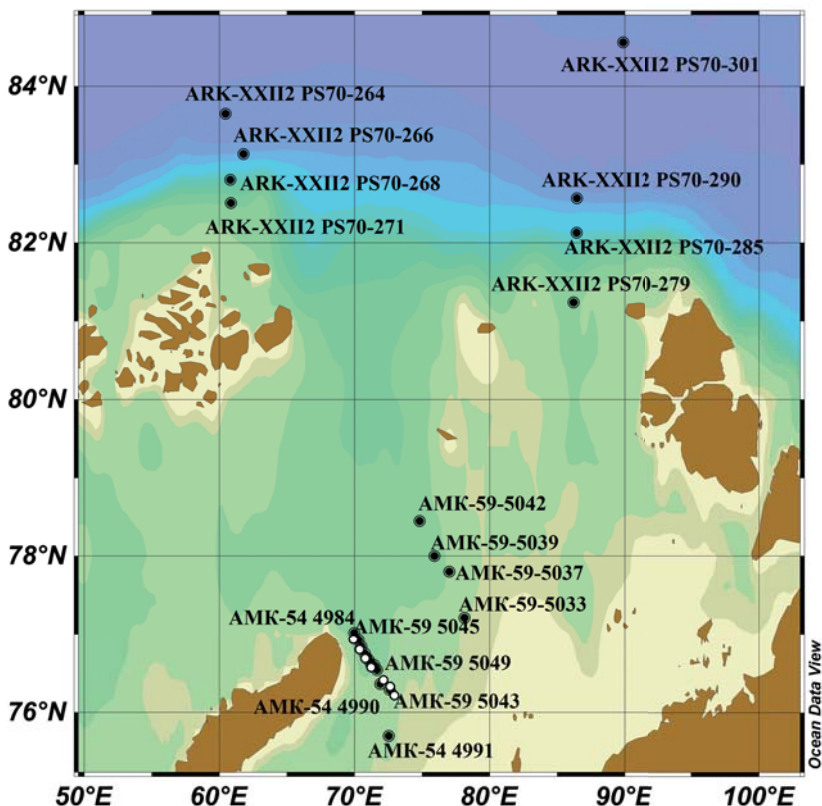


Рис. 1. Схема станций

соответственно) (рис. 2в). Различия в значениях биомассы бактерий в верхнем слое воды над северной границей шельфа и в южной части желоба варьировали от 1.5 до 4 раз (3.4–4.3 и 1–2.1 мгС/м³ соответственно). Также в распресненном слое, проникающем до южной границы желоба, отмечены относительно высокие значения продукции бактерий (1.1–4.2 мгС/м³ в сутки), тогда как над склоном желоба, напротив, бактериальная продукция характеризовалась крайне низкими, вплоть до нулевых, значениями продукции. В нижележащих слоях воды в южной части желоба Св. Анны были отмечены более низкие значения обилия бактериопланктона, близкие для разных лет наблюдений и в обоих отрогах желоба; средние значения численности бактерий в разных слоях варьировали от 21 до 32 тыс. кл./мл, биомассы – от 0.6 до 1.3 мгС/м³. Значения

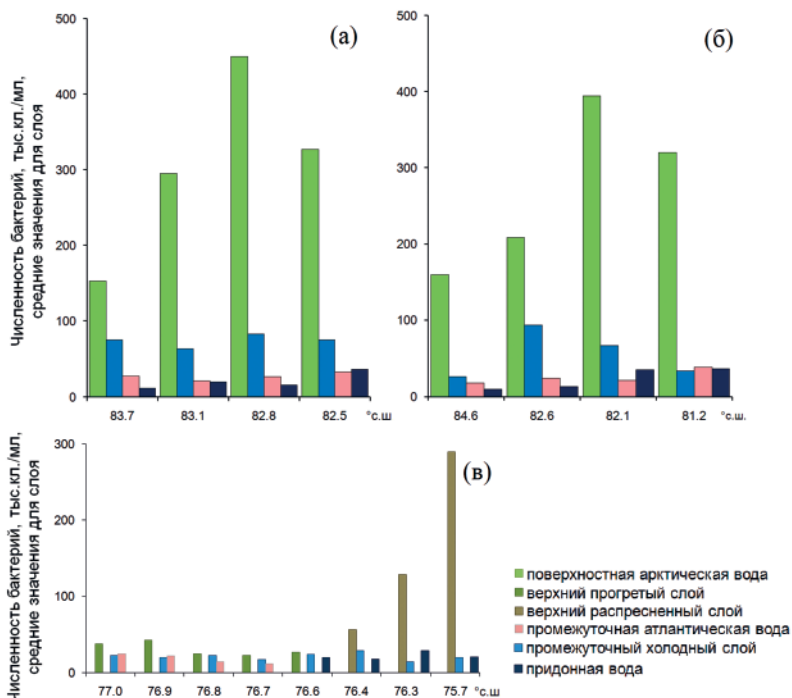


Рис. 2. Обилие бактериопланктона глубоководных желобов Карского моря в августе–сентябре 2007 г. а) континентальный склон на северной границе желоба Св. Анны; б) континентальный склон на северной границе желоба Воронина; в) южная часть желоба Св. Анны (западный отрог)

удельной продукции бактериопланктона, напротив, были выше, чем в верхнем прогревом слое: над склоном западного и восточного отрогов желоба Св. Анны ее значения составляли в среднем 0.3 и 0.7 сут⁻¹ соответственно. Отдельно стоит выделить слой придонной воды в восточном отроге желоба Св. Анны. Величина удельной продукции бактерий в нем составляла 1.1 сут⁻¹, а сама продукция достигала 2 мгС/м³ в сутки. По морфологическому составу в бактериопланктоне южной части желоба Св. Анны доминировали кокки, доля палочковидных форм колебалась от 19 до 46 %, достигая максимальных значений 42–46% в верхнем перемешанном слое северной части разрезов.

Величины обилия бактериопланктона глубоководных желобов (желоба Св. Анны и желоба Воронина) в северной их части были близки, несмотря на большое расстояние между двумя желобами (рис. 2а, б). На северной границе желоба Св. Анны, обилие бактериопланктона в верхнем слое воды на разных станциях варьировало от 159 до 449 тыс. кл./мл (в среднем 255±104 тыс. кл./мл). В поверхностном слое арктической воды обилие бактерий в области над континентальным склоном было ниже в 1.5–2 раза, чем в северной части обоих желобов. Возможно, такое снижение связано с влиянием склонового течения, разделяющего воды Карского моря и бассейна Нансена. В холодном промежуточном слое воды средние значения показателей обилия были также выше, чем в нижележащих слоях (49±30 и 23±12 тыс. кл./мл соответственно). Отдельно стоит отметить снижение численности и биомассы в придонном слое воды в северном направлении (с 36 до 11 тыс. кл./мл в желобе Св. Анны и с 37 до 10 тыс. кл./мл в желобе Воронина). Морфологический состав бактериопланктона был достаточно однороден во всем столбе воды: доля палочковидных форм для разных слоев составляла 21–30%.

В 2011 году на разрезе в южной части желоба Св. Анны наибольшие величины обилия гетеротрофных жгутиконосцев наблюдались в верхнем 20-метровом слое. Наибольшие значения численности этих микроорганизмов были отмечены в южной части разреза (879–1304 тыс. кл./л), чуть большие величины были характерны для области влияния контурного течения, несущего воды атлантического происхождения (ст. 5048–5049) [2]. Тем не менее, эти величины почти в 2 раза ниже значений обилия, наблюдавшихся на прилежащем шельфе Карского моря, где численность гетеротрофных жгутиконосцев в верхнем распресненном слое составляла 1920 тыс. кл./л (рис. 3). В северной части разреза численность гетеротрофных жгутиконосцев в верхнем 20-метровом слое варьировала от 420 до 673 тыс. кл./л. Несмотря на достоверные различия

в численности на северном и южном участках разреза, в распределении биомассы гетеротрофных жгутиконосцев в верхнем 20-метровом слое воды этой закономерности не прослеживалось, среднее ее значение на разрезе составляло $7.7 \pm 1.4 \text{ мгС/м}^3$.

Максимальные значения обилия инфузорий наблюдались в поверхностном горизонте, глубже 50 м их было крайне мало. В области влияния контурного течения и к северу от нее численность инфузорий в поверхностном слое воды колебалась в пределах от 820 до 1120 кл./л, тогда как южнее над склоном желоба эта величина составляла всего 50 кл./л. Биомасса инфузорий в поверхностном слое воды на разрезе в южной части желоба Св. Анны колебалась от 1.1 до 9.5 мгС/м^3 , а на станции 5046 достигала 42.7 мгС/м^3 за счет доминирования крупных форм (размером более 110 мкм) миксотрофной инфузории *Laboea strobila*.

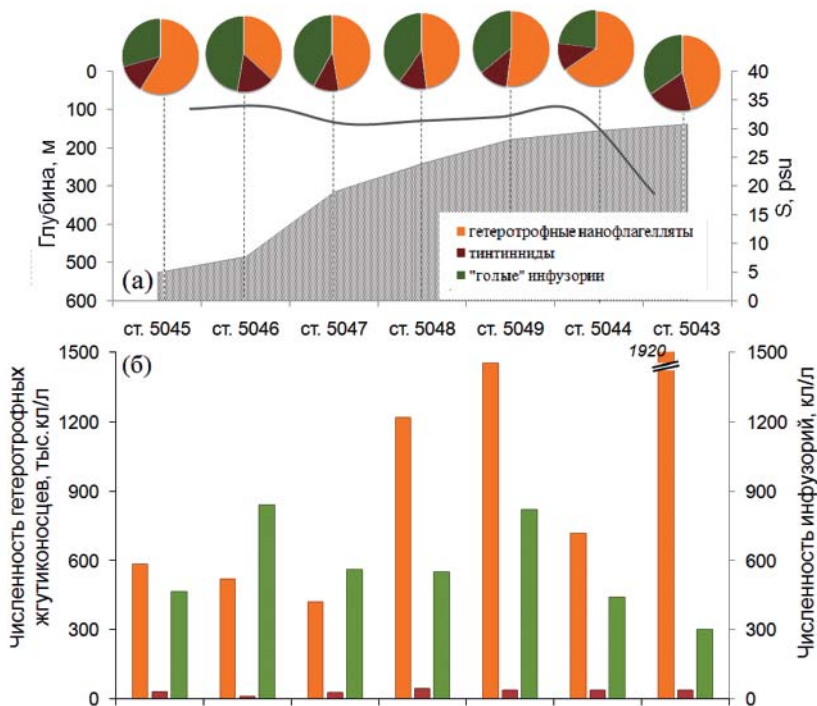


Рис. 3. Соотношение видов разных групп гетеротрофного нано- и микропланктона (а) и их обилие в верхнем 20-метровом слое (б) на разрезе вдоль южной части западного отрога желоба Св. Анны (2011 г.)

Шесть видов гетеротрофных жгутиконосцев (*Gyrodinium lachryma*, *Gyrodinium* sp.1, *Gyrodinium spirale*, *Leucocryptos marina*, *Monosiga marina*, *Telonema subtilis*) и три вида инфузорий (тинтиннида *Acanthostomella norvegica* (или ее пустые раковины), а также «голые» инфузории *Laboea strobila* и *Strombidium* spp.) были отмечены на всех станциях разреза. Основную массу гетеротрофных жгутиконосцев составляли не поддающиеся определению клетки. Среди определенных видов гетеротрофных жгутиконосцев на всех станциях разреза и по численности, и по биомассе вносил существенный вклад *Gyrodinium* sp.1 (24–66% численности). На северной станции разреза значительную долю составлял *Leucocryptos marina* (27% численности). Также относительно высоким на всех станциях был вклад в общую численность жгутиконосцев *Monosiga marina* (13–36%). На прилежащем шельфе в верхнем опресненном слое воды (ст. 5043) и по численности, и по биомассе доминировал вид *Telonema subtilis* (68% и 45% соответственно).

Исходя из вышесказанного можно заключить, что для оценки количественных изменений микробного населения глубоководных желобов Карского стоит в первую очередь рассматривать микроорганизмы верхнего перемешанного слоя, поскольку в нижележащих слоях пространственные и межгодовые вариации обилия бактериопланктона малы, а низкие значения численности гетеротрофного нано- и микропланктона затрудняют выявление достоверных различий.

Литература

1. Зацепин А.Г., Морозов Е.Г., Демидов А.Н., Кондрашов А.А. и др. Циркуляция вод в юго-западной части Карского моря в сентябре 2007 г. // Океанология. 2010. №5. С. 683–697.
2. Кременецкий В.В. Отчет гидрофизического отряда // Исследования экосистемы Карского моря, 2011. 59 рейс НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ». Т 2. Отчеты начальников отрядов. 2011.
3. Hoff K.A. Total and specific bacterial counts by simultaneous staining with DAPI and flourochrome-labeled antibodies // Handbook of methods in aquatic microbial ecology / Eds.: Kemp P.F. et al. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers. 1993. P.149–154.
4. Pavlov, V.K., Pfirman, S.L. Hydrographic structure and variability of the Kara Sea: Implications for pollutant distribution // Deep-Sea Res. 1995. Pt. II. V. 42. № 6. PP. 1369–1390.
5. Sazhin A.F., Artigas L.F., Nejstgaard J.C., Frischer M.E. The colonization of two *Phaeocystis* species (Prymnesiophyceae) by pennate diatoms and other protists: a significant contribution to colony biomass // Biogeochemistry. 2007. V. 83. P. 137–145.
6. Weisse T. The annual cycle of heterotrophic freshwater nanoflagellates: role of bottom-up versus top-down control // J. Plank. Res. 1991. V. 13. PP. 167–185.

ИЗМЕНЕНИЕ ДОЛИ АКТИВНО ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ КЛЕТОК В СОСТАВЕ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА КАРСКОГО МОРЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСНОВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Мошарова И.В.

Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

К настоящему времени получены многочисленные доказательства того, что доля активно функционирующих микроорганизмов, т.е. бактерий с активным метаболизмом в данный момент времени, которые и обеспечивают протекание гетеротрофных процессов в водных экосистемах, в составе микробиоценоза невелика и варьирует в широких пределах – от 3 до 65% [1, 2, 3].

Сведения о численности и распространении бактерий с активным метаболизмом, также как и о количестве бактерий с неповрежденными мембранами в эстуарии реки Енисей, на шельфе и в глубоководных впадинах Карского моря в настоящее время практически отсутствуют. Не известны и ведущие факторы среды, которые могут оказывать влияние на численность и распространение таких микроорганизмов в различных местообитаниях.

Целью настоящего исследования являлось изучение численности и пространственного распределения бактериопланктона с активным метаболизмом, а также определение количества потенциально активных клеток микроорганизмов, т.е. бактериопланктона с неповрежденными мембранами в составе бактериоценозов эстуария реки Енисей, шельфа моря, а также в водах глубоководных впадин Карского моря (желоб Святой Анны) в сентябре 2011 г.

Сделана попытка выявления основных факторов среды, оказывающих влияние на характер пространственного распределения изученных микробиологических параметров.

Пробы для определения микробиологических параметров были отобраны во время 59 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в период с 15 по 29 сентября 2011 г. на 14-ти станциях. Последние располагались в акваториях, наиболее контрастных по условиям среды: в устье р. Енисей (ст. 5013 и 5015), во фронтальной зоне смешения речных и морских вод (ст. 5018 и 5019) на шельфе моря (зона Обь-Енисейского речного выноса-ОЕРВ) (ст. 5021 и 5010), а также на разрезах вдоль

восточного (ст. 5033-5042) и западного (ст. 5043-5048) отрогов желоба Святой Анны (рис. 1).

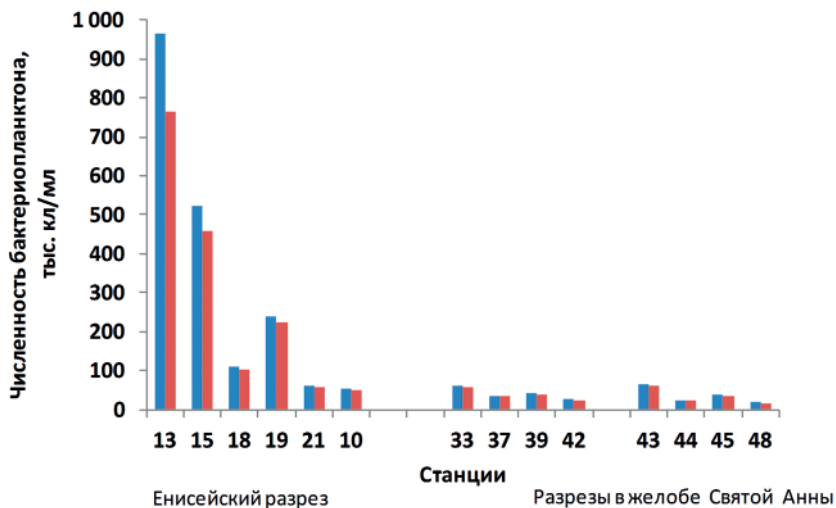


Рис. 1. Распределение средних значений общей численности бактерий (синие столбики) и численности микроорганизмов с неповрежденной мембраной (красные столбики) по станциям полигонов в Карском море в сентябре 2011 г.

В пробах определяли следующие микробиологические показатели: численность бактерий с неповрежденными мембранами (ЧБНМ) и количество бактерий с активной электрон-транспортной цепью (ЦДТХ+Б).

Для определения ОЧБ использовали набор красителей LIVE/DEAD BacLight Bacterial Viability Kits 13152 (Molecular Probe, Eugene, Oregon, USA).

Для учета численности бактерий с активным метаболизмом (ЦДТХ+Б) применяли соль тетразолия – 5-циано 2.3-дитолил тетразолиум хлорид (ЦДТХ).

В результате исследований установлено, что в водной толще разреза вдоль эстуария Енисея и в Карском море осенью 2011 г. был распространен обильный, жизнеспособный и активно функционирующий гетеротрофный бактериопланктон. Максимальные абсолютные величины всех изученных микробиологических параметров были обнаружены в водной толще ст. 5013 и 5015, расположенных в распресненной части эстуария р. Енисей. Минимальные их значения были определены в пробах воды из акватории желоба Святой Анны. Значения ЧБНМ в

водной толще разреза вдоль эстуария р. Енисей в сентябре 2011 г. в среднем для всего разреза составили 236.96 тыс. кл/мл, при варьировании от 24.40 тыс. кл/мл (ст. 5018, 20 м) до 1006.83 тыс. кл/мл (ст. 5013, 30 м). Наиболее низкой численность бактерий с неповрежденной мембраной оказалась в открытой части моря, в акватории желоба Святой Анны. Значения ЧБНМ варьировали от 6,78 (ст. 5048, 110 м) до 103.18 тыс. кл/мл ст. 5033, 15 м), в среднем для водной толщи желоба ЧБНМ составила 33,46 тыс. кл/мл (рис. 1).

По мере удаления от распресненных вод эстуария р. Енисей к открытым морским водам абсолютные значения всех изученных микробиологических параметров снижались, в то время как относительная численность жизнеспособного и активного бактериопланктона возрастала (рис. 2).

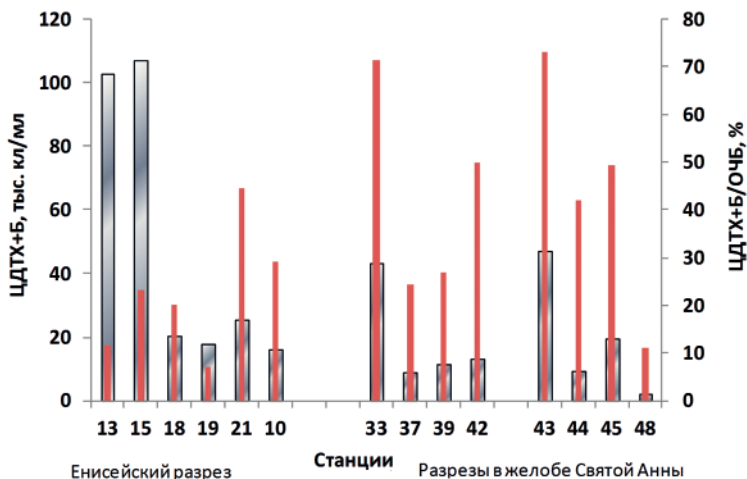


Рис. 2. Распределение средних значений численности бактерий с активной электрон-транспортной цепью (ЦДТХ+Б, серые столбики) и доли численности ЦДТХ+Б в общей численности бактериопланктона (ЦДТХ+Б/ОЧБ, красные столбики) по станциям полигонов в Карском море в сентябре 2011 г.

Обнаружены сильные положительные корреляционные связи между величинами исследованных микробиологических параметров (ЧБНМ, ЦДТХ+Б) и содержанием в воде хлорофилла *a*, кремния, общего углерода, а также значениями температуры и солености воды для водной толщи Енисейского разреза и зоны ОЕРВ. Для водной толщи

желоба Святой Анны обнаружены лишь слабые корреляционные связи между микробиологическими параметрами и температурой воды, содержанием общего углерода, а также соленостью.

Литература

1. *Decamp O., Rajendran N.* Assessment of bacterioplankton viability by membrane integrity // *Marine Pollution Bulletin*. 1998. V. 36. № 9. PP. 739–741. (11).
2. *Sherr B.F., Del Giorgio P., Sherr E.B.* Estimation abundance and single-cell characteristics of respiring bacteria via the redox dye CTC // *Aquatic Microbial Ecology*. 1999. V. 18. PP. 117–131. (18).
3. *Shumann R., Schiewer Ul., Karsten Ulf., Rieling T.* Viability of bacteria from different aquatic habitats. II. Cellular fluorescent markers for membrane integrity and metabolic activity // *Aquatic Microbial Ecology*. 2003. V. 32. PP. 137–150 (19).

ВИРИОПЛАНКТОН КАРСКОГО МОРЯ

Копылов А.И.¹, Сажин А.Ф.², Заботкина Е.А.¹, Романова Н.Д.²

¹Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Вириопланктон присутствует во всех морских экосистемах, являясь самым многочисленным компонентом планктонных сообществ. Вирусы, лизируя гетеротрофных бактерий, могут быть ответственны за более чем 60% смертности бактериопланктона, что значительно влияет на величину потока энергии, углерода и состав микробиоты в морских экосистемах. Немногочисленные исследования экологии вирусов в арктических водах свидетельствуют, что численность вириопланктона в высоких широтах на порядок ниже, чем в умеренных. Гибель бактерий, вызванная вирусным лизисом, определенная в разных районах Арктики меняется от долей процента до 40% смертности бактериопланктона. Сведения об экологии планктонных вирусов в Карском море ограничиваются только результатами наших исследований [1, 2]. Исследования были проведены в 2009 и 2011 гг. в мелководных и глубоководных районах Карского моря (рис. 1).

Пробы отбирали с 2–5 горизонтов батометрами Нискина объемом 5 или 10 л комплекса «Rosette» оснащенного CTD зондом. Общую численность бактерий определяли под люминесцентным микроскопом Leica DM 5000B при увеличении $\times 1000$, после предварительного окрашивания проб флуорохромом DAPI. Бактериальная сырая биомасса вычис-



- НИС «Михаил Сомов», 2009 г. : Обская губа (3 станции), Енисейский залив (2 станции)
- НИС «Академик Мстислав Келдыш», 2011 г. (13 станций)

Рис. 1. Схема районов работ

лялась, исходя из объема бактериальных клеток с использованием программ анализа изображений. Определение бактериальной продукции и выедания бактериопланктона потребителями проводили по методике с использованием антибиотиков, в модификации для естественных местообитаний. Вирусные частицы учитывали методом эпифлуоресцентной микроскопии с использованием флуорохрома SYBR Green I и фильтров из оксида алюминия с диаметром пор 0.02 мкм. Для определения частоты видимых инфицированных вирусами гетеротрофных бактерий и среднего количества зрелых фагов в инфицированных бактериях использовали метод трансмиссионной электронной микроскопии. Для

расчета доли всех инфицированных клеток бактерий от их общего количества, определения численности лизированных клеток бактерий, продукции вириопланктона, времени оборота численности вирусов использовали ряд общепринятых формул.

Основные результаты и выводы:

Численность вириопланктона в воде исследованных районов Карского моря в 2011 г. колебалась от 100 тыс. частиц/мл до 6 млн частиц/мл, составляя в среднем 860 тыс. частиц/мл. В 2009 г. в самом прибрежье численность вириопланктона иногда доходила до 25 млн частиц/мл, составляя в среднем 11.5 млн частиц/мл (рис. 2). Наиболее

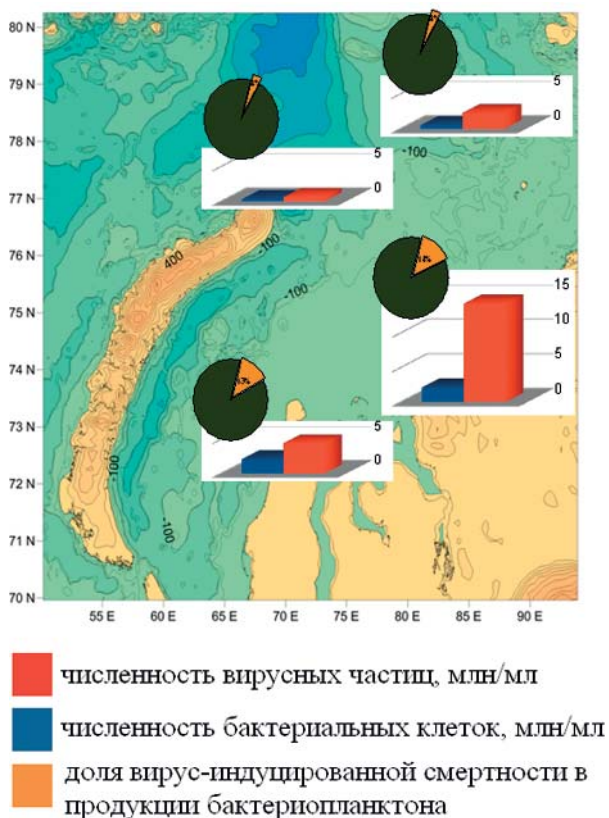


Рис. 2. Численность вирусных частиц, бактериальных клеток и доля вирус-индуцированной смертности в продукции бактериопланктона

высокие величины численности вириопланктона были обнаружены в поверхностных слоях, наименьшие – на глубинах 150–250 м. Судя по более обширному материалу 2011 г., отношение численности вирусов к численности бактерий менялось от 1.4 до 29.1, составляя в среднем около 7. Доля всех зараженных вирусами бактерий в общей численности бактериопланктона колебалась в пределах 1.4–12.7% (в среднем 4.1%). Зараженность вирусами бактерий в мелководной зоне Карского моря была выше, чем в его глубоководных районах. В Карском море между численностью вириопланктона и численностью бактериопланктон обнаружена высокая положительная корреляция ($R = 0.87, p = 0.05$).

Кроме свободных вирусных частиц, значительное количество вирусов было прикреплено к клеткам бактерий или находилось внутри них (рис. 3).

В целом, в исследованные осенние периоды 2009 и 2011 г., вирусы-бактериофаги играли относительно небольшую роль в контроле над суммарной численностью и продукцией гетеротрофного бактериопланктона. Средняя величина вирус-индуцированной смертности составляла 4–14% продукции всего гетеротрофного бактериопланктона (рис. 2). С учетом численности бактерий с активной электрон-транспортной цепью, а также с учетом того, что вирусы поражают, главным образом, активных бактерий, вирус-индуцированная смертность может составлять до 40% продукции бактериопланктона.

Обработка материала выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ №14-04-00130а, 14-05-00028а. Экспедиционные работы и сбор материала выполнен при финансовой поддержке проекта РНФ № 14-17-00681.

Литература

1. Копылов А.И., Косолапов Д.Б., Заботкина Е.А. и др. Планктонные вирусы, гетеротрофные бактерии и нанофлагелляты в пресных и морских прибрежных водах бассейна Карского моря (Арктика) // Биология внутренних вод. 2012. № 3. С. 15–24.

2. Копылов А.И., Сажин А.Ф., Заботкина Е.А., Романова Н.Д. Вириопланктон Карского моря: влияние вирусов на смертность гетеротрофных бактерий // Океанология. 2015 (в печати).

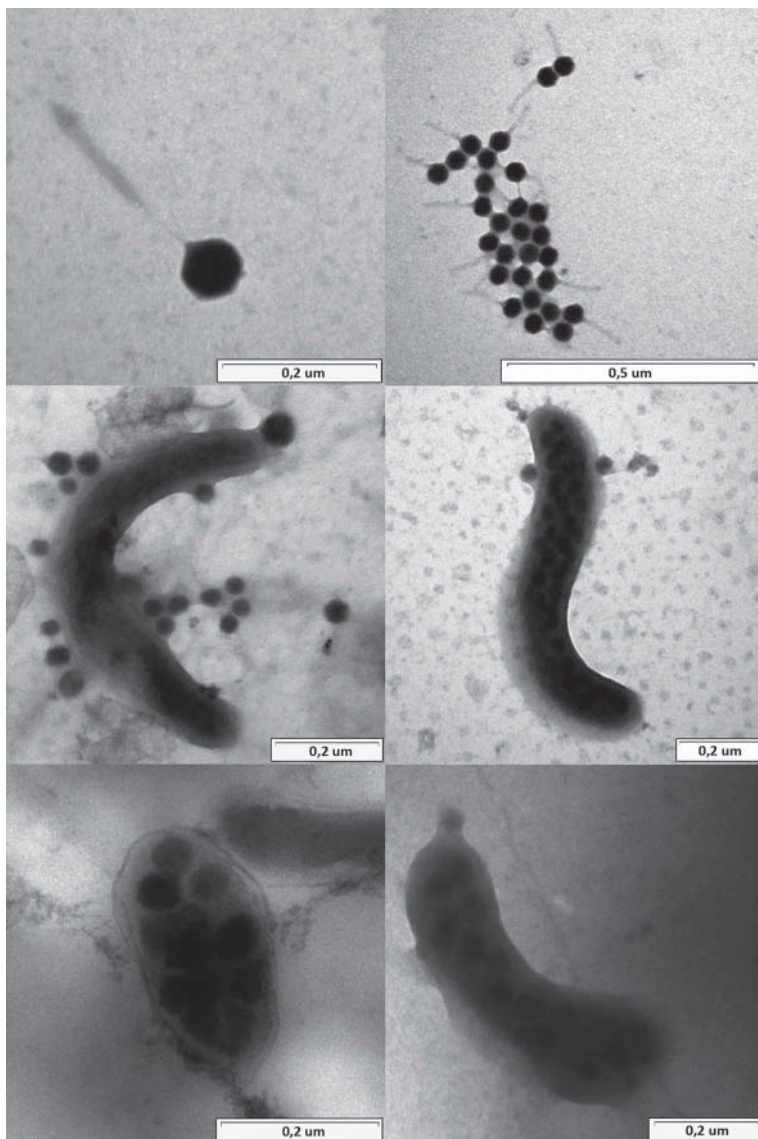


Рис. 3. Жизненные формы вирусов
Верхний ряд: Свободноживущие вирусы. Средний ряд: Вирусы на бактериях.
Нижний ряд: Вирусы внутри бактерий

МЕЗОПЛАНКТОН ОБЛАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА В КАРСКОМ МОРЕ

Флинт М.В., Поярко С.Г., Соловьев К.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
e-mail: m_flint@orc.ru*

Склоновым районам океана свойственна высокая пространственная гетерогенность пелагической среды, существенно влияющая на состав, количественные параметры, трофические характеристики и продуктивность планктонных сообществ [3, 6]. Перечисленные свойства чаще всего проявляются на малых пространственных масштабах – 10–20 км и менее, но при этом имеют огромное влияние на функционирование морских пелагических экосистем.

Планктонные сообщества в области континентального склона в желобе Св. Анны на севере Карского моря практически не исследованы. По имеющимся данным западный отрог желоба Св. Анны является областью интенсивного поступления в Карский бассейн с севера модифицированных атлантических вод [7]. Какова роль склоновых гидрофизических процессов в желобе Св. Анны во взаимодействии экосистем арктического шельфа и глубокого бассейна, насколько резко выражена граница между мезопланктонными сообществами шельфа и глубоководных районов – эти вопросы до настоящего времени также не ясны. Нет сведений и о том, влияют ли процессы, ассоциированные с континентальным склоном, на биологическую продуктивность.

Район исследований, где собран материал для настоящей работы, включал в себя область континентального склона и прилежащие шельфовые и глубоководные области в западном отроге желоба Св. Анны на севере Карского моря (рис. 1). Планктонные пробы и сопутствующие гидрофизические данные были получены в сентябре 2007 и 2011 гг. Глубины в районе работ варьировали от 120–140 м на внешнем шельфе до 510–545 м в глубоководной части желоба.

Полученные материалы дают уникальную для бассейна возможность оценить межгодовую изменчивость структуры мезопланктонных сообществ в контексте климатических изменений: 2007 г. был одним из самых теплых за последнюю декаду, климатические условия 2011 г. можно характеризовать как средние для последнего десятилетия [5]. Суммарная биомасса мезопланктона в столбе воды на внешнем шель-

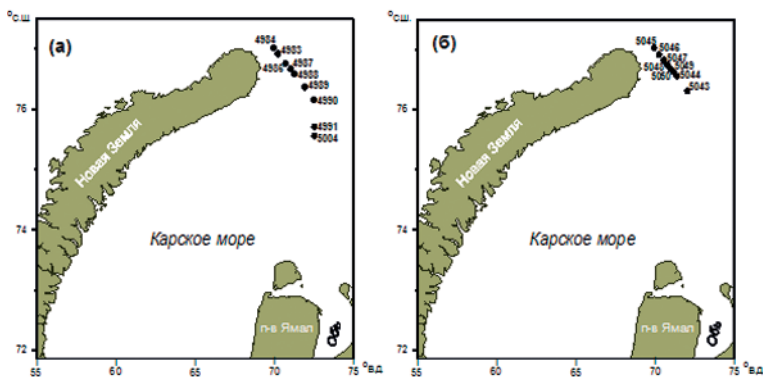


Рис. 1. Схема положения разрезов и станций в 2007 г. (а) и 2011 г. (б)

фе, в области склона и прилежащих глубоководных районах желоба Св. Анны в теплое 2007 г. была, выше, чем в 2011 г. Средние значения биомассы для этих биотопов в 2007 г. составляли, соответственно, 21.3, 110.1 и 145.7 г/м², в 2011 г. – 5.3, 51.7 и 103.2 г/м²; в верхнем 100-м слое соответствующие цифры составляли в 2007 г. 160, 457 и 324 мг/м³, в 2011 г. – 39, 373 и 227 мг/м³. Состав мезопланктона в целом, а также группы видов и форм, дающих в исследованном районе Карского моря основной вклад в биомассу, в годы с различающимися климатическими условиями практически не различались, в список доминирующих форм входили *Calanus glacialis*, *C. finmarchicus*, *C. hyperboreus*, *Pseudocalanus* sp., *Metridia longa*, хетогнаты *Eukrohnia hamata* и *Parasagitta elegans*, аппендикулярия *Oikopleura vanhoffeni* и крылоногий моллюск *Limacina helicina*.

Распределение температуры и солености в районе склона желоба Св. Анны говорит о существовании здесь хорошо выраженной фронтальной зоны. Основой этой фронтальной зоны служит контурное склоновое течение, охватывающее всю толщу вод, ядро которого в 2007 и в 2011 гг. наблюдалось в слое 0–100 м (рис. 2) [2]. Величины горизонтальных градиентов поверхностной температуры и солености в области склона составляли 0.1°C/км и 0.37–0.61 psu/км. Непрерывная регистрация гидрофизических параметров поверхностного слоя моря в 2011 г. показала, что во фронтальной зоне над склоном градиенты достигали для температуры 0.25–0.67°C/км и для солености – 1.6–4.7 psu/км, что говорит о наличии в этой области жестких фронтальных границ. Во фронтальной зоне отмечены увеличение первичной продукции до вели-

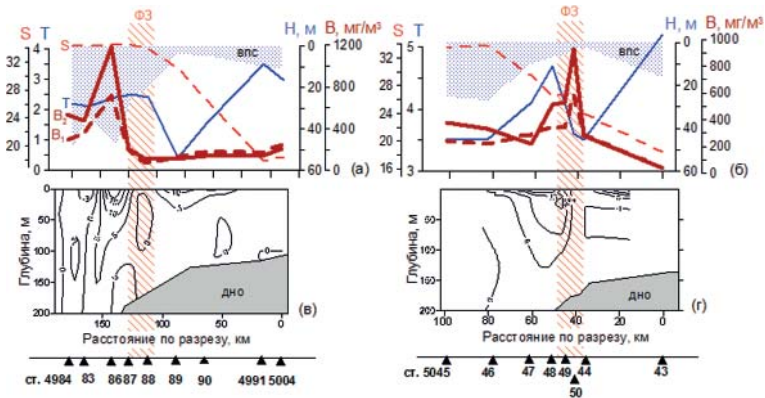


Рис. 2. Распределение средней биомассы мезопланктона (B , $\text{мг}/\text{м}^3$) в слоях 0–100 м (B_1), 0–50 м (B_2), поверхностной температуры ($T^\circ\text{C}$), поверхностной солёности (S , psu), изменение глубины верхнего перемешанного слоя (H , впс) на разрезах 2007 г. (а) и 2011 г. (б); направление и скорости течений в период отбора мезопланктона в 2007 г. (в) и 2011 г. (г). ФЗ – положение фронтальной зоны

чин $9 \text{ мг}/\text{C}/\text{м}^3$ (фон $2\text{--}4 \text{ мг}/\text{C}/\text{м}^3$) и максимум концентрации пигментов фитопланктона (рис. 3). Ширина склоновой фронтальной зоны составляла 10–15 км, и она была локализована над верхней частью склона.

Склоновая фронтальная зона существенно влияет на структуру сообществ мезозоопланктона. Она является хорошо выраженной границей между шельфовым и глубоководным пелагическими биотопами, существенно различающимися по свойствам. Фронтальная зона разделяет населяющие эти биотопы мезопланктонные сообщества, кардинально отличающимися по составу и биомассе. Все это позволяет считать ее важной экосистемной границей.

Увеличение биомассы мезопланктона, ассоциированное со склоновой фронтальной зоной, связано либо непосредственно с областью фронтальной зоны, либо с районом над внешней частью склона, непосредственно прилежащим к фронтальной зоне с северной стороны (рис. 2). Возрастание биомассы над склоном наиболее выражено в слоях выше 100 м (рис. 2а, 2б, 4а). Именно к верхним слоям водной толщи приурочен стрежень контурного течения и здесь проявляются ассоциированные с этим течением фронтальные процессы (рис. 2). Данные 2011 г. демонстрируют четкое совпадение максимумов биомассы мезопланктона в слоях 0–100 м и 0–50 м с областью склоновой фронтальной зоны (рис. 4а, 4б). Биомасса в области фронтального максимума в верхних 50 м водной

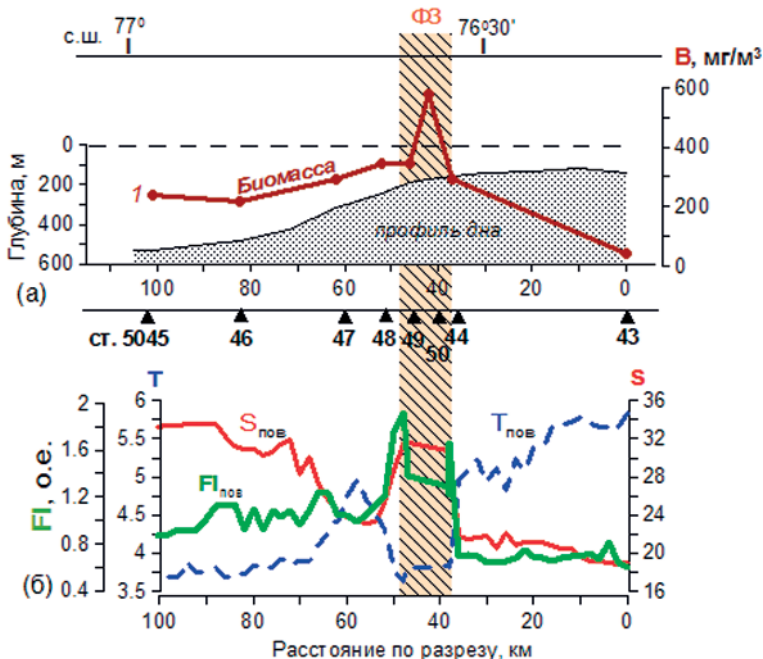


Рис. 3. Распределение средней биомассы мезопланктона (B , mg/m^3) в слое 0–50 м (1) в области внешнего шельфа, склона и прилежащих глубоководных районах западного отрога желоба Св. Анны в 2011 г. – а; распределение температуры ($T^{\circ}\text{C}$), солёности (S , psu) и флуоресценции хлорофилла (FI , усл. ед.) в поверхностном слое во время отбора мезопланктона – б. $ФЗ$ – положение фронтальной зоны

толщи достигала рекордных для Карского моря величин – в среднем 1210 mg/m^3 в 2007 г. и 972 mg/m^3 в 2011 г. (рис. 2а, 4а), что на порядок и более выше, чем оценки, известные для шельфа и глубоководных районов [4].

Наиболее выраженное увеличение биомассы над склоном характерно для популяций видов, активно функционирующих в верхних слоях моря. Наиболее яркий пример птеропода *Limacina helicina* (рис. 3). Этот вид формировал до 50–80% суммарной биомассы мезопланктона в 2007 г. и до 70–90% в 2011 г. Его биомасса в склоновом максимуме достигала 22 g/m^2 (440 mg/m^3) в 2007 г., а в 2011 г. – 37 g/m^2 (0.740 mg/m^3). Высокая биомасса *Limacina helicina*, *Pseudocalanus* sp. и *Oithona* sp. в области склоновой фронтальной зоны определяла высокий уровень по-

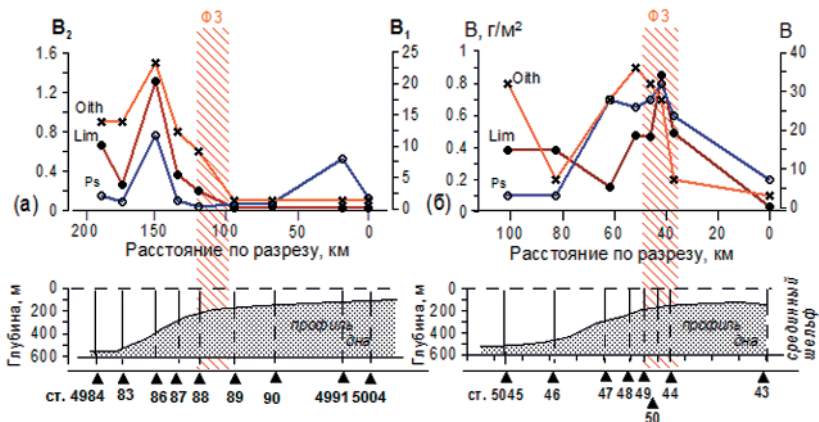


Рис. 4. Распределение биомассы (B , $г/м^2$) массовых видов мезопланктона в слое 0–50 м в 2007 г. (а) и 2011 г. (б).

Ps – *Pseudocalanus* sp., *Oith* – *Oithona* sp., *Lim* – *Limacina helicina*
 ФЗ – положение фронтальной зоны

требления биомассы и продукции фитопланктона зоопланктоном – он достигал 8 и 230%, соответственно [1]. При этом выедание наличной биомассы фитопланктона на внешнем шельфе составляло всего 0.1%, первичной продукции – 2%, в глубоководных районах – 2.5 и 20%, соответственно.

Очевидно, что склоновая фронтальная зона в западном отроге желоба Св. Анны является областью повышенной продуктивности, концентрации мезопланктона и интенсивных трофических взаимодействий на базовых трофических уровнях пелагической экосистемы. Превышение этих характеристик над фоновыми во фронтальной зоне существенно и может достигать порядка величин. Безусловно, склоновая фронтальная зона в западном отроге желоба Св. Анны является «горячей точкой» экосистемы и полная оценка ее значения станет ясна с получением данных по наиболее биологически активному в высоких широтах весенне-летнему сезону.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов Российского научного фонда №14-50-00095 (обработка гидрофизических данных и общая трактовка материалов) и №14-17-00681 (обработка планктонных проб и данных по мезопланктону).

Литература

1. Дриц А.В., Арашкевич Е.Г., Никишина А.Б. и др. Роль массовых видов мезопланктона в выедании фитопланктона в северных районах Карского моря в осенний сезон // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 4.
2. Зацепин А.Г., Поляков С.Г., Кременецкий В.В. и др. Гидрофизические характеристики глубоководных желобов западной части Карского моря // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 4.
3. Flint M.V., Sukhanova I.A., Kopylov A.I. et al. Plankton distribution associated with frontal zones in the vicinity of the Pribilof Islands // *Deep-Sea Res. II*. 2002. V. 49. № 26. PP. 6069–6093.
4. Hirche H.J., Kosobokova K.N., Gaye-Haake B. et al. Structure and function of contemporary food webs on Arctic shelves: A panarctic comparison. The pelagic system of the Kara Sea – Communities and components of carbon flow // *Progress in Oceanogr.* 2006. V. 71. PP. 288–313.
5. Springer A.M., McRoy C.P., Flint M.V. The Bering Sea Green Belt: shelf edge processes and ecosystem production // *Fisheries Oceanography*. 1996. V. 5. № 3/4. P. 205–223.
6. Volkov V.A., Johannessen O.M., Borodachev V.E. et al. Polar seas oceanography: An integrated study of the Kara Sea. Berlin: Springer, 2002. 450 p.

РОЛЬ МАССОВЫХ ВИДОВ ЗООПЛАНКТОНА В ФОРМИРОВАНИИ ПЕЛАГИЧЕСКОГО «БИОФИЛЬТРА» В ЭСТУАРИЯХ ЕНИСЕЯ И ОБИ

***Дриц А.В., Арашкевич Е.Г., Никишина А.Б., Пастернак А.Ф.,
Семенова Т.Н., Сергеева В.М., Флинт М.В.***

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Процессы взаимодействия суши и моря в Арктике в самом концентрированном виде выражены в эстуариях крупных рек [3, 4, 5]. В этих областях на границе река–моря происходит основная трансформация гигантского объема поступающего с континентальным стоком растворенного и взвешенного вещества, которая во многом обеспечивается разными компонентами биоты, существенная роль среди которых принадлежит зоопланктонному сообществу. Известно, что массовые виды зоопланктона формируют мощные скопления, биомасса в которых на порядок и более превосходит фоновые значения [2, 4]. Такие скопления могут функционировать как естественные пелагические «биофильтры» на пути выносимого речным стоком аллохтонного материала. Цель на-

стоящей работы – количественно оценить роль массовых видов зоопланктона в утилизации и биоседиментации первичного органического вещества в эстуариях р. Енисей и р. Обь.

Материал был собран на 11 станциях разреза в эстуарии р. Енисей и прилегающих районов шельфа (59 рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш») и на разрезе из 16 станций, выполненном вдоль эстуария р. Обь (125-м рейсе НИС «Профессор Штокман») в сентябре 2011 и 2013 гг. (рис. 1).

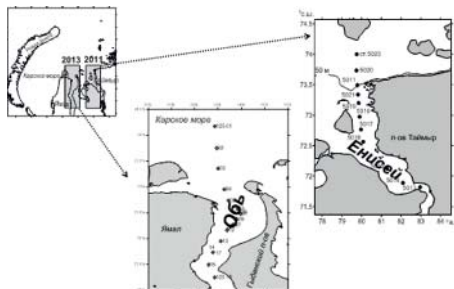


Рис. 1. Карты районов исследований и расположение станций на разрезах в эстуариях р. Енисей (2011 г.) и Обь (2013 г.)

Интенсивность питания зоопланктона оценивали флуоресцентным методом по содержанию фитопигментов (*Chl-a* и феопигментов) в кишечнике и времени переваривания пищи [1]. Суточное потребление *Chl-a* (I , нг *Chl-a*/экз. сутки) рассчитывали как $I = G \cdot t / T$, где t – время питания. Общее потребление биомассы автотрофного фитопланктона популяциями исследованных видов мезозоопланктона (E_{Chl-a} , мг *Chl-a*/м² сутки) рассчитывали по формуле $E_{Chl-a} = \sum I_i \cdot N_i$, где N_i – численность i вида в слое (экз/м²).

Полученные результаты показали, что:

1. В эстуарных областях Оби и Енисея максимумы обилия зоопланктона ассоциированы с фронтальным разделом между областью пресных вод и областью смешения морских и речных вод (эстуарная фронтальная зона). Биомасса зоопланктона в эстуарии Оби (100–2644 мг/м³) существенно выше, чем в эстуарии Енисея (34–224 мг/м³).

2. У разных видов зоопланктона изменения активности питания в зависимости от времени суток проявляется по-разному: для одних видов (*Cyclops sp.*, *Senecella siberica*, *Drepanopus bungii*) активность питания как в темное, так и в светлое время суток практически одинакова; у других (*Calanus glacialis*, *Jashnovia tolli*) – активность питания ночью достоверно выше, чем днем; у третьих (*Limnocalanus macrurus*, *Pseudocalanus sp.*) степень выраженности суточной динамики активности питания определяется трофическими условиями.

3. Зональность эстуарных областей определяет интенсивность потребления новосинтезированного органического вещества растительно-животным зоопланктоном (рис. 2). В богатой фитопланктоном зоне пресных вод выедание фитопланктона зоопланктоном составляет 2–10%, большая часть органики, по-видимому, оседает на дно в нетрансформированном виде. В зоне смешения морских и речных вод роль мезозоопланктона в утилизации первичного органического вещества возрастает до 7–18%. Максимальные величины приурочены к фронтальным разделам на границе пресных вод и эстуарной фронтальной зоны: по нашим оценкам вся наличная биомасса фитопланктона в этих районах может быть съедена за несколько суток. На прилегающем к эстуарной области внутреннем шельфе уровень выедания снижается до 1–2% биомассы фитопланктона. Вклад массовых видов зоопланктона в вертикальный поток органического углерода в эстуарии р. Обь (16–316 мгС/м² сут) заметно выше, чем в эстуарии р. Енисей (4.7–12.8 мгС/м² сут).

4. В разных зонах комплексы видов мезозоопланктона, определяющие процессы преобразования новосинтезированного органического углерода различаются. Основными потребителями фитопланктона в зоне пресных вод являются представители пресноводного комплекса видов, а также солоноватоводные копеподы *Limnocalanus macrurus*, *Senecella siberica* и мизиды. В эстуарной фронтальной зоне 2–3 доминирующих вида зоопланктона определяют выедание фитопланктона: в енисейской эстуарии – это морские копеподы *Calanus glacialis* и *Pseudocalanus sp.*, в обском – солоноватоводные копеподы *L. macrurus*, *S.*

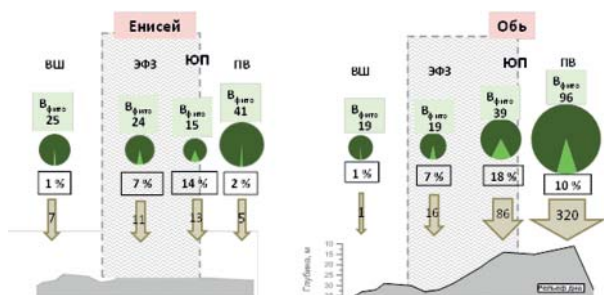


Рис. 2. Суточное выедание биомассы фитопланктона зоопланктоном (%) и потоки $C_{орз}$ (мгС/м² сут, обозначено стрелками) в эстуариях р. Енисей (2011) и Обь (2013). $V_{фит}$ – биомасса фитопланктона, мг Chl-а/м³; **вШ** – внутренний шельф, **ЭФЗ** – эстуарная фронтальная зона, **ЮП** – южная периферия эстуарной фронтальной зоны, **ПВ** – пресные воды

siberica, *Drepanopus bungii*. На прилегающем внутреннем шельфе главная роль в потреблении фитопланктона принадлежит морским копеподам *Pseudocalanus* sp. и *C. glacialis*.

Литература

1. Арашкевич Е.Г., Флинт М.В., Никишина А.Б. и др. Роль зоопланктона в трансформации органического вещества в обском эстуарии, шельфовых и глубоководных районах Карского моря // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 823–836.
2. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Лебедева Л.П. и др. Мезопланктон восточной части Карского моря и эстуариев Оби и Енисея // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 716–723.
3. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
4. Флинт М.В., Семенова Т.Н., Арашкевич Е.Г. и др. Структура планктонного сообщества в области эстуарного фронта Оби // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 809–822.
5. Siberian river run-off in the Kara Sea. Proceedings in Marine Science, 6 / Eds. Stein R. et al. Amsterdam: Elsevier Science B.V. 2003. P. 488.

СТРУКТУРА И ЭКОЛОГИЯ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ КАРСКОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Кособокова К.Н.¹, Хирхе Ханс-Юрген²

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

²*Институт Морских и Полярных исследований им. Альфреда Вегенера,
Бремерхафен, Германия*

Задачей настоящего исследования явилось изучение структуры и репродуктивной активности зоопланктона Карского моря в зимний период по материалам, собранным в апреле 2001 и феврале 2002 г. в четырех районах моря, различающихся по интенсивности притока речных вод, степени распреснения и топографии дна. Как показали исследования в безледный период [3, 6], эти районы Карского моря населены планктонными сообществами разной зоогеографической природы, формирование которых происходит в значительной степени под влиянием речного стока и притока вод из соседних акваторий. Собранный зимний материал позволил оценить сезонные изменения в структуре этих сообществ и исследовать особенности зимней биологии входящих в их состав планктонных животных.

Сборы зоопланктона осуществлялись сетью Джели-37 с ячеей 168 микрон totally от поверхности до дна. Станции располагались в эстуарии р. Енисей, прилежащих к нему прибрежных районах, в открытой юго-западной и северо-восточной частях моря (рис. 1а). Сбор сетного материала осуществлялся в типично зимних гидрологических условиях, при сплошном ледовом покрове и отрицательной температуре воды. В дополнение к сетному материалу в работе были использованы пробы из седиментационных ловушек, установленных в эстуарии р. Енисей и в открытом море (рис. 1а), и функционировавших с сентября 2001 по август 2002 г. и с октября 2002 по май 2003 г. Для характеристики особенностей зимнего зоопланктона по сравнению с «летним» были использованы материалы, полученные в тех же районах в Российско-Германских экспедициях в Карское море в безледный период в 1997–2001 гг. [6].

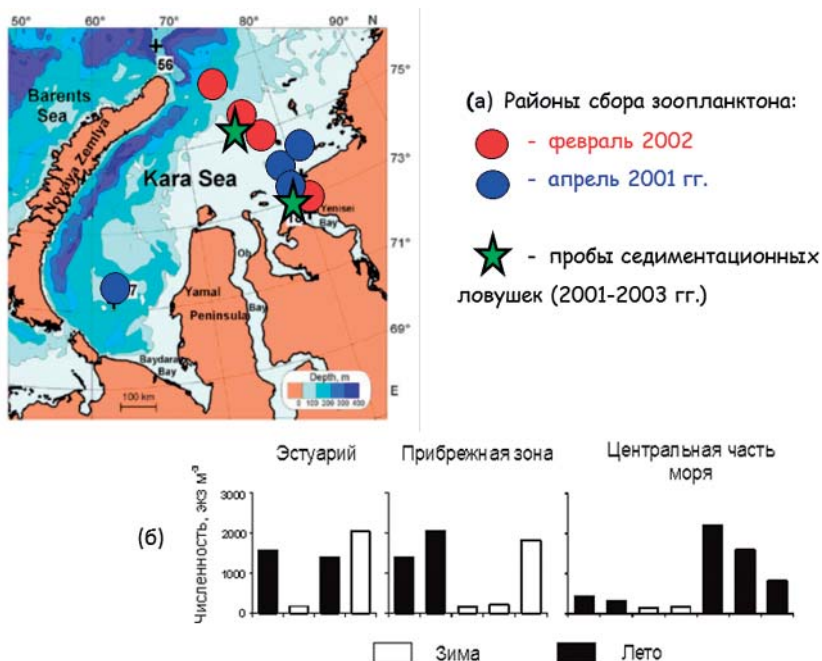


Рис. 1. Районы сбора сетных проб зоопланктона зимой 2001 (апрель) и 2002 г. (февраль) и постановки седиментационных ловушек (а) и различия в численности зоопланктона летом и зимой в эстуарной (р. Енисей), прибрежной зоне и центральной части Карского моря (б)

Проведенные исследования показали, что зимой в структуре планктонных сообществ четырех обследованных районов, как и в летний период, наблюдаются существенные отличия. Наиболее яркими среди них является доминирование эндемичных арктических солоноватоводных видов в эстуарной и прибрежной зоне и арктических морских – в открытом море. Важным отличием, однако, явилось полное отсутствие в зимних сообществах эстуарной зоны пресноводных видов. В целом видовой состав зоопланктона во всех обследованных районах оказался зимой беднее, чем летом, причем наиболее явно это обеднение проявилось в эстуарии р. Енисей из-за выпадения пресноводных видов.

Биомасса и численность зоопланктона в открытом море и прибрежных районах Карского моря зимой была ниже, чем в безледный период, но различия между станциями в пределах одного района были незначительны (рис. 16). В эстуарии зимой численность зоопланктона мало отличалась от летней из-за массового присутствия науплиусов копепоидов, но биомасса была ниже, чем летом.

Интересным наблюдением и важным результатом является обнаружение высокой репродуктивной активности двух видов солоноватоводных копепоидов *Drepanopus bungei* и *Pseudocalanus major* (рис. 2), доминировавших в эстуарии р. Енисей в феврале по численности. Самки и того, и другого вида либо несли яйцевые мешки, либо имели зрелые гонады. Кишечники этих всеядных рачков были заполнены темной массой, предположительно в связи с их питанием детритом, обильно присутствовавшим в водной толще. В планктоне также массово присутствовали науплиусы этих видов.

В открытом море в апреле, несмотря на отсутствие ледовых водорослей и фитопланктона, начался нерест традиционно считающихся растительноядными морских копепоидов *Calanus glacialis* и *Pseudocalanus minutus/acuspes*. Отдельные самки этих видов начали нерест с низкой интенсивностью еще задолго до распада ледового покрова. Помимо перечисленного, в планктоне присутствовали зрелые самки или ранние стадии развития копепоидов *Limnocalanus macrurus*, *Oithona similis*, *Paraeuchaeta glacialis*, *Microcalanus pygmaeus*, птеропод *Limacina helicina*, гидромедуза *Aeginopsis laurentii*, *Plotocnide borealis*. Были также отмечены меропланктонные личинки полихет, голожаберных и двусторчатых моллюсков, присутствие которых указывало на нерест ряда бентосных организмов зимой за счет накопленных ранее резервов.

Полученные результаты показывают, что:



Самки	Экз. м ⁻²	%	Экз. м ⁻²	%
Крупные ооциты в яичниках	480	42	100	38
Развивающиеся ооциты в яичниках	60	6	40	16
Самки с яйцевыми мешками	60	5	60	21
Остатки яйцевого мешка	70	6		
Самки с прикрепленным сперматофором	140	12		
Всего, экз. м ⁻²	1140		270	
Число яиц, экз. м ⁻²			3560	
Число яиц, экз. м ⁻³			181	

Drepanopus bungei >50%
Pseudocalanus major >75%

Рис. 2. Репродуктивные показатели двух солоноватоводных копепоид, *Drepanopus bungei* и *Pseudocalanus major*, в эстуарии р. Енисей в феврале 2002 г. В популяции *D. bungei* около 50%, а в популяции *P. major* – 75% всех самок нерестились или были готовы к откладке яиц

1) структура планктонных сообществ Карского моря на исследованных акваториях, в летний период определяемая главным образом градиентом солености, сохраняется и зимой, однако разнообразие фауны снижается, что наиболее выражено в сообществах эстуарной зоны;

2) для зимнего периода характерно снижение численности и биомассы зоопланктона, однако в разных сообществах эти изменения выражены в разной степени;

3) зимний период в Карском море, как и в других арктических морях, не является периодом полной «спячки» зоопланктона; виды с разными трофическими предпочтениями проявляют репродуктивную активность, используя либо накопленные ранее резервы, либо, как в случае с всеядным и хищным зоопланктоном, доступные в зимнее время источники пищи;

4) эстуарии крупных рек и прилежащие к ним прибрежные районы Карского моря населены уникальными сообществами, характерной чер-

той которых является зимнее размножение преобладающих в них эндемичных арктических солоноватоводных видов с оппортунистическим характером питания;

5) размах сезонных колебаний биомассы зоопланктона от лета к зиме в Карском море уже, чем в других арктических районах за счет размножения солоноватоводных видов в прибрежье и демпфирующей роли крупных долгоживущих холодноводных видов в открытых районах моря.

Данные, полученные нами в зимний период в Карском море, хорошо согласуются с результатами недавних зимних исследований в других арктических морях [1, 2, 4, 5]. Их результаты показывают, что планктонные сообщества арктических морей в большей степени, чем обычно считается, могут быть готовы к использованию ранних вспышек фитопланктона, ожидаемых в связи с возможным более ранним освобождением арктических морей ото льда.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФ 14-17-00681 и гранта РФФИ 13-04-00551.

Литература

1. Кособокова К.Н., Перцова Н.М. Зоопланктон глубоководной части Белого моря в конце гидрологической зимы. *Океанология*. 2005. Т. 45. В. 6. С. 866–878.

2. Кособокова К.Н., Ратькова Т.Н., Сажин А.Ф. Ранне-весенний зоопланктон подо льдом губы Чупа, Белое море, 2002. *Океанология*. 2003. Т. 43. № 5. С. 775–784.

3. Флинт М.В., Семенова Т.Н., Арашкевич Е.Г., Суханова И.Н., Гагарин В.И., Кременецкий В.В., Пивоваров М.А., Соловьев К.А. Структура зоопланктонных сообществ в области эстуарной фронтальной зоны реки Обь // *Океанология*. 2010. Т. 50. В. 5. С. 809–822.

4. Błachowiak-Samołyk, K., Wiktor, J., Hegseth, E., Wold, A., Falk-Petersen, S., Kubiszyn, A. Winter Tales: the dark side of planktonic life. 2015. *Polar Biol.* **38**. PP. 23–36. DOI:10.1007/s00300-014-1597-4.

5. Hirche, H.J. and Kosobokova, K.N. 2011. Winter studies on zooplankton in Arctic seas: the Storfjord (Svalbard) and adjacent ice-covered Barents Sea. *Mar. Biol.*, **158**, 2359-2376.

6. Hirche, H.J., Kosobokova, K.N., Gaye-Haake, B., Harms, I., Meon, B., Nöthig, E. M. Structure and function of contemporary food webs on Arctic shelves: A panarctic comparison: The pelagic system of the Kara Sea – Communities and components of carbon flow. *Prog. Oceanogr.*, 71, 2006. 288-31.

РОЛЬ ЗООПЛАНКТОНА В СЕДИМЕНТАЦИИ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА НА ПРИМЕРЕ ЗАЛИВА БЛАГОПОЛУЧИЯ (НОВАЯ ЗЕМЛЯ)

*Никишина А.Б., Дара О.М., Дриц А.В., Гордеев В.В., Сергеева В.М.,
Соловьев К.А., Ступникова А.Н.*

Зоопланктон как массовый потребитель органической взвеси играет ключевую роль в процессах биоседиментации. Помимо потребления органической части взвешенного вещества планктонные животные участвуют и в потреблении минеральной взвеси. Фильтруя многокомпонентную морскую взвесь, зоопланктон выполняет, кроме собственно питания, функцию концентрирования минеральных частиц и упаковки их в оболочку из пеллициля с последующей транспортировкой в виде пеллет. Этому аспекту посвящено большое число публикаций зарубежных и отечественных исследователей [1, 2, 5]. Однако, дальнейшее изучение роли зоопланктона в седиментации взвеси, применение приборов нового поколения позволяют углубить понимание этого уникального природного явления.

Наше исследование посвящено особенностям питания копепод рода *Calanus* в заливе Благополучия. Материал был собран в 125-м рейсе НИС «Профессор Штокман» на станциях 125-41, 125-42 и 125-44 в центре залива Благополучия 14-15 сентября 2015 года. Пробы зоопланктона собирали сетью Джеди, размер ячеей 180 μ тотальными ловами. Содержание пигментов в желудках копепод определяли флуоресцентным методом. Для этого животных наркотизировали с помощью CO₂, затем под бинокляром отбирали отдельные виды и отдельные стадии животных в 90% ацетон на 20 часов, затем, на флуориметре измеряли флуоресценцию полученного экстракта. Для оценки содержания взвешенного органического вещества и общей взвеси в желудках и фекальных пеллетах копепод использовалось соотношение $C_{\text{орг}}/\text{Хл-}a$, ВВ/Хл. Для определения состава фекальных пеллет животных с пищей в желудках отбирали в стакан с фильтрованной водой и оставляли на полчаса в термокамере. Затем неповрежденные фекальные пеллеты собирали со дна стакана и просматривали под микроскопом. Некоторая часть пеллет была заморожена и использована для рентгенографического фазового анализа. Этот анализ был выполнен в ИОРАН на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker AXS), Cu-K α , с Ni 0.02-фильтром, 40 kV, 40 mA, с линейным детектором LYNXEYE. Сканирование в дискрет-

ном режиме с шагом 0.02, экспозицией 8 секунд/шаг в интервале 2.5–70 °2 θ , с вращением. Для первичной обработки, расшифровки спектров и расчета использована программа DIFFRAC.EVA. Для количественного анализа использовались корундовые числа из базы данных ICDD. Для изучения пеллет была использована низкофоновая кювета изготовленная из монокристалла кремния. Скорость потока фекальных пеллет измеряли экспериментально. Для этого полученные вышеуказанным образом свежие неповрежденные пеллеты пипеткой по одной помещали в стеклянный цилиндр, наполненный заборной водой, при этом не придавая ускорение пеллете. Размер пеллет предварительно определяли под бинокляром. Затем с секундомером отмечали скорость опускания фекальной пеллеты.

Залив Благополучия является самым северным заливом Новой Земли. Температура воды в период исследований составляла от 2°C на поверхности до –1°C в глубоких слоях. Концентрация хлорофилла достигала максимума на глубине 10 м и составляла 0.3 мкг/л. Общая биомасса фитопланктона в столбе воды не превышала 10 мг Chl-*a*. Таким образом, в период наблюдений пища для растительноядного зоопланктона была немногочисленна. Биомасса зоопланктона составляла 27 г в сыром весе, при этом 25 г приходилось на разные стадии видов рода *Calanus*. К сожалению, определение видов этого рода для копепоидитных стадий затруднено. Согласно таксономическому анализу по результатам обработки проб 80% численности всех калянусов приходилось на *C. glacialis*, и в дальнейшем мы будем рассматривать питание именно этого вида.

При рассмотрении фекальных пеллет *C. glacialis* под микроскопом были обнаружены неорганические частицы (рис. 1). Рентгендифрактометрический анализ взвеси из разных горизонтов водной толщи показал следующее. Кристаллическая часть вещества состоит из трех основных компонентов. Преобладающей является группа литогенных обломочных минералов – кварц, полевые шпаты, минералы группы пироксенов (35–60%). Минералы группы глин, слоистые силикаты – хлорит, каолинит, иллит, мусковит – также вносят существенный вклад в состав минеральной взвеси (30–48%). Третьей группой являются карбонатные минералы (доломит, кальцит, арагонит – в сумме до 10%), вклад которых имеет подчиненное значение. В целом, подобный состав и количественные соотношения минералов, являются характерными для взвеси Карского моря (рис. 2А). Рентгендифрактометрический анализ минеральных частиц, упакован-

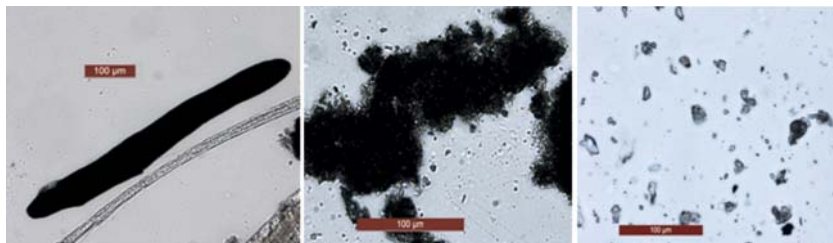


Рис. 1. Фекальные пеллеты *C. glacialis* под микроскопом, слева – целая, в центре и справа разбитые под стеклом

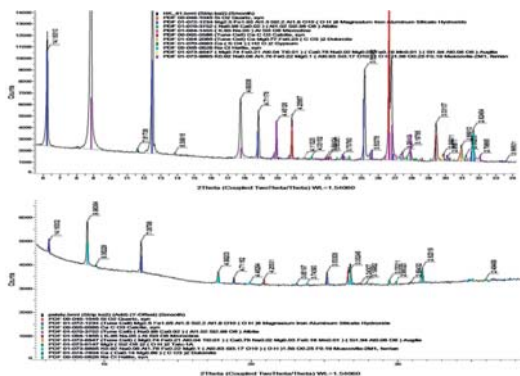


Рис. 2. Фрагмент дифрактограммы: А – образца взвеси Карского моря (залив Благополучия, гор. 55 м), Б – вещества пеллет *C. glacialis*

ных в фекальные пеллеты, показал, что состав их практически полностью идентичен минеральному составу водной взвеси (рис. 2Б). Однако, очевидно, что существует избирательность копепоид в потреблении минеральной взвеси с предпочтением тонкодисперсной фракции относительно более грубых частиц. Особенно заметно относительное уменьшение содержания кварца, как более устойчивого к механическому разрушению минерала, с 32% в морской взвеси до 15% в составе пеллет. По-видимому, это связано с большей приспособленностью фильтрационного аппарата рачков к потреблению частиц определенного размера в зависимости от их собственного размера [3].

Содержание пигментов в желудках копепоид было чрезвычайно низким (рис. 3А). Даже по сравнению с таким небогатым пищей районом Карского моря как желоб Воронина эти значения невелики. Зная время

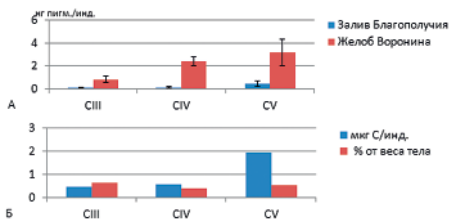


Рис. 3. Содержание фитопигментов в желудках (А) и суточный рацион (Б) копепоидных стадий *C. glacialis*

копепод в ключевой для популяции период – конец вегетационного сезона. При таких величинах рациона выживание популяции в зимний период представляется маловероятным. Тем не менее, популяция *C. glacialis* достаточно многочисленна в этом районе по данным многолетних наблюдений (неопубликованные данные Флинта М.В.) Поэтому мы предполагаем наличие других источников пищи, не учитываемых использованными методами. Одним из таких источников могут служить бактерии, обрастающие минеральные частицы. Такой механизм питания, например, описан для глубоководных рачков *Spinocalanus sp.* [4]. Однако для подтверждения этой гипотезы требуются дальнейшие исследования.

Используя соотношение общей взвеси и хлорофилла в воде, мы рассчитали суточное потребление не только органической, но и общей взвеси. Обобщая полученные данные по суточной активности потребления общей и органической взвеси с численностью копепод в исследованный период, нам удалось оценить вклад популяции *C. glacialis* в процессы седиментации общей взвеси и утилизации биомассы фитопланктона. Суточное выедание хлорофилла популяцией *C. glacialis* составило 0,5% (40 мкг Chl *a*/сутки) от общей биомассы хлорофилла в столбе воды; суточное потребление взвешенного вещества популяцией *C. glacialis* составило 123 мг ВВ/сутки.

Измеренная скорость потока фекальных пеллет составила 9 м/час. При максимальной глубине залива в 170 м, очевидно, что все потребленное зоопланктоном вещество осаждается в заливе менее чем за сутки. При этом еще раз подчеркнем, что это потребление относится преимущественно к тонкодисперсной взвеси, скорость седиментации которой очень низкая.

переваривания пищи копеподами и соотношение взвешенного органического углерода к хлорофиллу в воде, мы рассчитали суточные рационы разных стадий *C. glacialis*. Они также оказались чрезвычайно малы, составив менее 1% от массы тела в углеводе. Наши данные свидетельствуют о недостаточном питании

Наше исследование показало, что недостаток растительной пищи копепод, отражается на составе пеллет с увеличением количества минеральной составляющей в них. Следствием является сезонное увеличение скорости седиментации и образование биоседиментационного фильтра, который служит барьером для распространения мелкодисперсной взвеси в открытую часть акватории Карского моря.

Литература

1. *Лисицин А.П.* Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С.735–747.
2. *Пастернак А.Ф.* Эколого-физиологические основы жизненных циклов копепод высоких широт: Автореф. дис. докт. биол. наук. М., 2009.
3. *Mauchline J.* The biology of Calanoid copepods // Eds. Blaxter J.H.S. et al.: Academic Press, 1998.
4. *Kosobokova K., Hirche H.-J., Scherzinger T.* Feeding ecology of *Spinocalanus antarcticus*, a mesopelagic copepod with a looped gut // Marine Biology 2002. V. 141. P. 503–511.
5. *Pasternak A.F., Arashkevich E.G., Ratkova T.N. et al.* Seasonal variation in zooplankton and suspended fecal pellets in the Subarctic Norwegian Balsfjorden in 1996 // Sarsia. 2000. No 85. P. 439–532.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАССОВЫХ ВИДОВ РОДА *CALANUS* В КАРСКОМ МОРЕ

Абызова Г.А., Ступникова А.Н.

Копеподы рода *Calanus* формируют большую часть зоопланктона в Арктическом регионе, составляя 70–90% от общей биомассы. Они играют важнейшую роль в морских пищевых цепочках как основные потребители первичной продукции, в том числе, служат пищей для личинок промысловых видов рыб [13]. Несмотря на широкое распространение и экологическую роль рода в прибрежных и океанических планктонных сообществах, а так же высокий интерес к группе, систематические различия и взаимоотношения между видами до сих пор оставляют вопросы. В Карском море встречается три вида *Calanus*: *Calanus finmarchicus* (Gunnerus, 1770), *C. glacialis* Jaschnov, 1955, *C. hyperboreus* Kröyer, 1838 (рис. 1). Первый является холодноводным атлантическим видом с однолетним циклом развития [3, 6], однако имеет широкое распространение по южной части Арктики. Вторые два вида исключительно арктические с изменяющейся продолжительностью цикла в зависимости от условий

[3]. Распространение видов обычно связано с водными массами, происходящими из этих регионов, а Карское море находится под влиянием арктических вод и течений, берущих своё начало в Атлантическом океане, что сказывается на жизненных циклах, размерах и распространении видов.

Главным морфологическим признаком, служащим для разделения видов при рутинной обработке проб, является размер просомы. *C. hyperboreus* легко на всех стадиях копепоидов выделяется по более крупному размеру, длина просомы для CVI стадии составляет 4.0–8.0 мм, к тому же для старших особей выразительным признаком является наличие двух крупных шипов на конце торакального сегмента. Похожие между собой *C. glacialis* и *C. finmarchicus* тоже делятся по размеру просомы [4], однако в различных регионах Арктики для них описано перекрывание размеров, 2,8–4,0 мм и 2,0–3,0 мм соответственно [4,

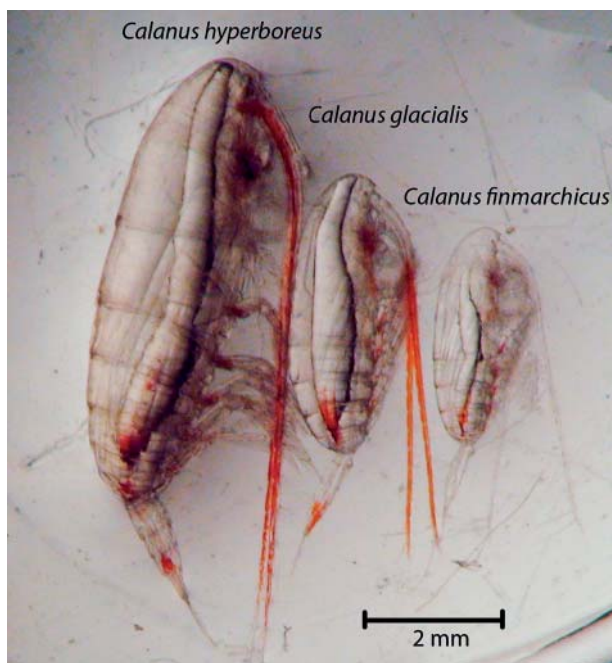


Рис. 1. Представители рода *Calanus*: *Calanus finmarchicus*, *Calanus glacialis*, *Calanus hyperboreus*

5, 8, 7]. Для старших стадий CV-CVI для видовой идентификации возможно использование строения пятой пары ног, для которых отмечено различие в соотношении размеров сегментов, формы изгиба между базиподитами и количеству уросомальных пор [6]. Но эти признаки можно обнаружить только под микроскопом и при достаточном опыте [8], поэтому при стандартной обработке проб используется размер просом.

Морфологическое сходство и перекрытие ареалов обитания затрудняет определение видов, особенно на младших стадиях [11]. Описано хорошее расхождение в структуре митохондриального фрагмента 16S рДНК для *C. glacialis* и *C. finmarchicus* [1, 2, 8]. Метод позволяет провести анализ выборки без секвенирования ДНК, используя рестрикцию для нахождения различий в строении гена между видами, анализируя только длины фрагментов на электрофорезе.

Материал был собран в трех экспедициях в Карское море: 59 рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» 2011г, 125 рейс НИС «Профессор Штокман» 2013 г., 128 рейс НИС «Профессор Штокман» 2014 г. Особи отбирались с разных станций, чтобы охватить максимальное разнообразие размеров и разные по происхождению водные массы. Весь материал фиксировался в 96% этаноле. Для анализа было использовано около 200 особей. Для изучения внутривидового разнообразия и популяционной структуры использовались микросателлитные праймеры для 10 локусов ядерной ДНК [11, 12], помимо этого проведен анализ вставок и делеций в ядерной ДНК для обнаружения межвидовой гибридизации [14].

Все особи промерены под биноклем и предварительно определены по размерным характеристикам просомы [7]. Длина просомы самок *Calanus* spp., по которой происходит разделение видов, – 3,1 мм. Особи меньшего размера должны относиться к *C. finmarchicus*, большего – к *C. glacialis*. Из графика распределения длин просом (рис. 2) видно, что четкого разделения по размерам особей, относящихся к двум видам, нет, многие особи находятся в одном размерном диапазоне, что затрудняет их видовое определение по размеру. Отмечаются пики численности около 2,6 мм и 3,7 мм, которые хорошо расходятся.

Часть особей были проанализированы с помощью молекулярно-генетических методов для определения видовой принадлежности и изучения популяционной структуры. Рестрикционный анализ демонстрирует четкое разделение видов на электрофорезе (рис. 3).

Полученные данные сопоставляются с исходным определением и размером. Исследование было проведено для стадий CV и CVI и показало, что некоторые особи этих стадий размером меньше 2,8 мм и 3,1 мм,

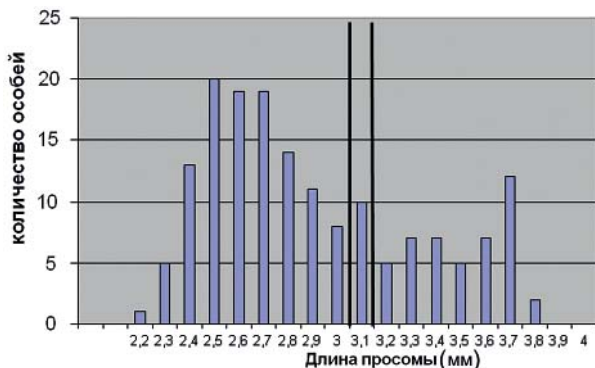


Рис. 2. Распределение размеров палочки для *Calanus* spp. CVI с разных станций в Карском море



Рис. 3. Результат электрофореза для фрагментов 16S рДНК после рестрикции

соответственно, являются *C. glacialis* (рис. 4, рис. 5), что отличается от изначального определения на основании длины палочки.

Популяционный анализ подтвердил сходство особей *C. glacialis* внутри залива Благополучие и на его внешней стороне на севере Новоземельской впадины, находящейся под влиянием Баренцевоморских и Арктических вод. Обнаружены отличия популяции *C. glacialis* из жёлоба Воронина, хотя и незначительные.

Имеются данные о возможной гибридизации между *C. glacialis* и *C. finmarchicus* [11]. Анализа фрагмента 16S рДНК для решения этого вопроса недостаточно, так как митохондриальная ДНК передается только через самку и несет её гены. Нами проведено дополнительное исследование структуры ядерной ДНК и наличия видоспецифических вставок/

делаций, которое для большинства особей с разных станций показало совпадение видовой принадлежности с результатами по митохондриальному гену. Однако у части особей обнаружены фрагменты ядерной ДНК разного размера, что может свидетельствовать о наличии генов обоих видов или особом внутривидовом разнообразии. Данные результаты требуют дальнейшего изучения и секвенирования спорных фрагментов ДНК.

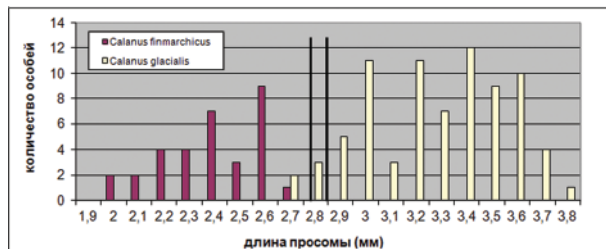


Рис. 4. Распределение размеров просомы CV для определенных по фрагменту 16S рДНК видов *Calanus*

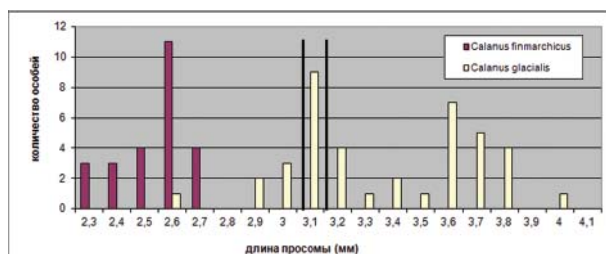


Рис. 5. Распределение размеров просомы CVI для определенных по фрагменту 16S рДНК видов *Calanus*

Проведенное исследование показало перекрытие размеров двух массовых видов зоопланктона *C. glacialis* и *C. finmarchicus* в Карском море, что затрудняет их однозначное определение на основании длины просомы и может приводить к ошибочной идентификации. При этом молекулярно-генетические методы позволяют достоверно определить вид, а микросателлитный анализ еще и установить популяционную структуру и связь с водными массами. Обнаружены генетические особенности у некоторых особей, возможно свидетельствующие о межвидовой гибридизации видов рода *Calanus* в Карском море.

Литература

1. Bucklin A., Frost B. W. and Kocher T. D. (1995) Molecular systematic of six *Calanus* and three Metridia species (Calanoida, Copepoda). *Mar. Biol.*, 121, 655–664.
2. Bucklin A., Guarneri M., Hill R. S. et al. (1999) Taxonomic and systematic assessment of planktonic copepods using mitochondrial COI sequence variation and competitive, species-specific PCR. *Hydrobiologia*, 401, 239–254.
3. Conover R. J. (1988) Comparative life histories in the genera *Calanus* and *Neocalanus* in high latitudes of the northern hemisphere. *Hydrobiologia*, 167, 127–142.
4. Hirche H. J., Hagen W., Mumm N. et al. (1994) The Northeast Water Polynya, Greenland Sea .3. Mesozooplankton and Water Polynya, Greenland Sea. 3. Mesozooplankton and macrozooplankton distribution and production of dominant herbivorous copepods during spring. *Polar Biol.*, 14, 491–503.
5. Hirche H. J. and Kosobokova K. (2007) Distribution of *Calanus finmarchicus* in the northern North Atlantic and Arctic Ocean – Expatriation and potential colonization. *Deep Sea Res. Part II*, 54, 2729–2747.
6. Jaschnov W. A. (1970) Distribution of *Calanus* species in the seas of the Northern Hemisphere. *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.*, 55, 197–212.
7. Kwasniewski S., Hop H., Falk-Petersen S. et al. (2003) Distribution of *Calanus* species in Kongsfjorden, a glacial fjord in Svalbard. *J. Plankton Res.*, 25, 1–20.
8. Lindeque P. K., Harris R. P., Jones M. B. et al. (1999) Simple molecular method to distinguish the identity of *Calanus* species (Copepoda: Calanoida) at any developmental stage. *Mar. Biol.*, 133, 91–96.
9. Lindeque P. K., Harris R. P., Jones M. B. et al. (2004) Distribution of *Calanus* spp. as determined using a genetic identification system. *Sci. Mar.*, 68, 121–128.
10. Parent G., Plourde S., and J. Turgeon (2011) Overlapping size ranges of *Calanus* spp. off the Canadian Arctic and Atlantic coasts: Impact on species' abundances. *J. Plankton Res.* 33: 1654–1665.
11. Parent G., Plourde S., Turgeon J. (2012) Natural hybridization between *Calanus finmarchicus* and *C. glacialis* (Copepoda) in the Arctic and Northwest Atlantic. *Limnology and Oceanography*, 57, 1057–1066.
12. Provan J., Beatty G., Maggs C. et al. (2007) Expressed sequence tag-derived microsatellites for the cool-water marine copepod *Calanus finmarchicus*. *Molecular Ecology Notes*, 7, 1369–1371.
13. Runge J. A. (1988) Should we expect a relationship between primary production and fisheries? The role of copepod dynamics as a filter of trophic variability. *Hydrobiologia* 167/168: 61–71.
14. Smolina I., Kollias S., Poortvliet M. Nielsen T., Lindeque, P., Castellani C. Moller E., Blanco-Bercial L. and Hoarau G. Genome- and transcriptome-assisted development of nuclear insertion/deletion markers for *Calanus* species (Copepoda: Calanoida) identification. *Molecular Ecology Resources* (2014) 14, 1072–1079.

ВИДОВОЙ СОСТАВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИХТИОПЛАНКТОНА В КАРСКОМ МОРЕ

Большакова Я.Ю., Большаков Д.В., Кобылянский С.Г.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова

Исследования ранних стадий развития рыб Карского моря проводились крайне редко и до сих пор недостаточны для объективной оценки функционирования экосистемы данного региона на уровне планктонных сообществ. В научной литературе имеются немногочисленные разрозненные сведения о размножении рыб, распределении их икринок, личинок и мальков в Карском море. Однако открытая часть Карского моря, а особенно восточная, в этом отношении практически не обследована. В связи с этим, главной задачей являлось выяснение видового состава ихтиопланктона Карского моря в период съемки, а также пространственного распределения икры и личинок массовых видов рыб для определения возможных нерестовых районов.

Ловы ихтиопланктона проводились циркуляционными косыми ловами от 40–50 м до поверхности ихтиопланктонной сетью БОНГО с площадью входного отверстия 0,25 м², размером ячеей фильтрующего конуса 505 мкм, либо модифицированной сетью Богорова-Расса, с площадью входного отверстия 0,5 м² и размером ячеей фильтрующего конуса 500 мкм.

Всего за время работ на 138 станциях было поймано 422 личинки 8 видов рыб, принадлежащих 6 семействам (табл.1). Наиболее многочисленной в уловах (400 экз.) была молодь сайки *Boreogadus saida* (рис. 1), тогда как представители всех прочих видов встречались в пробах лишь эпизодически. Мальки двух видов семейства Cottidae – *Artediellus scaber* и *Icelus bicornis* были встречены только в заливах Новой Земли.

Поскольку молодь *Boreogadus saida* фактически составляла основу ихтиопланктона на исследуемой акватории, анализ пространственного распределения проводили, используя данные о численности личинок и мальков этого вида (рис. 2). Общая численность в результативных ловах в пределах полигона варьировала от 0.2 до 4.6 экз/м². Область максимальной численности приурочена к мелководному шельфу южной части западного полигона с глубинами 13–23 м и глубоководным районам в западной и северной частях полигона с глубинами 60–80 м. Такие локальные скопления ассоциированы с периферией сформировавшейся в

Таблица 1. Видовой состав ихтиопланктона Карского моря в августе–сентябре 2014 г.

Семейство	Вид	Количество экземпляров		
		Западный разрез	Восточный разрез	Заливы Новой Земли
Gadidae	<i>Boreogadus saida</i> (Lepechin, 1774)	370	10	3
Agonidae	<i>Aspidophoroides olrikii</i> Lütken, 1877	2		
Cottidae	<i>Gymnocanthus tricuspis</i> (Reinhardt, 1830)	5		
	<i>Artediellus scaber</i> Knipowitsch, 1907			13
	<i>Icelus bicornis</i> (Reinhardt, 1840)			6
Stichaeidae	<i>Lumpenus fabricii</i> Reinhardt, 1836	11		
Cyclopteridae	<i>Eumicrotremus derjugini</i> Popov, 1926			
Liparidae	<i>Liparis fabricii</i> Ктøyer, 1847	2		
		390	10	22

этой области Карского моря «линзы» опресненных поверхностных вод. Можно предположить, что образование небольших по площади участков повышенной концентрации молоди сайки обусловлено особенностями гидрофизических условий в данном районе.

Анализ размерного состава молоди сайки на западном полигоне в Карском море выявил существенные различия между особями мелководных и глубоководных районов. В южной части полигона при небольших глубинах (13–25 м) наблюдалось преобладание мелких экземпляров, максимальная длина которых никогда не превышала 42 мм, а наиболее многочисленны (40%) были особи длиной 20–24 мм (рис. 2а). В глубоководной части полигона (60–80 м) максимальная длина пойманных экземпляров достигала 49 мм и в уловах преобладали экземпляры размером 30–34 мм (рис. 2б). По-видимому, основная масса личинок задерживается на относительно небольшом удалении от мест нереста и личинки постепенно относятся течением от мест вылупления в откры-



Рис. 1. Предмалеk сайки длиной 25 мм

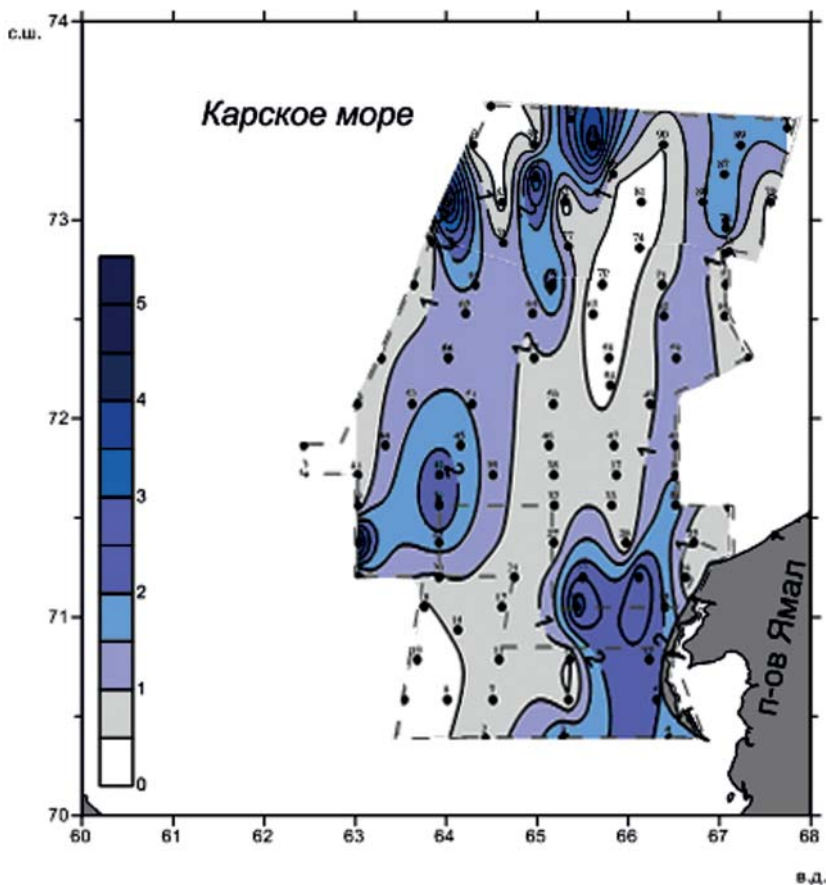


Рис. 2. Пространственное распределение численности молоди сайки *Boreogadus saida* (экз/м²) на акватории западного полигона

тую часть моря, где они распределяются на гораздо большей акватории и их концентрация заметно уменьшается. Так, в районе Новоземельской впадины (глубина до 360 м) личинки и предальки сайки отсутствовали в уловах. Учитывая пространственное распределение и размерный состав личинок сайки в наших пробах, можно предположить, что основные районы ее нереста приурочены к участкам мелководий в юго-западной части Карского моря, что согласуется с более ранними исследованиями [1]. Интересно, что на всех трех станциях, выполненных на восточном разрезе, были пойманы личинки сайки, что говорит о нересте этого вида в районе п-ова Таймыр.

Сравнительный анализ проб ихтиопланктона, отобранных в светлое (с 7-00 до 18-00) и темное (с 18-00 до 7-00) время суток показал, что подавляющее число экземпляров молоди сайки (86%) было поймано ночью. Также в ночное время процент проб с приловом других видов был выше по сравнению со светлым временем суток. 63% дневных ловов оказались нерезультативными, в то время как лишь в 15% ночных проб ихтиопланктон отсутствовал. Эти результаты показывают, что уловистость ихтиопланктона используемыми орудиями лова в темное время суток заметно выше, чем в светлое. Причиной таких различий могут быть суточные вертикальные миграции молоди сайки.

Результаты проведенной ихтиопланктонной съемки в Карском море свидетельствуют о том, что распределение молоди сайки отражает распределение ихтиопланктона в целом, а его характер во многом определяется наличием «линзы» опресненных поверхностных вод.

Литература

1. Боркин И.В. Ихтиопланктон // Экосистема Карского моря / Изд-во ПИНРО. Мурманск. 2008. С. 124–130.

III. ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА КАРСКОГО МОРЯ

МИКРОФИТОБЕНТОС ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

Сапожников Ф.В., Калинина О.Ю.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
e-mail: fl_aralsky@mail.ru*

До настоящего времени микрофитобентос Карского моря был изучен в степени, недостаточной для понимания общих закономерностей его распределения по глубинам. Опубликованные результаты исследований последних лет касались только сообществ Енисейской губы и прилегающих морских акваторий [2], а также Байдарацкой губы [3]. В то же время на огромных пространствах дна, покрытых рыхлыми грунтами в пределах фотической зоны, именно микрофитные ценозы служат единственными первичными производителями органического вещества. Наши исследования показали, что на тех глубинах, куда солнечный свет уже не проникает, также развиваются разнообразные микрофитные сообщества, не зависящие от света.

Материалом для комплексного изучения микрофитобентоса Юго-Западной части Карского моря послужили сборы, сделанные в осенний период 2014 г., в различных экспедициях с участием сотрудников ИО РАН. Был охвачен участок акватории в форме вытянутого шестиугольника с наибольшей диагональю в 418 км, протянувшийся вдоль западного побережья п-ова Ямал и о-ва Белый и имевший максимальную ширину 230 км. Координаты угловых точек полигона мы приводим в табл. 1.

Пробы отобрали на 107 станциях, располагавшихся на глубинах от 6 до 195 м. Поверхностный слой грунта менялся с ростом глубины от промытых песков на обширных прибрежных мелководьях до сильно заиленных песков на максимальных глубинах. Охват столь обширного участка акватории с высокой частотой расположения станций, расстояние между которыми составляло от 13 до 37 км, а диапазон изменения глубин – 189 м, позволил выявить ряд интегральных характеристик микрофитобентоса в Юго-Западном районе Карского моря, а также изменения структуры сообществ на фоне роста глубины.

Таблица 1. Координаты угловых точек участка акватории в Юго-Западной части Карского моря, в пределах которого микрофитобентос был изучен в 2014 г.

Угол участка акватории	Северная широта	Восточная долгота
Береговой Северо-Восточный	74°26'57,69"	69°27'20,04"
Морской крайний Северный	73°48'23,21"	68°21'24,96"
Морской Северо-Западный	73°58'15,88"	64°29'23,09"
Морской крайний Западный	72°6'27,70"	62°3'2,81"
Морской Юго-Западный	70°1'57,30"	62°16'13,83"
Береговой Юго-Восточный	70°12'26,77"	67°2'18,87"

В данном исследовании мы не рассматриваем планктонные виды и их покоящиеся стадии (споры и цисты) – в распределении по глубинам и грунтам они не связаны с характером донных биотопов, их оседание на дно определяется направлениями течений, пролегающих близко к поверхности. Всего было отмечено присутствие 147 видов и разновидностей бентических и бенто-планктонных микрофитов. Среди них были представители двух царств (*Chromista* – 113 (76.87% от всей ассоциированной с поверхностью дна микрофитной биоты) и *Protozoa* – 34 (23.13%); 5 типов – *Bacillariophyta* (109 или 74.15%), *Sarcomastigophora* (19 или 12.93%), *Euglenophycota* (15, или 10.20%), *Chrysophyta* и *Pyrrophyphyta* (по 2 или по 1.36%); 8 классов (с преобладанием *Bacillariophyceae* (99 видов и разновидностей, или 67.35%) и 18 отрядов, среди которых наиболее широко был представлен *Naviculales* (54 или 36.73%). Также в сообществах присутствовал один вид неопределённой (рангом ниже типа *Sarcomastigophora*) таксономической принадлежности, обозначаемый нами условно как *Borealia* sp.

Рассматривая структуру ценозов, мы принимали во внимание соотношение размерно-экологических групп микрофитов. Такой подход обусловлен общностью экологических предпочтений микроорганизмов, имеющих близкий план строения (на макроморфологическом уровне) и сходные размеры, живущих в одних и тех же микробиотопах и использующих близкие адаптации к движению. Выделение таких групп строится на четырёх основных характеристиках: микробиотопическая

привязка (эпипсаммический, интропсаммический и т. д.), подвижность (подвижный, малоподвижный, прикрепленный, неподвижный), размер (мелкий – 2–15(18) мкм по наибольшей оси, среднеразмерный – (18)20–40(45) мкм и крупный – >(45)50 мкм) и совокупность макроморфологических признаков (навикулоид, ницшиоид, эвгленоид, коккоид, диноид, фрагиляриоид и т.д.). По сути, всё сообщество микрофитобентоса строится из набора групп микрофтов, в составе каждой из которых организмы используют ресурсы (в т. ч. пространство) сходным образом и в своём масштабе.

Всего для изученной акватории было выделено 24 размерно-экологические группы. В качестве меры обилия использовали потенциальную продуктивность вида (или вклад вида в общее дыхание микрофитной биоты), рассчитанную по формуле $P=n^{0,25} \cdot b^{0,75}$, где n – численность вида в пробе, а b – его биомасса [1]. Для каждой размерно-экологической группы была рассчитана доля от суммарной потенциальной продуктивности на станции, а затем – исходя из этих величин – средняя доля по всей выборке. После этого были отобраны 8 размерно-экологических групп, средняя доля по выборке для которых превышала 1%. Это были основные структурообразующие группы микрофитных ценозов (табл. 2).

Распределение % каждой из этих 8 групп по глубине показывает смену структуры ценозов. В частности, в диапазоне глубин до 50 м постепенно уходят в минорное положение группы, доминирующие на промытых песках мелководий: интропсаммические подвижные крупные навикулоиды и эпипсаммические малоподвижные крупные амфороиды (рис. 1а, б). В более глубоководных ценозах эти группы оказались практически не проявлены. В свою очередь, интропсаммические подвижные крупные ницшиоиды, вклад которых достигал 13,7 % от P_{summm} на мелководьях, постепенно уходят в минор к отметке 63 м – а затем, в диапазоне от 71 м до 129 м, образуют второй всплеск усиления влияния на структуру, приходящийся на глубины 92–99 м (рис. 1в). Безусловно, в этой области склона относительно высокое обилие дают не те виды ницшиоидов, что на мелководье – но адаптивная группа та же. Напротив, для эпипсаммических прикрепленных мелких фрагиляриоидов, колонизирующих поверхность минеральных и органических частиц на поверхности дна, было отмечено две области высокого влияния: на глубинах до 50 м, а также глубже отметки в 154 м – и до максимальной изученной глубины (рис. 1г).

Вклад подвижных эвгленоидов, объединяющих в макроморфологическом плане всех отмеченных на участке свободноживущих и по-

Таблица 2. Средняя доля размерно-экологических групп микрофитов по выборке – в % от общей по ценозу (от P_{summ})

Размерно-экологическая группа	Средний % от P_{summ}
интросаммический подвижный крупный навикулоид	1.42
интросаммический подвижный крупный ницшиоид	2.54
интросаммический подвижный крупный эвгленоид	20.55
интросаммический подвижный мелкий эвгленоид	24.81
интросаммический подвижный среднеразмерный эвгленоид	25.27
эпипсаммический малоподвижный крупный амфороид	1.15
эпипсаммический прикрепленный мелкий коккоид	9.82
эпипсаммический прикрепленный мелкий фрагилариоид	11.45

луприкреплённых жгутиконосцев, кроме динофлагеллят, менялся различным образом для каждой выделенной размерной группы (рис. 1д, е, ж). Например, доля мелких эвгленоидов росла до глубин 40–43 м – и в северной и в южной частях участка, а затем – в южной части – относительно стабилизировалась и даже пошла на спад, начиная с отметки в 110 м, но в северной – продолжала расти до глубины в 154 м (рис. 1д). Доля среднеразмерных эвгленоидов в южной части участка неуклонно росла до глубины 99 м, а глубже столь же плавно снижалась; в северной части их первый максимум влияния наблюдали на глубинах 45–63 м, а второй – более существенный – в диапазоне 142–146 м (рис. 1е). Наконец, вклад крупных эвгленоидов неуклонно прирастал до глубин 115–120 м, а затем – в северной части – давал пик на глубинах 143–150 м, а в южной неуклонно и плавно шёл на спад (рис. 1ж).

Прирост относительного обилия *Borealia* sp. (эпипсаммического прикрепленного мелкого коккоида) отмечали до глубин около 40 м, затем в разных районах участка вклад вида менялся неоднозначно, но в обоих случаях достигал минимума в диапазоне 150–154 м, после чего – в южной части – следовал стремительный прирост до отметки в 195 м (рис. 1з).

Используя показатели относительного обилия всех 24 размерно-экологических групп на станциях, мы применили индекс сходства Брея-Кёртиса для выделения основных типов ценозов на склоне. Как показал анализ сходства ANOSIM-1 (программа Primer-6), глубина оказывала высоко достоверный эффект на структуру ценозов ($p = 0,1\%$, Global $R = 0,463$). При этом удалось выделить 4 типа сообществ по глубине

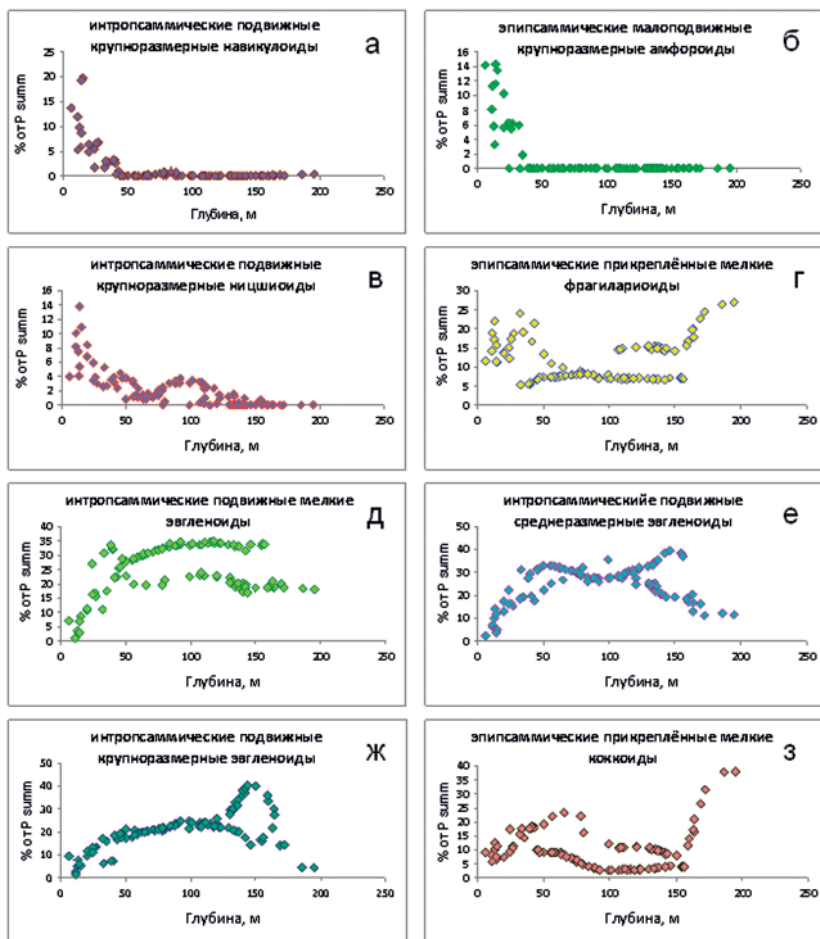


Рис. 1. Распределение по глубинам % от P_{summ} основных структурообразующих размерно-экологических групп микрофитобентоса

обитания: ценоз А – в диапазоне 6–15 м, ценоз Б – на 20–35 м, ценоз В – на 38,7–67 м и ценоз Г – на 71–195 м. Высоко достоверные различия ($p=0,1\%$) отмечали между всеми ценозами, кроме В и Г ($p=11,6\%$).

На фоне роста глубины обитания структурообразующая роль в микрофитных ценозах постепенно переходит от навикулоидов, амфоридов и ницшиоидов к разноразмерным эвгленоидам. При этом роль мел-

ких прикрепленных фрагилариоидов и коккоидов (*Borealia* sp.) остаётся существенной во всём изученном диапазоне глубин.

В ценозе А основные роли были распределены между мелкими прикрепленными фрагилариоидами (среднее обилие – 15%), подвижными крупными навикулоидами (12%), малоподвижными крупными амфороидами (10%), *Borealia* sp (9%) и крупными ницшиоидами (8%). В ценозе Б – между среднеразмерными эвгленоидами (19%), мелкими эвгленоидами (17%), мелкими фрагилариоидами (15%), крупными эвгленоидами и *Borealia* sp. (по 12%). Ценоз В отличался от ценоза Б последовательностью ведущих групп и меньшей сглаженностью доминирования: среднеразмерные эвгленоиды (29%), мелкие эвгленоиды (28%), крупные эвгленоиды (18%), *Borealia* sp. (13%) и мелкие фрагилариоиды (9%). В структуре ценоза Г на первые роли также выходили эвгленоиды: мелкие и среднеразмерные – в среднем по 27%, крупные – 24%, на долю мелких фрагилариоидов приходилось 11%, а *Borealia* sp. в фоновую группу уже не входила.

Литература

1. Кучерук Н.В., Савилова Т.А. Количественная и экологическая характеристика донной фауны шельфа и верхнего склона района североперуанского апвеллинга // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1985. 89 (4). С.59–70.

2. Сапожников Ф.В., Калинина О.Ю. Диатомовый микрофитобентос Енисейской губы и прилегающих акваторий Карского моря // Труды II Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование». Москва: МГУ, 2014. С.107–111.

3. Фёдоров А.С., Москвина М.И., Зеленков В.М., Мискевич И.В., Лукьянов Ю.С. Инженерно-экологические изыскания в районе подводного перехода магистральными газопроводами через Байдарацкую губу Карского моря // Материалы международной конференции «Нефть и газ Арктического шельфа – 2006». Москва: Изд-во Гелион, 2006. С.115–117.

МАКРОФИТОБЕНТОС КАРСКОГО МОРЯ

Максимова О.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Карское море лежит в Арктической фитогеографической области. Его юго-западная часть относится к Низкоарктической подобласти, а северная и восточная части – к Высокоарктической. Граница между ними проходит примерно по 70–75° с.ш. [Зинова, 1974]. Абсолютное большинство макроводорослей имеет атлантическое происхождение, и многие из них благополучно пережили последнее оледенение, будучи адаптированными к суровым арктическим условиям [Зинова, Петров, 1970].

Первые систематические сборы макроводорослей Карского моря провёл профессор Упсальского университета Ф.Р. Челльман в двух экспедициях барона Н.А.Э. Норденшёльда: в 1872–73 годах к Шпицбергену и Новой Земле с заходом в Карское море, и в 1878–80 годах в знаменитом плавании «Веги», впервые обогнувшей Евразию в непрерывном плавании. «Вега», деревянный пароход водоизмещением 357 тонн и с паровой машиной в 60 лошадиных сил, прошла из Атлантики и почти до Берингова пролива за одну навигацию. Челльман собрал коллекцию морской и наземной растительности, и в 1883 году вышел его труд «The Algae of the Arctic Sea». В Карском море им было собрано 33 вида водорослей: 5 зелёных, 13 бурых и 15 красных. Основными точками сборов были юго-западный район (Байдарацкая губа), район Uddebay (о. Северный, Новая Земля), восточный район возле п-ова Таймыр и мыса Челюскин. Именем Челльмана названа группа островов в составе Шхер Минина, которые входят в Большой Арктический заповедник.

В XX веке альгофлору макрофитов Карского моря исследовали Е.С. Зинова, обработавшая коллекции нескольких дореволюционных и советских экспедиций, а также А.Д. Зинова, автор определителей макроводорослей северных и южных морей СССР. Е.С. Зинова (1925, 1929) описала из Карского моря 55 видов макрофитов (7 зелёных, 22 бурых, 26 красных), на её данные ссылался Л.А. Зенкевич (1947). А.Д. Зинова (1953, 1955) отметила здесь по 31 виду бурых и красных водорослей.

Во второй половине XX века макроводоросли Карского моря исследовали стохастически, в основном – попутно с подробным изучением зообентоса. Больше всего сборов было сделано в юго-восточной части моря, в районе Байдарацкой губы, о-ва Вайгач и на побережье Южного

о-ва Новой Земли [Гринталь, 1974; Возжинская и др., 1997]. На Северном острове продолжала оставаться исследованной только одна точка – тот самый Uddebaу Чельмана. Сведения о водорослях Северной Земли единичны [Аверинцев, 1989].

Все данные по альгофлоре российских арктических морей – от Карского до Чукотского – суммированы и проанализированы в статье профессора К.Л. Виноградовой (1999). Составленный ею систематический список насчитывает 139 видов. Карское море Виноградова подразделяет на **четыре района**: **1а** – карское побережье Новой Земли (**68** видов); **1б** – юго-западный район, включая о. Вайгач (**73** вида); **1в** – юго-восточное побережье, включая о-ва Русский, Тыртов, архипелаг Норденшюльда (**33** вида); **1г** – северные острова: Визе, Уединения, архипелаг Северная Земля (**16** видов) (рис. 1). В Карском море ею отмечено **90 видов** (16 зелёных, 36 бурых, 38 красных).

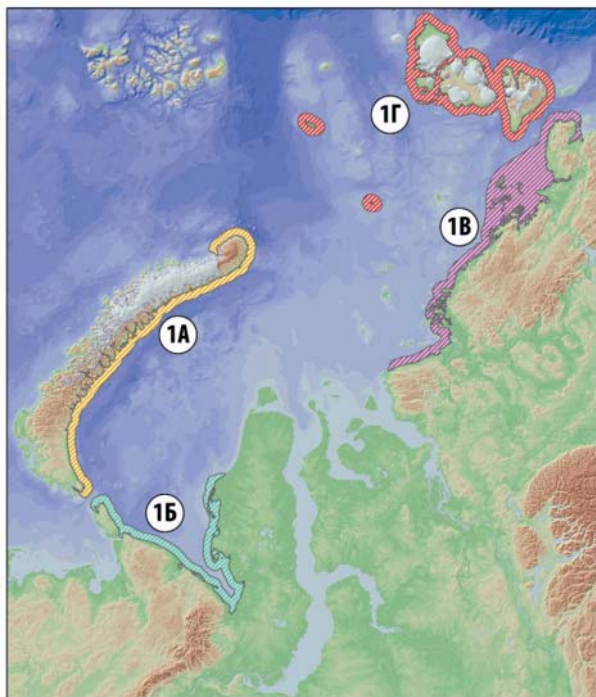


Рис. 1. Районирование Карского моря на основе видового обилия и состава альгоценозов [по Виноградовой, 1999]

В последующие годы К.Л. Виноградова опубликовала несколько таксономических работ по северным морям [Виноградова, 2005 а, б; 2007; 2010]. С учётом этих и ряда других публикаций список 1999 года был нами уточнён и дополнен, и теперь он насчитывает **104 вида** (21 вид зелёных, 37 бурых, 46 красных).

Только в XXI веке появились новые публикации об альгофлоре Новой Земли, в том числе – Северного о-ва. По материалам Морской арктической комплексной экспедиции (МАКЭ, 1993–1996) в Карском море отмечены 48 видов макрофитов (считая флору Югорского Шара) (Штрик и др., 2000). В бухте Ледяная Гавань на Северном острове было найдено 24 вида макроводорослей. В ходе экспедиции АА НИИ и ПИНРО (рейс НИС «Фригьёф Нансен», 2012) в той же бухте было обнаружено 28 видов водорослей [Шошина, Анисимова, 2013].

В **54 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»** (2007) были собраны макроводоросли в заливе Благополучия (Северный остров), расположенном практически на границе Низко- и Высокоарктической подобластей Арктической области. Сборы провели в бухте Визе, на о-ве Камни и возле устья реки Глубокая. Материал собирали из выбросов и с использованием легководолазного снаряжения до глубины 3–4 м (о. Камни).

Макрофитобентос имеет все характерные для Высокой Арктики черты: **обеднённый видовой состав, полное отсутствие литоральной и верхнесублиторальной растительности, небольшие размеры растений**. Кроме того, мы отметили практически полное **отсутствие эпифитона** на талломах крупных водорослей: из 23 лишь два таллома *Fucus distichus* были обильно покрыты бурой нитчаткой *Elachista fucicola*, и несколько несли немногочисленные эпифитные ювенильные багрянки.

Вал штормовых выбросов (шириной до 1 м, высотой не более 10–15 см) тянется вдоль берега на расстоянии от 0.5 до 2 м от уреза воды. Основную массу выбросов составляют бурые водоросли *Laminaria digitata*, *Saccharina latissima* и *Fucus distichus*. Количественно абсолютно преобладает *L. digitata*: 8–10 талломов на 1 таллом *S. latissima*. Был обнаружен всего один таллом арктического эндемика *Laminaria solidungula*. Между валом выбросов и урезом воды находится полоса (шириной около 1 м) фрагментированных водорослей, перемешанных с галькой – и совершенно не тронутых гниением на всю глубину залегающая (примерно на 0.5 м).

В верхней фитолине встречаются пятна (площадь до 1 м²) погружённых в субстрат талломов ламинариевых, фукуса и крупных багря-

нок (в основном *Palmaria palmata*). Они кажутся растущими, однако все эти растения – «псевдорастущие», часть из них погружена в субстрат «вверх ногами» (рис. 2).



Рис. 2. «Псевдорастущие» талломы макрофитов

В выбросах обнаружены красные водоросли: *P. palmata*, *Phycodryx rubens*, *Odonthalia dentata*, *Ptilota serrata*, *Coccotylus truncatus*, *Euthora cristata*, *Polysiphonia arctica*. В ризоидах ламинариевых были отмечены, кроме того, багрянка *Devalerea ramentacea*, бурая *Sphacelaria plumosa*, молодые талломы *Fucus distichus*, зелёная нитчатка *Chaetomorpha melagonium*. Часть из них эпифитировала на ризоидах, часть была запутана в них. Всего нами обнаружен **21** вид макроводорослей (5 зелёных, 8 бурых, 8 красных). Все они широко распространены в Арктике.

По сравнению с растениями из Белого и Баренцева морей ламинариевые Карского моря значительно мельче: средняя длина стволика *Laminaria digitata* составила 39 см (от 12.8 до 92 см), пластины – 66 см (43.2–97.8 см). Талломы *Fucus distichus* достигали длины 40 см (рис. 3).



Рис. 3. Талломы *Fucus distichus* из Карского моря

Таким образом, макрофитобентос залива Благополучия типичен для Высокоарктической фитогеографической подобласти как по видовому составу, так и по общему облику.

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА МЕЙОБЕНТОСА В ЕНИСЕЙСКОМ ЭСТУАРИИ И НА ПРИЛЕЖАЩЕМ КАРСКОМ ШЕЛЬФЕ

Портнова Д.А., Гарлицкая Л.А., Кондарь Д.В., Удалов А.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова

Начало регулярных исследований бентоса в Карском море относится к 1920-м годам. С этого времени начинается активное изучение видового богатства, количественных характеристик бентоса и была составлена схема распределения донных биоценозов практически по всему морю [5]. Большинство работ по изучению бентоса было проведено в открытом море, тогда как исследования в эстуарных и прибрежных

районах Карского моря велись гораздо реже. К сожалению, работ, посвящённых изучению мейобентоса в Карском море мало [1; 2; 6]. Данная работа описывает структуру сообщества мейобентоса и отдельных групп, таких как нематоды и гарпактициды, на меридиональном профиле река Енисей – внутренний шельф Карского моря. Наши результаты предоставляют новые данные о распределении мейобентоса и нематод в арктическом регионе, зависящем от речного стока, и дополняют список видов нематод и гарпактицид для Карского моря. В 59 рейсе на НИС «Мстислав Келдыш» 18–22 сентября 2011 г. были выполнены междисциплинарные исследования меридионального профиля река Енисей – жёлоб Св. Анны. В ходе экспедиции был проведён сбор материала, включающего все размерные группы донных организмов. При этом материал был собран таким образом, чтобы не только обеспечить его дальнейшую количественную обработку, но и позволить провести сопоставление распределения биотических комплексов с распределением основных абиотических факторов. Изучение биогеохимических процессов, участвующих в преобразовании вещества водной взвеси в осадке показало, что зона смешения речных и морских вод имела сложное строение и состояла из вертикальной фронтальной зоны, проходящей между станциями 5013–5018, и из горизонтальной фронтальной зоны, охватывающей южную часть моря (до ст. 5026). Солёность поверхностных вод на профиле изменялась от 0,07 до 34, придонная вода более солёная [3]. В данной работе профиль охватывает глубины от 9 м (ст. 5013) до 62 м (ст. 5026). Пробы донных осадков отбирали с помощью мультикорера и трубки Ниёмисто. Для изучения количественных характеристик мейобентоса на каждой станции было взято по 2 пробы с помощью пластикового трубчатого пробоотборника площадью 3,14 см². Глубина колонки осадка составляла 6 см. Материал был зафиксирован на борту судна 4% формалином на фильтрованной морской воде. В лабораторных условиях для экстракции животных из проб был использован метод центрифугирования. Многоклеточный мейобентос был представлен 12 крупными таксонами. В данной работе термин мейобентос используется только для микроскопических многоклеточных. Доминирующим таксоном были нематоды (86%), второе место по обилию занимали гарпактикоидные копеподы (8%). Таксономическое разнообразие увеличивалось с увеличением глубины и придонной солёности. Сравнение таксономического состава мейофауны на всех станциях разреза методом кластерного анализа с использованием в качестве меры сходства индекса Дайса, показало, что сообщество мейобентоса на станциях, собран-

ных в реке, довольно далеко по набору таксонов, как от эстуарной, так и от мористой части разреза (рис. 1). Средняя плотность поселения многоклеточного мейобентоса в районе исследования составляла 1017 экз/10 см². Общая численность сильно различалась, и варьировала от 41 до 2391 экз/10см². Самая низкая плотность поселения была отмечена для речных станций, самая высокая – на станциях внутреннего шельфа. На Енисейском разрезе были выделены две основные области, где проходит массовое осаждение и окисление в верхнем слое осадков органического вещества [3, 4]. Первая область – это речная станция, с очень низкими показателями обилия и разнообразия мейобентоса. Значительное увеличение содержания общего фосфора и аммонийного и общего азота свидетельствует о высокой интенсивности деструкционных процессов на этой станции. Вторая область разложения органического вещества находится ниже по течению, где рельеф дна залива образует заметное понижение, отгороженное от мористой части участком с небольшими глубинами. На всех станциях, где отмечена низкая плотность поселения

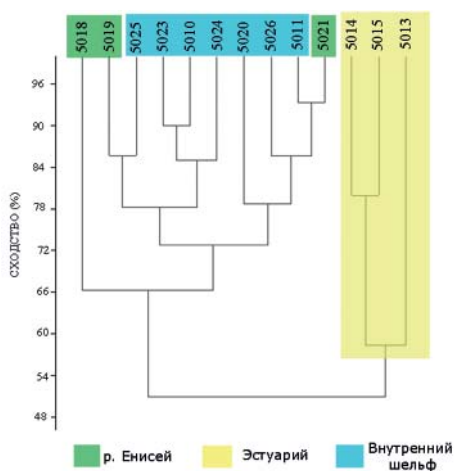


Рис. 1. Сравнение таксономического состава мейофауны на всех станциях разреза методом кластерного анализа с использованием в качестве меры сходства индекса Дайса, показало низкое сходство между сообществом мейобентоса на «речных» станциях и станциями из эстуарной и мористой части разреза

мейобентоса заметно снижение относительного содержания кислорода. Доля нематод от всего мейобентоса составляет от 48 до 93%. Для Карского моря было отмечено 82 вида нематод, относящихся к 54 родам. Сравнение наших данных с литературными данными [1] показало, что всего было определено 60 новых видов для данного региона, и 4 вида, новых для науки. Численность и разнообразие этой группы увеличивается в направлении от речных станций к морским. Сравнение родового состава нематод на всех станциях методом кластерного анализа с использованием в качестве меры сходства индекса Дайса, показало, что таксоцен нематод на станциях в «реке» близок по

набору родов к сообществу заморного осадка на внутреннем шельфе. Таксоцэн нематод эстуарной части разреза близок к сообществу морской части разреза. Для изучения родового состава таксоцена нематод был использован метод многомерного шкалирования. В качестве меры сходства использовали индекс Брея-Кертиса. Таксоцен нематод разделен на два комплекса, соответствующих эстуарной/морской части разреза (*Sabatieria* spp., *Paramonhystera* spp., *Cervonema* spp., *Filipjeva* spp.) и речным станциям (*Trypila affinis*, *Punctodora* sp., *Chromadora* sp.). Основной вклад в разделение станций по кластерам вносят доминирующие роды. Гарпактициды составляют от 2 до 46% от общего мейобентоса. Видовое разнообразие увеличивается от распреснённых участков к морю. К настоящему времени для Карского моря известно 64 вида *Harpacticoida*, из которых 21 были впервые обнаружены во время нашего исследования, и 10 новых для науки. Численность гарпактицид в среднем составляет 80 экз/10см². Удалось выделить три ассоциации видов с характерным составом доминантов: (1) в опресненной части развивается качественно обедненное сообщество с абсолютным доминированием *Pseudobryadya kusnezovi*; эстуарное сообщество с доминированием по численности *Bradya typica*, трех видов *Danielssenia* и Ectinosomatidae gen. sp. и наиболее разнообразная группа, в глубоководной части моря, состоящая в основном из представителей семейств Ectinosomatidae, Miraciidae, Pseudotachidiidae и Rhizotrichidae (рис. 2).

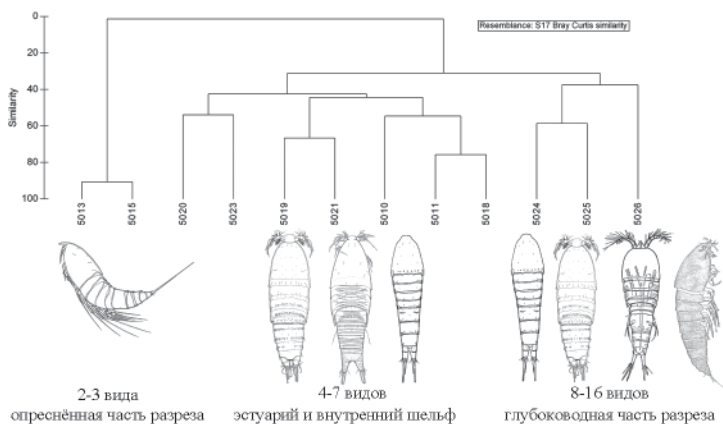


Рис. 2. Три ассоциации видов с характерным составом доминантов: опресненная часть разреза; сообщество эстуария и внутреннего шельфа; наиболее разнообразная группа в глубоководной части моря

Литература

1. Гальцова В. В., Кулангиева Л. В. Список видов свободноживущих беспозвоночных Евразийских морей и прилежащих глубоководных частей Арктики // Исследования фауны морей. Т. 51(59). 2001. Под ред. Сиренко Б.И. С. 44–51.
2. Кулангиева Л. В., Гальцова В. В. Биоразнообразие нематод арктических морей России // В кн.: Проблемы нематологии. Тезисы 3 международного симпозиума по круглым червям. С.-Петербург. 1999. С. 52–53.
3. Леин А.Ю., Маккаев П.Н., Саввичев А.С., Кравчишина М.Д., Беляев Н.А., Дара О.М., Поняев М.С., Захарова Е.Е., Розанов А.Г., Иванов М.В., Флинт М.В. Процессы трансформации взвеси в осадок в Карском море // Океанология. 2013. Т. 53. №5. С. 643–679.
4. Маккаев П.Н., Мельникова З.Г., Полухин А.А., Степанова С.В., Хлебонашев П.В., Чульцова А.Л. Гидрохимическая характеристика вод западной части Карского моря. // Океанология. 2015, в печати.
5. Филатова З. А., Зенкевич Л. А. Количественное распределение донной фауны Карского моря // Биология северных и южных морей СССР. М.: Наука, 1957. С. 163–223.
6. Alexeev D.K., Galcova V.V. Effect of radioactive pollution on the biodiversity of marine benthic ecosystems of the Russian Arctic shelf // 2012. Polar Science 6. PP. 183–195.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА МАКРОЗООБЕНТОСА БАЙДАРАЦКОЙ ГУБЫ

Кокарев В.Н.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

В настоящее время растёт актуальность изучения последствий глобальных климатических изменений и возрастающей антропогенной нагрузки на экосистемы Арктического шельфа. Удобным объектом подобных исследований являются сообщества макрозообентоса. Данные бентосных съёмки, накопленные за определённый промежуток времени, позволяют сделать вывод о стабильности экосистемы, оценить возможные локальные последствия климатических и антропогенных воздействий. Байдарацкая губа — залив, расположенный в юго-западной части Карского моря. Характерной особенностью гидрологического режима Байдарацкой губы является низкий уровень пресного стока, что обуславливает высокую солёность. До недавнего времени эта акватория характеризовалась низким уровнем антропогенной нагрузки, что позво-

ляет рассматривать её как модель для изучения естественной динамики. Однако в 2011 г. были начаты работы по строительству подводного перехода «Ямал-Центр» через Байдарацкую губу. В данную работу включены данные 6 дночерпательных съёмок, проводившихся в период с 1992 по 2013 гг. Кроме того, для сравнения были также добавлены архивные данные 1946 г.

Совместная ординация нетрансформированных данных по доле дыхания видов на станции методом многомерного шкалирования не выявила никаких временных трендов (рис. 1). Однако она показала, что для сообществ макрозообентоса характерна вертикальная зональность. Для станций с глубиной менее 10 м характерно доминирование полихеты *Nephtys longesetosa*. На интервале глубин в 10–20 м характерно доминирование двустворчатых моллюсков *Serripes groenlandicus* и *Ciliatocardium ciliatum*. На самых глубоководных станциях характерными видами становятся уже упомянутый выше *Ciliatocardium ciliatum*, а также *Astarte borealis*. Ординация данных, предварительно трансформированных корнем четвёртой степени с целью уменьшения роли доминантов, показала, что с увеличением глубины наблюдается не только

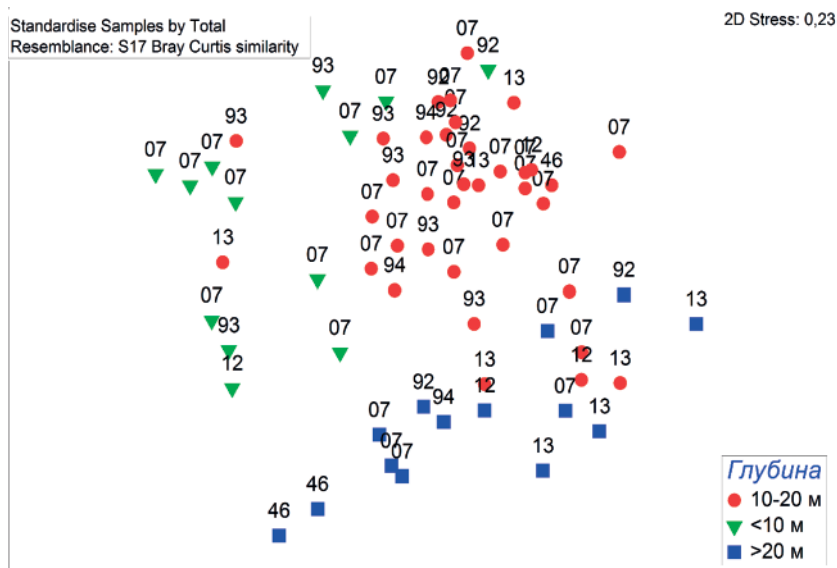


Рис. 1. Ординация нетрансформированных данных по доле дыхания видов на станции методом MDS. Цифрами указан год взятия проб

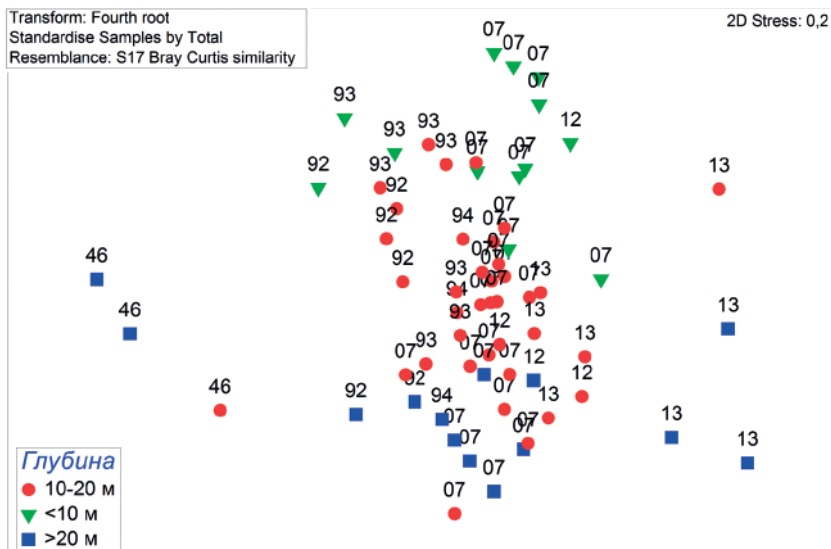


Рис. 2. Ординация методом MDS на основе данных по доле дыхания видов на станции, предварительно трансформированных корнем четвёртой степени. Цифрами указан год взятия пробы

смена доминантов, но и второстепенных видов. Однако серьёзные отличия в видовом составе показали 2 группы станций. Станции 1946 г. отличаются, по-видимому, из-за того, что было использовано сито с более крупным размером ячеек при промывке проб. Наибольший интерес вызывают станции 2013 г. Эта группа, преимущественно представленная глубинами более 20 м, характеризуется высоким относительным обилием полихеты *Micronephthys minuta*.

Для оценки временных трендов в сообществах макрозообентоса использовали интегральные показатели: общую численность, общую биомассу, число ожидаемых видов на 200 особей (ES (200)), индекс Варвика (W-индекс). Самая многочисленная выборка станций из диапазона средних глубин не показала никакой временной динамики ни по одному из перечисленных показателей. Тем не менее, на глубоководных станциях 2013 г. наблюдаются значительные изменения. Эти станции демонстрируют отличие и в интегральных характеристиках макрозообентоса по сравнению с глубоководными станциями съёмки предыдущих лет (рис. 3). Прежде всего, это снижение общей биомассы, связанное с исчезновением крупных двусторчатых моллюсков, а также увеличе-

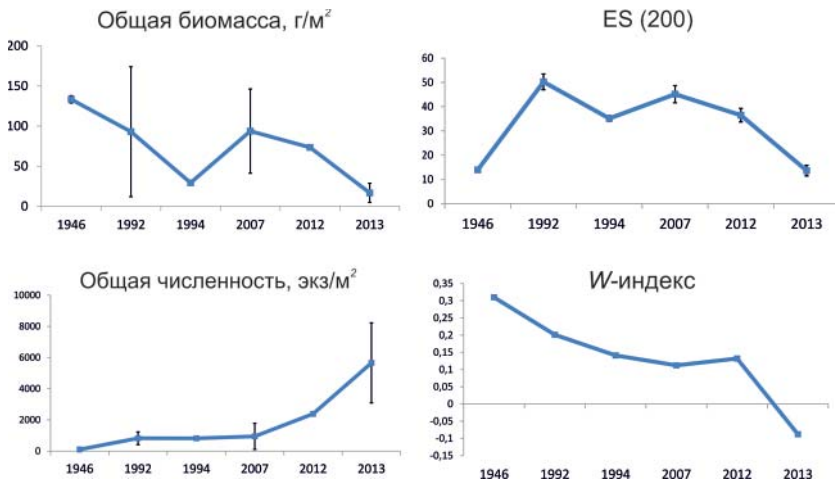


Рис. 3. Интегральные характеристики макрозообентоса Байдарацкой губы на глубинах более 20 м

ние общей численности, связанное с массовым развитием *Micronephthys minuta*, *Cossura sp.*, *Aricidea nolani* и *Levinsenia graclis*. Кроме того, наблюдается значительное снижение биоразнообразия и W-индекс становится отрицательным, что говорит о том, что сообщество испытывает стрессовое воздействие.

На протяжении всего периода исследования донные сообщества Байдарацкой губы оставались относительно стабильными: на фоне четкой вертикальной зональности сообществ обилие и видовая структура не демонстрируют выраженных временных трендов. Лишь в 2013 г. на части станций произошли изменения, описанные выше. Кроме того на одной из станций 2013 г. макрозообентос фактически отсутствовал, а потому она не была включена в анализ. По-видимому, причиной подобных катастрофических изменений послужило антропогенное вмешательство, следствием которого является увеличение взвеси в придонном слое и интенсивное переотложение донных осадков. Известно, что организмы с фильтрационным типом питания хуже реагируют на подобные изменения условий обитания, что, по-видимому, обуславливает исчезновение крупных двустворчатых моллюсков. Таким образом, можно заключить, что антропогенное вмешательство имеет явно выраженное негативное влияние на арктические донные сообщества, в то время как вопрос о влиянии глобальных климатических трендов остаётся открытым.

ДОННАЯ ФАУНА ЗАЛИВОВ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ, КАРСКОЕ МОРЕ

Удалов А.А.¹, Веденин А.А.¹, Симаков М.И.¹, Чава А.И.²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН

²Биологический ф-т МГУ им М.В. Ломоносова

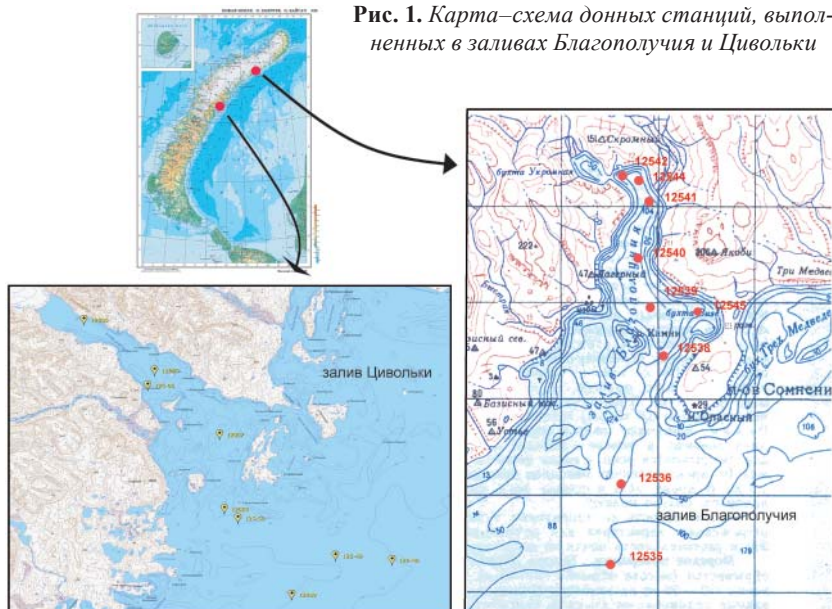
В последние десятилетия интерес к исследованию прибрежной зоны арктических морей, в частности заливов и фьордов, неуклонно возрастает [2, 3]. Различие по морфометрическим характеристикам, степени изоляции от открытой части моря, климатическим условиям, объему пресного стока, типам береговой линии ведет к большому разнообразию экосистем краевых бассейнов [1]. Степень изоляции донной фауны и наличие специфических сообществ, отличающихся от таковых открытой части моря представляет особый интерес.

Комплексные экологические работы в ходе экспедиций ИО РАН были проведены в 2013–2014 гг. в 125, 126 и 128 рейсах НИС «Профессор Штокман» в двух заливах на побережье архипелага Новая Земля – Благополучия и Цивольки (рис. 1). Впервые было проведено описание донной фауны заливов, проанализировано распределение бентосных сообществ как внутри заливов, так и на внешнем склоне Новоземельской впадины. Основные различия двух заливов заключаются в том, что в куту залива Циволька находится ледник «Серп и Молот», во многом определяющий гидродинамику и седиментацию.

Впервые описана литораль заливов. Берега сложены черными сланцами и в разной степени обрывисты. Литораль в основном прибойная скалистая, каменистая грубообломочная и прибойная песчаная. Неприбойная литораль встречается только в кутах и в выходах пресного стока. Из-за суровых климатических особенностей литораль и верхняя сублитораль практически лишены высшей растительности и макрофитов (исключение – редкие сублиторальные поселения *Fucus distichus*). Население этой зоны крайне обеднено. Макрофауна представлена подвижными эврибионтными амфиподами, обитающими ниже нуля глубин (рис. 2).

С борта судна было отобрано 10 станций в заливе Благополучия и 11 станций в заливе Цивольки с глубин 21–148 м. На каждой станции было взято по 3 пробы дночерпателем «Океан» с площадью раскрытия 0.1 м². Грунт промывали на сите с диаметром ячеек 0.5 мм. Собранных

Рис. 1. Карта–схема донных станций, выполненных в заливах Благополучия и Цивольки



животных фиксировали нейтрализованным 5–6% формалином, разбирали по основным таксономическим группам и переводили в 70 % спирт. Выделение сообществ производили методами многомерного шкалирования и кластерного анализа.

В заливе Благополучия было найдено 140 таксонов макробентоса, в заливе Цивольки – 82. Наиболее разнообразными группами оказались полихеты, моллюски и ракообразные. Иголкожие, мшанки, сипункулиды, альционарии и ряд других групп представлены 1–7 видами.

Распределение основных показателей бентоса в обоих заливах носит сходный характер. Среднее число видов в пробе существенно выше во внешней части заливов на склоне Новоземельской впадины, где составляет около 30 видов в пробе (0,1 м²). Во внутренних котловинах заливов число видов не превышает 15–16 видов в пробе.

Средняя плотность организмов в заливе Благополучия вдвое выше таковой в заливе Цивольки (1592 и 672 экз/м² соответственно). Средняя биомасса организмов также выше в заливе Благополучия (75 г/м²). В заливе Цивольки во внешней части биомасса бентоса 30 г/м², во внутренней части – 14,8 г/м².

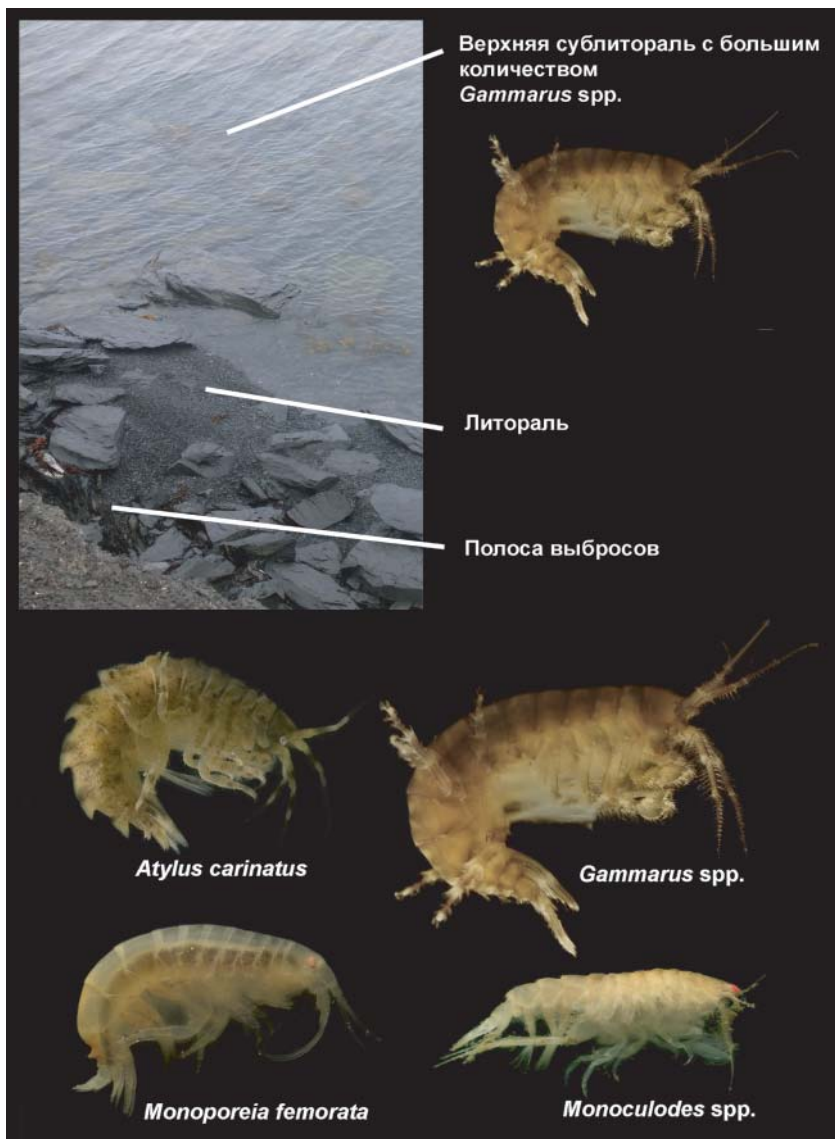


Рис. 2. Макрофауна литорали и верхней сублиторали залива Цивольки

Распределение сообществ макрозообентоса подчиняется следующим особенностям. Во-первых, облик донных сообществ внутренней части заливов определяется повышенной седиментацией мелкой осадочной фракции. В составе фауны полностью отсутствуют полихеты, строящие трубки, а также зарывающиеся глубоко в грунт. Наиболее обильными оказываются виды, толерантные к седиментации неорганического вещества. Среди них полихеты *Scoletoma fragilis*, *Tharyx* sp., *Cossura longocirrata* и *Scoloplos acutus*, мелкие двустворчатые моллюски *Ennucula tenuis* и *Thyasira* cf. *sarsi*. В обоих заливах доминирование крупных двустворчатых моллюсков-фильтраторов приурочено к порогам и внешней части склона с глубинами порядка 30–60 м (*Astarte crenata*, *Astarte elliptica*, *Astarte borealis*, *Nuculana pernula*). Во-вторых, мы наблюдаем существенные различия в сообществах между двумя заливами, особенно в их внешней части (рис. 3). Если на склоне напротив залива Благополучия присутствует сообщество *Ennucula tenuis*-*Golfingia margaritacea*, то на внешнем склоне залива Цивольки доминантами

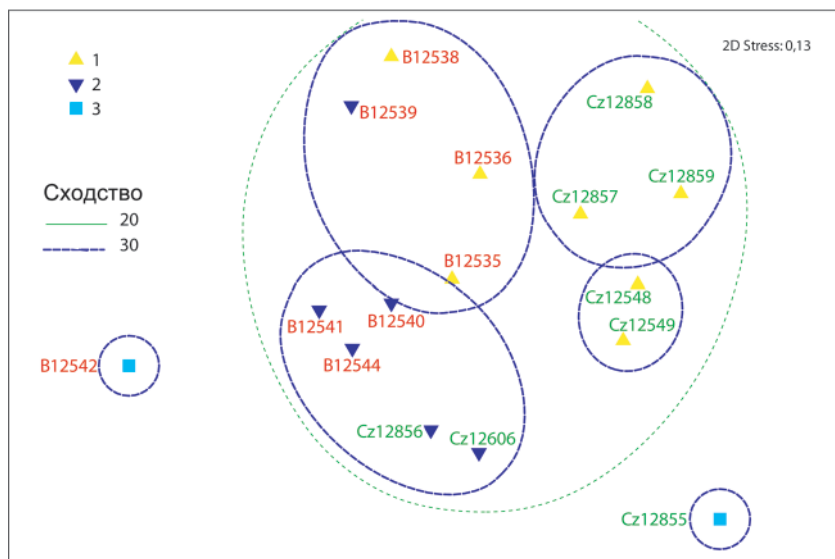


Рис. 3. Анализ сходства станций методом многомерного шкалирования (индекс Брея-Кертуса). Символы соответствуют заливам: В – залив Благополучия, Cz – залив Цивольки и положению на оси заливов: (1) – внешний склон; (2) – внутренняя часть заливов; (3) – кутовая часть

являются двустворчатые моллюски *A. crenata* и сипункулиды *G. margaritacea*. Вероятно, это связано с особенностями гидродинамики на склоне Новоземельского желоба и с особенностями стока и седиментации взвешенного вещества, выносимого из заливов. Во внутренней части (ст. 12606 и 12856 в заливе Цивольки и 12540, 12541, 12544 в заливе Благополучия) различия сглаживаются, и мы наблюдаем сообщество с доминированием *E. tenuis*, хотя в заливе Благополучия на второе место по биомассе выходит офиура *Ophiopleura borealis* (до 30 %). При этом происходит обеднение состава сообществ.

Распределение ряда видов носит градиентный характер. В верхних частях заливов появляется характерный представитель заливов Арктики двустворчатый моллюск *Portlandia arctica*, способный выдерживать пониженную соленость и полностью отсутствующий в мористых частях, где сменяется представителями рода *Yoldiella*.

Донное население кутовых частей различается особенно сильно, поскольку именно здесь различия в абиотических факторах между заливами наиболее резки. Если в куту залива Благополучия располагается сообщество *P. arctica* (ст. 12542), то в приледниковой части залива Цивольки (ст. 12855) с наиболее контрастными условиями среды и повышенной минеральной седиментацией население представлено случайным набором видов, населяющих соседние участки. При этом показатели бентоса крайне низки (6 видов при численности 40 экз/м² и биомассе 3.4 г/м²).

Таким образом, основными факторами, влияющими на сообщества макробентоса заливов, оказываются тип залива, глубина, грунт и положение станции на оси залива от кутовой до мористой части. В зависимости от конкретных условий среды можно наблюдать доминирование тех или других видов из общего видового пула. В целом сообщества обоих заливов обладают сходной фауной, являющейся обедненным вариантом сообществ открытых частей Карского моря и не проявляют существенных черт изоляции.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и РГО (проект № 13-05-41372) а также РНФ (проект № 14-17-00681).

Литература

1. Семенов В.Н. Систематика и экология морских бассейнов севера на разных этапах изоляции // Апатиты, 1988. ММБИ. Препринт 4. С. 3–26.
2. Gulliksen B., Holte B., Jakola K. J. The soft bottom fauna in Van Mijenfjord and Raudfjord, Svalbard // Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms. 1985. PP. 199–215.

3. Kendall M. A., Widdicombe S., Weslawski J. M. A multi-scale study of the biodiversity of the benthic infauna of the high-latitude Kongsfjord, Svalbard // Polar Biology. 2003. V. 26. № 6. PP 383–388.

БЫСТРОЕ РАЗВИТИЕ ИНВАЗИИ КРАБА-СТРИГУНА (*CHIONOECETES OPILIO*) В КАРСКОМ МОРЕ

Спиридонов В.А.¹, Залота А.К.¹, Веденин А.А.¹

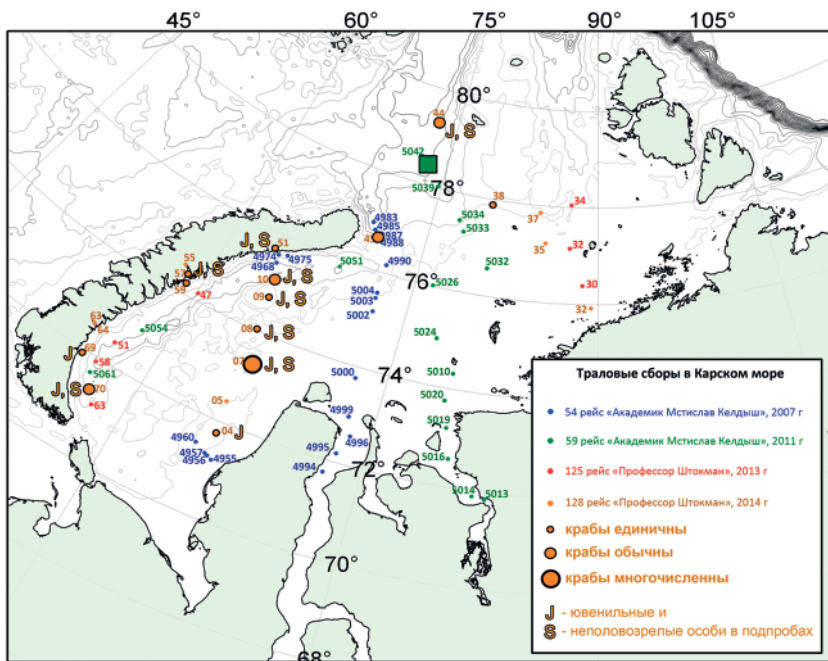
¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
vspiridonov@ocean.ru, azalota@gmail.com, urasterias@gmail.com

Краб-стригун (*Chionoecetes opilio*) относится к семейству Oregonidae – практически единственной группы настоящих крабов (Brachyura), представители которой (в основном род *Hyas*) обитают в арктических морях. До недавнего времени краб-стригун, или, как его еще называют, калькируя английское название, снежный краб рассматривался как преимущественно бореальный вид. Его естественный ареал охватывает северную часть Тихого океана от Берингова пролива до вод Британской Колумбии и северной части Японского моря, Чукотское море с отдельными находками в восточной части Восточно-Сибирского моря и западной части моря Бофорта, а также Северо-Западную Атлантику: от крайнего северо-западного побережья США до Девисова пролива. Одна находка известна из пограничного района между морями Восточно-Сибирским и Лаптевых.

В 1996 г. краб-стригун был обнаружен в Баренцевом море [3], что, очевидно, явилось, результатом интродукции, однако о ее векторе, а также происхождении попавших в Баренцево море особей можно лишь строить предположения [4, 6]. Благодаря промыслово-биологическим исследованиям Полярного института рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО) рост и экспансия популяции краба-стригуна в Баренцевом море хорошо документированы: менее чем за 15 лет этот вид распространился в восточной части Баренцева моря, будучи особенно обилен в приновоземельском районе; в 2007–2008 гг. краб-стригун встречался у северной оконечности Новой Земли и в районе пролива Карские Ворота [4]. Однако съемки, выполненные в 2007 г. в западной части Карского моря ПИНРО [1] и ИО РАН (наши данные, см. рис. 1) не выявили присутствия там этого вида. В 2012 г. взрослые крабы и личинки были обнаружены на нескольких станциях обширной траловой съемки НИС

«Дальние Зеленцы» в юго-западной части Карского моря [2], а в 2013 г. крабы были обнаружены и в юго- и северо-восточной частях моря, встречаемость составила около 20% [4].

После 2007 г. ИО РАН были организованы три экспедиции в Карское море (рис. 1), которые позволяют проследить развитие инвазии *C. opilio* в Карском море. Крупный макробентос исследовали с помощью двухметрового трала Сигсби. Количество тех или иных видов в улове оценивали визуально по трехступенчатой шкале: встречается единично, обычен, многочисленен. Кроме этого из каждого улова брали подпробу объемом примерно 10, которую фиксировали, а затем на берегу разбирали по видам и взвешивали. Крабов измеряли, размерный состав



Scale: 1:5952043 at Latitude 90°

Рис. 1. Траловые станции экспедиций ИО РАН в Карское море и встречаемость краба-стригуна в уловах (точка наименьшего диаметра означает отсутствие крабов в улове по визуальной оценке); J, S указывают на присутствие ювенильных и неполовозрелых особей в детально разобранный подпробе. Зеленым квадратом отмечено место первой находки вида в Карском море

анализировали с помощью методов разделения смеси нормальных распределений, реализованных в программе PaSt [5].

В 2011 г. крабы были встречены на единственной станции в желобе Святой Анны вблизи границы с Баренцевым морем (рис. 1). В 2013 г. встречен не был, впрочем, количество тралений было невелико. В 2014 г. встречаемость крабов-стригунов на станциях съемки (глубины от 50 до 450 м, в основном илистые грунты) составила 60%, а в западной части моря она приближалась к 75%, молодь стригунов встречалась и в заливах восточного побережья Новой Земли. Температурный диапазон обитания крабов составлял от -1.45 до 0.4 °С, соленость в области встречаемости менялась от 33.9 до 34.9 psu. Область массовой встречаемости крабов-стригунов соответствовала распространению вод атлантического и баренцевоморского происхождения. Примечательна и находка крупных крабов (рис. 2) на станции 38 в восточной части Карского моря, где ранее их не находили. Доля крабов в биомассе крупного (тралово-



Рис. 2. Представители наиболее крупной размерной группы крабов-стригунов (ширина карапакса более 80 мм) отмечены на восточном пределе встречаемости («Профессор Штокман», рейс 128, станция 38)

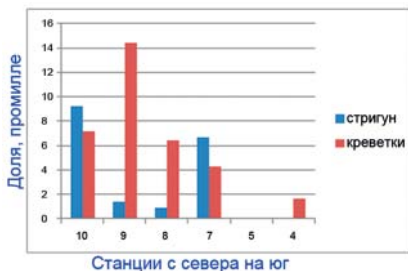


Рис. 3. Доля крабов-стригунов и креветок в общей биомассе крупного макробентоса на разрезе между западными берегами п-ва Ямал и восточным берегом Северного острова Новой Земли. Август – начало сентября 2014 г.

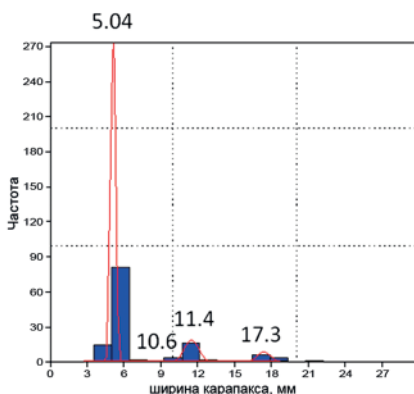


Рис. 4. Размерный состав крабов-стригунов в количественных подпробах из уловов трала Сигсби (август – сентябрь 2014 г.) и его моделирование в виде смеси нескольких нормальных распределений. Указаны средние величины для размерных групп

морской популяции. Современная область распространения вида занимает район пролива Карские Ворота, желоб Св. Анны, весь Ямало-Новоземельский район и заходит на северо-восточный шельф моря. К 2014 г. карская популяция могла включать не менее двух годовых ко-

го) макробентоса (основу которого составляли иглокожие) колебалась от 1 до 9 промилле, на разрезе от п-ва Ямал к Северному острову Новой Земли (станции 4–10 – рис. 1) она была сопоставима с долей всех прочих десятиногих ракообразных (креветок) (рис. 3).

Примечательно большое количество в пробах молоди со средней шириной карапакса около 5 мм, которая с учетом известных размеров личинок не может быть ничем иным, как недавно осевшим поколением 2014 г. Размерный диапазон этой самой мелкой молоди очень узок, что предполагает весьма сжатые сроки размножения и оседания. Поскольку столь массовый единовременный занос личинок из Баренцева моря представляется маловероятным, то, скорее всего, в данном случае мы наблюдаем уже воспроизводство карской популяции краба. Группа со средними размерами 10.6–11.4 мм может представлять годовиков и, весьма вероятно, также имеет местное происхождение.

Таким образом, вселение краба-стригуна в Карское море произошло во второй половине 2000-х годов с северо- и юго-восточных границ с Баренцевым морем в результате экспансии баренцево-

горт местного пополнения. Биомасса только неполовозрелой части популяции краба стригуна в западной части Карского моря достигла за 6–7 лет величин, сравнимых с биомассой всех остальных десятиногих ракообразных. Можно предполагать, что дальнейшая экспансия вида в доступные по соленостному режиму районы сибирских морей будет регулироваться ледовыми условиями лета и их пригодностью для развития личинок; также возможна лимитирующая роль кормовых ресурсов.

Исследование подготовлено в рамках проекта Российского научного фонда № 14-50-00095.

Благодарим экипажи и научных сотрудников экспедиций на НИС «Академик Мстислав Келдыш» и НИС «Проф. Штокман», принимавших участие в океанологических и бентосных работах. Особая благодарность С.В. Галкину, А.Б. Басину, А.А. Удалову и К. Минину.

Литература

1. Анисимова Н.А., Любин П.А., Менис Д.Т. Бентос // Экосистема Карского моря. Под ред. Б.Ф. Прищепы. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 2007. С. 43–105.
2. Зимица О.Л. Находка краба-стригуна в Карском море // Биол. моря. 2014. Т. 40. № 6. С. 497–499.
3. Кузьмин С.А., Ахтарин С.М., Менис Д.Т. Первые находения краба-стригуна *Chionoecetes opilio* (Decapoda, Majidae) в Баренцевом море // Зоол. журн. 1998. Т. 77. № 4. С. 489–491.
4. Соколов А.М. Интродукция краба-стригуна в Карское море. Пример дальнейшей адаптивной стратегии этого вида в российском секторе Арктики (по результатам исследований ПИНРО в 2013 г.) // Рыбное хозяйство. 2014. № 6. С. 63–67.
5. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. V. 4. No.1. PP.1–9.
6. Pavlov A.V., Sundet J.H. Snow crab // The Barents Sea ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Trondheim: Tapir Academic Press. 2011. PP. 168–172.

ОСОБЕННОСТИ ФАУНЫ ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ (КАРСКОЕ, ЛАПТЕВЫХ, ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРАЛОВЫХ СЪЕМОК 2012–2014 ГГ.

Зими́на О.Л.¹, Се́мин В.Л.²

¹Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

²Институт аридных зон ЮНЦ РАН

E-mail: semin@ssc-ras.ru

Информация о видовом составе и распределении крупных форм зообентоса («мегабентос») в Арктических морях (за исключением Баренцева моря) крайне скудна. Наиболее полная траловая съемка Карского моря проведена в 2007 г. ПИНРО, однако район исследований тогда ограничивался Новоземельским желобом и желобом Святой Анны [1]. Последняя макробентосная съемка моря Лаптевых с применением тралов Сигсби проводилась в 1993–1998 гг. [2].

Данная работа основана на материалах, собранных в комплексных экспедициях ММБИ на НИС «Дальние Зеленцы» в июле–октябре 2012 г. в Карском море, и в июле–октябре 2014 г. в море Лаптевых и на Новосибирском мелководье (рис. 1, 2). Работы выполнялись с помощью донного ихтиологического трала с ячеей в кутовой части мешка 135 мм (ячей вставки 12 мм), буксируемого в течение 30 минут со скоростью 3 узла. На глубинах менее 20 метров использовался трал Сигсби (длина рамы 1 м, высота 30 см, ячей 7 мм). Всего в Карском море выполнено 93 траления: 82 донным тралом и 11 тралом Сигсби; в море Лаптевых выполнено 116 станций: 92 донным тралом и 24 тралом Сигсби.

Мегабентос Карского моря. Основные количественные характеристики мегабентоса даны в табл. 1 и на рис. 1, В–Д. По сравнению с данными 2007 г. [1], видовой список тралового бентоса Карского моря увеличен на 62 таксона (за счет расширения района работ и подробной обработки групп Crustacea, Polychaeta и Gastropoda). Впервые для Карского моря отмечены краб-стригун *Chionoecetes opilio*, амфипода *Anonyx bispinosus*, голожаберные моллюски *Murmania antiqua* и *Chlamylla atypica*.

В биогеографической структуре фауны преобладают бореально-арктические виды (75%). Арктические виды (18%) в основном приурочены к Новоземельскому желобу. Их число растёт с глубиной и снижением

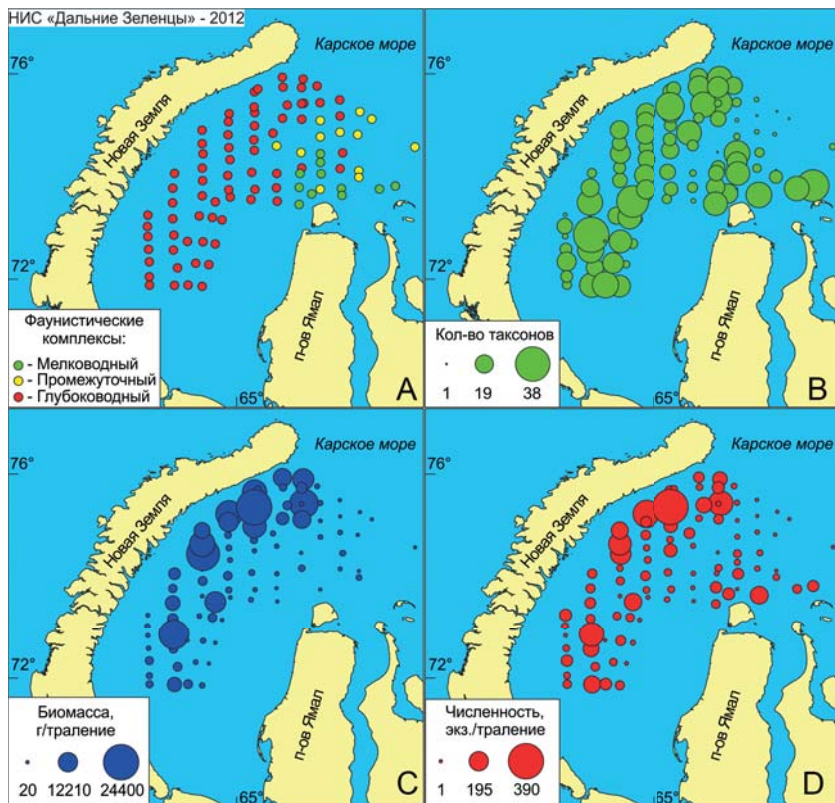


Рис. 1. Карта-схема распределения фаунистических комплексов (А) и количественных характеристик (В-Д) мегабентоса в Карском море

придонной температуры, глубже 250 м они преобладают над бореально-арктическими. Бореальные виды (2%) встречаются в основном в западной и северной части акватории в области влияния Баренцевоморских вод. Среди полихет преобладают аркто-атлантико-тихоокеанские шельфовые формы (40%).

Фаунистические комплексы. Методом кластерного анализа в пределах исследованной акватории Карского моря выделено 3 фаунистических комплекса, объединенных в 2 четко обособленные группы: открытого моря и прибрежных мелководий. На малых глубинах Обь-Енисейского мелководья в условиях заметного опреснения (до 29%) и высоких придонных температур (до +6°C) отмечен специфический

комплекс видов прибрежных мелководий с преобладанием офиуры *Stegophiura nodosa* и моллюсков *Serripes groenlandicus* и *Portlandia arctica* (рис. 1, А). Характерными для этого комплекса являются заросли гидридов и мшанок, обилие амфипод, кумовых раков, изопод, голожаберных моллюсков, голотурий *Myriotrochus rinkii*, полихет *Bylgides groenlandicus*, *Ampharete borealis*, *Nephtys spp.*, *Ophelia sp.*, *Pectinaria hyperborea*. Всего в данном районе отмечено 78 таксонов донных беспозвоночных. На северном склоне Приямальского и Обь-Енисейского мелководья, при несколько пониженной солености (32,5–33‰) и низкой положительной и слабоотрицательной температуре (–0,1..+2°C) на илисто-песчаных и песчаных грунтах на глубине 20-50 м отмечен обедненный **промежуточный комплекс видов** (рис. 1, А). Постоянными компонентами здесь являются звезда *Urasterias lincki* и креветка *Sabinea septemcarinata*, моллюски Astartidae g. spp., изоподы *Saduria spp.* Всего в этом районе отмечен 31 таксон беспозвоночных. В районе Новоземельского желоба и его склонов отмечен **глубоководный комплекс видов** с преобладанием крупных иглокожих, книдарий и декапод (рис. 1, А). Здесь широко распространены мягкие коричневые илы, придонная температура преимущественно отрицательная, соленость высокая. На склоне желоба в северной его части в массе встречаются крупные морские перья *Umbellula encrinus*. Во впадине желоба на глубине более 250 м отмечены глубоководные виды, проникающие в Карское море по желобам и обитающие здесь на значительно меньших глубинах (*Elpidia glacialis*, *Eusirus holmi*, *Cleippides quadricuspis*, *Halice abyssi*, *Poraniomorpha bidens*, *Boreomysis sp.*, *Vythocaris payeri*, *Poliometra proluxa*, *Ptychogastria polaris*). Наибольшую частоту встречаемости и приуроченность к комплексу имеют звезды *Icasterias panopla*, *U. lincki* и *Pontaster tenuispinus*, офиуры *Ophiacantha bidentata*, *Ophiopleura borealis*, *Gorgonocephalus arcticus*, *Ophioscolex glacialis*, кораллы Nephtheidae g. spp., голотурия *Molpadia borealis*, креветки *S. septemcarinata* и *Sclerocrangon ferox*, пантопода *Boreonymphon abyssorum*, морская лилия *Heliometra glacialis*, полихеты *Aglaophamus malmgreni*, *Branchiomma arctica*, *Euchone papillosa*, *Nereis zonata*, *Pista maculata*, *Spiochaetopterus typicus*, а также актинии *Hormathia parasitica*, ассоциированные с гастроподами *Colus sabini*. Всего в этом комплексе встречено 152 таксона.

Мегабентос моря Лаптевых и Новосибирского мелководья.

Количественные характеристики мегабентоса района приведены в табл. 1 и на рис. 2, В-D. Максимальная плотность поселений (местами более 10000 экз./траление) характерна для офиур и мелких голотурий *M.*

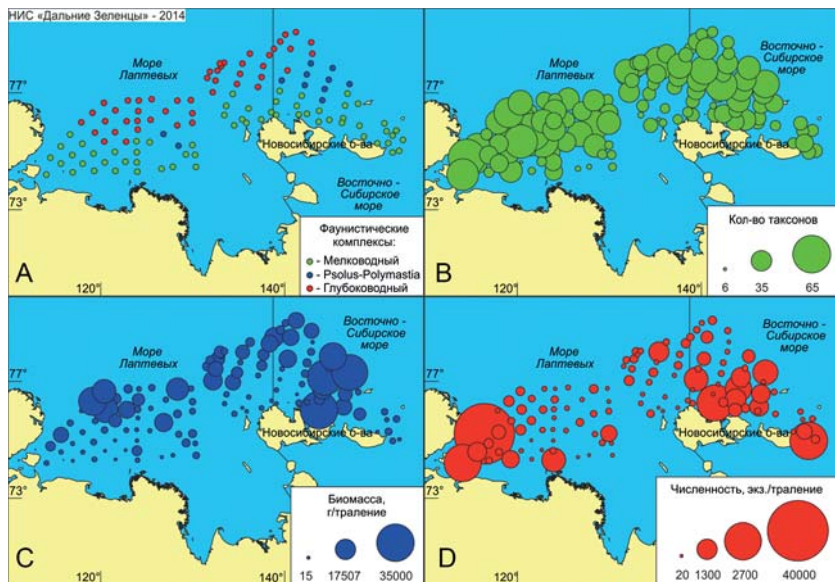


Рис. 2. Карта-схема распределения фаунистических комплексов (А) и количественных характеристик (В-Д) мезабентоса в море Лаптевых и на Новосибирском мелководье

rinkii и *Ocnus glacialis* на песчаных мелководьях. Наибольшей биомассы достигают звезды *U. linkii* (до 15 кг/траление), и голотурии *Psolus peronii* (до 30 кг/траление) в более глубоководных районах. Особенностью биогеографического состава фауны моря Лаптевых является значительная по сравнению с Карским морем доля тихоокеанских форм, особенно среди амфипод и иглокожих.

На исследованной акватории моря Лаптевых также выделены 2 типа фаунистических комплексов мезабентоса: мелководные, расположенные в прибрежье Новосибирских островов и в южной мелководной части акватории на песчанистых грунтах, и глубоководные, характерные для северной части акватории (рис. 2, А). На мелководье доминируют те же виды, что и в аналогичных биотопах Карского моря, однако добавляется голотурия *O. glacialis*. В глубоководных сообществах, как и в Карском море, преобладают иглокожие со сходным видовым составом. Для локальных участков Новосибирского мелководья и юго-западной части моря Лаптевых, на которых распространены илесто-песчаные грунты с большим количеством ЖМК и плоских камней, характерно

своеобразное сообщество тихоокеанской голотурии *P. peronii* и губок *Polymastia sp.*, не отмеченное в Карском море.

Таким образом, сходство видового состава наиболее распространенных видов мегабентоса исследованных морей довольно велико. Для обеих акваторий характерно наличие двух типов донных сообществ: песчаных мелководий (до глубины 50 м) и глубоководных районов. Состав доминирующих видов схож, однако в море Лаптевых добавляются массовые формы преимущественно тихоокеанского происхождения, не характерные для Карского моря. Для моря Лаптевых и Новосибирского мелководья характерны более высокие значения биомассы и численности иглокожих, чем в Карском море, а также более высокое видовое разнообразие мегабентоса. На обширных площадях значительных биомасс достигают полихеты *Flabelligera affinis* и *Eunoe globifera*, что также не характерно для Карского моря.

Литература

1. Анисимова Н.А., Любин П.А., Менис Д.Т. Бентос // Экосистема Карского моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2008. С. 43–106.

2. Петряшев В.В., Голиков А.А., Шмид М., Рахор А. Макробентос шельфа моря Лаптевых и сопредельных акваторий // Фауна и экосистемы моря Лаптевых и сопредельных глубоководных частей Арктического бассейна. Исследования фауны морей. Вып. 54(62). Ч. 1. СПб., 2004. С. 9–28.

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛЫХ АТЛАНТИЧЕСКИХ И БАРЕНЦЕВОМОРСКИХ ВОД НА СОСТАВ ДОННОЙ ФАУНЫ КАРСКОГО МОРЯ

Веденин А.А., Минин К.В., Галкин С.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова

Карское море – одно из полярных морей России, расположенное между архипелагами Новая Земля и Северная Земля. На севере море имеет широкое сообщение с центральными частями Арктического бассейна через пролив между землей Франца-Иосифа и Северной Землей. Основу донной фауны Карского моря составляют высокоарктические формы, свойственные эпиконтинентальным водоемам Арктического бассейна. В западную часть Карского моря, огибая Новую Землю с севера и через южные проливы, проникают более теплые баренцево-морские воды. С севера, с больших глубин Арктического бассейна и из

промежуточного «теплого» слоя, в Карское море проникает большое число видов, свойственных более теплым водам Северной Атлантики. Некоторые батинальные и абиссальные формы встречаются в Карском море, но при этом отсутствуют в Баренцевом [2, 4].

Одним из районов, где влияние атлантических и баренцевоморских вод наиболее отчетливо, является северо-западная часть моря – желоб Святой Анны, расположенный на границе Карского и Баренцева морей. В южной части желоб разделяется на два отрога – Западный и Восточный.

Целью нашей работы было изучение распределение сообществ макробентоса в двух отрогах желоба и на прилежащем шельфе. В наши задачи входило: определение качественного и количественного анализа проб; определение организмов макробентоса (по возможности, до вида); сравнение станций друг с другом и выявление различных биоценологических комплексов.

Нами было взято в Западном и в Восточном отрогах и на прилежащем шельфе по пять траловых станций в ходе 54 рейса судна «Академик Мстислав Келдыш» в 2007 году и 59 рейса в 2011 (рис. 1, табл. 1); диапазон глубин составлял 57–550 м. Орудием лова был трал «сигесби» с рамой шириной 2 м. Содержимое тралового мешка промывалось на системе сит 5 мм и 1 мм, после чего промытый материал фиксировался 4% формалином. В дальнейшем мы определяли всех найденных организмов до вида (или до наименьшей возможной таксономической категории), подсчитывали число особей и массу каждого таксона. Статистическая обработка проводилась с использованием пакета программ Primer V6.

На самой мелководной станции Западного отрога желоба Святой Анны (4990) было найдено типичное для этой части моря сообщество с доминированием крупных офиур *Ophiopleura borealis* и примесью крупных голотурий *Molpadia borealis* и полихет *Nothria hyperborea*. Начиная со станции 4988 (т. е., с кромки шельфа) и далее до самой глубоководной станции было обнаружено сообщество с преобладанием офиур *Ophiopholis aculeata* и *Ophiacantha bidentata*, морских ежей *Strongylocentrotus pallidus* и морских лилий *Heliometra glacialis* (рис. 2а). Всего на станциях Западного отрога было найдено 228 видов беспозвоночных. На двух самых мелководных станциях Восточного отрога располагалось сообщество с доминированием офиур *Ophiocten sericeum*, характерное для всей центральной части Карского моря [2, 6], а на трех более глубоководных (начиная с 220 м) – сообщество с преобладанием офиур *Ophiopleura borealis* с большим количеством морских тараканов *Saduria*

Таблица 1. Координаты и глубина на станциях в Западном и Восточном отрогах желоба Святой Анны

Рейс	Станция (№)	Дата	Начало станции			Конец станции		
			Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)	Глубина (м)	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)	Глубина (м)
АМК-54	4983	23.09.2007	76°55.2'	70°16.2'	555	76°57.4'	70°19.7'	550
	4985	23.09.2007	76°47.0'	70°37.9'	440	76°49.2'	70°36.4'	465
	4987	24.09.2007	76°39.5'	71°02.7'	255	76°42.7'	70°57.8'	300
	4988	24.09.2007	76°35.3'	71°15.4'	183	76°32.9'	71°21.8'	151
	4990	24.09.2007	76°09.2'	72°29.8'	128	76°08.0'	72°35.7'	106
АМК-59	5032	24.09.2011	76°33.0'	80°44.9'	57	76°32.9'	80°45.9'	56
	5033	24.09.2011	77°12.6'	78°07.7'	120	77°12.9'	78°08.9'	118
	5034	25.09.2011	77°25.6'	77°34.0'	220	77°26.1'	77°34.1'	220
	5039	26.09.2011	78°00.4'	74°53.8'	364	78°01.1'	74°54.8'	365
	5042	27.09.2011	78°29.5'	72°48.3'	472	78°29.9'	72°51.2'	472

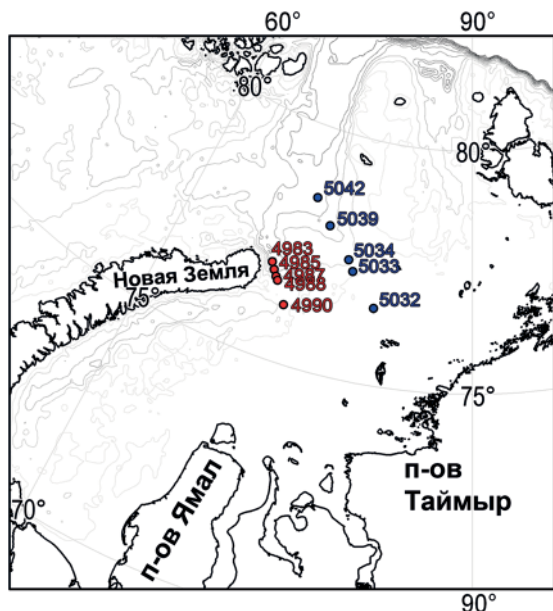


Рис. 1. Карта станций в районе желоба Святой Анны. Красным цветом отмечены станции Западного отрога; синим цветом отмечены станции Восточного отрога

крайне редки или вовсе отсутствуют (офиуры *Ophiura sarsi*, *Ophiopholis aculeata*, гребешки *Chlamys islandicus* и раки-отшельники *Pagurus pubescens*) [5, 6]. В Восточном отроге подавляющее большинство найденных видов являются арктическими, широко распространенными как в Карском море, так и в других Сибирских морях [2, 3]. Помимо доминирующих видов (офиуры *Ophiocten sericeum*, *Ophiopleura borealis*, морские тараканы *Saduria sabini*, голотурии *Molpadia borealis*) следует отметить обнаруженных нами на станции 5042 (глубина 472 м) неправильных морских ежей *Pourtalesia jeffreysi*. Это глубоководный батимальный вид, распространенный от Норвежского и Гренландского морей по всему склону Арктики на глубинах в 1–2 км, но проникающий на значительно меньшие глубины в районе желоба Святой Анны [5]. На станциях Восточного отрога был найден лишь один типичный представитель баренцевоморской фауны (станция 5032, глубина 57 м) – полихета *Polyphysia crassa*. Этот вид, обитающий на шельфе Норвежского и

sabini, голотурий *Molpadia borealis* и офиуры *Ophioscolex glacialis*. На станциях Восточного отрога было найдено 212 видов макробентоса (рис. 26).

Кластерный анализ постанционных видовых списков с использованием индекса Брея-Кертиса показал, что станции четко разделяются на два кластера (рис. 3). Многие виды, найденные на станциях Западного отрога, являются характерными элементами баренцевоморской фауны, и почти везде в Карском море

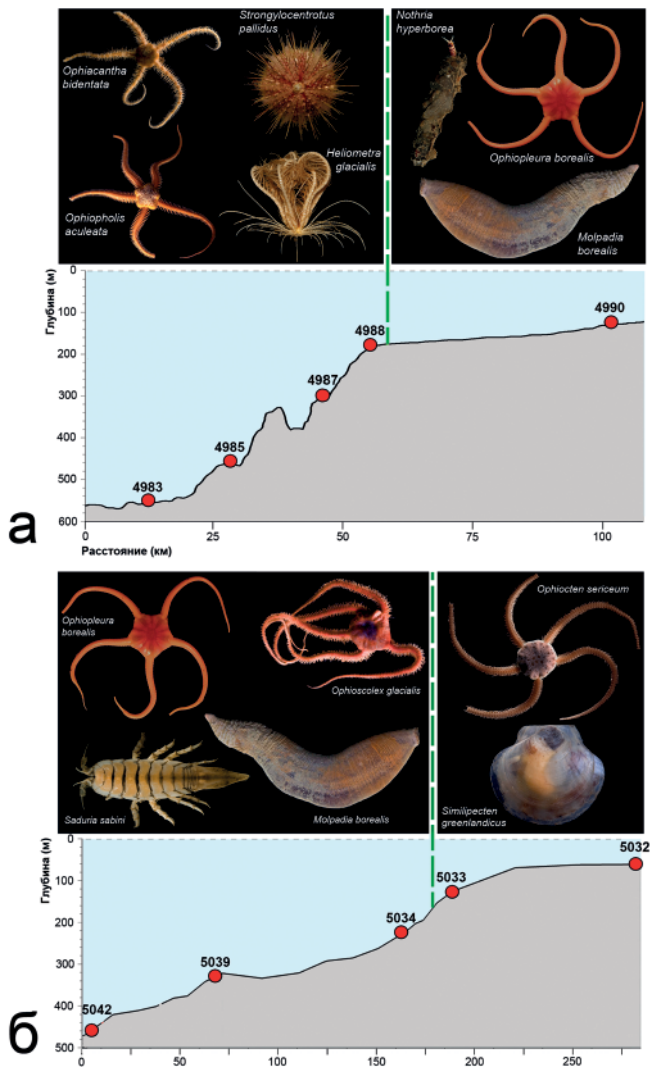


Рис. 2. Батиметрический профиль, расположение станций и доминирующие виды на станциях разрезов через Западный (а) и Восточный (б) отроги желоба Святой Анны

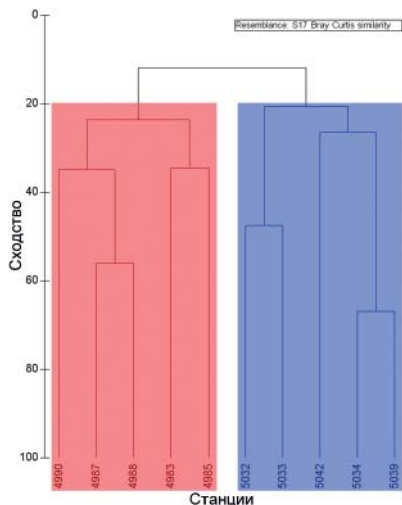


Рис. 3. Результаты кластерного анализа станций с использованием индекса Брея-Кертиса. Красным цветом выделены станции Западного отрога; синим цветом выделены станции Восточного отрога

Баренцева морей, ранее в Карском море не отмечался [1].

Таким образом, мы показали, что сообщества Восточного и Западного отрогов желоба Святой Анны значительно отличаются друг от друга. Очевидно, влияние теплых баренцевоморских вод в западном отроге заметнее, что отражается в большом количестве нехарактерных для Карского моря видов. В Восточном отроге обитает преимущественно арктическая фауна с типичной картиной доминирования офиур *Ophiocten sericeum* на меньших глубинах и рода *Ophiopleura borealis* – на больших. В восточном отроге были найдены глубоководные высокоарктические виды (такие как ежи *Pourtalesia*), более характерные для нижнебатиальных глубин арктического склона.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №13-04-01332) и РНФ (проект №14-17-00681).

Литература

1. Жирков И. А. Полихеты Северного Ледовитого океана. М.: Янус-К, 2001. 632 с.
2. Зенкевич Л.А. Биология морей СССР. М.: Изд. АН СССР, 1963. 739 с.
3. Кузнецов А.П. Трофическая структура донной фауны Карского моря // Донная фауна краевых морей СССР. М.: ИО АН СССР, 1976. С. 32–60.
4. Филатова З.А., Зенкевич Л.А. Количественное распределение донной фауны Карского моря // Тр. Всесоюз. гидробиол. об-ва. 1957. Т.8. С. 3–62.
5. Pipenburg D., Chernova N.V., von Dorrien C.F. et al. Megabenthic communities in the waters around Svalbard // Polar Biol. 1996. V. 16. PP. 431–446.
6. Pipenburg D. Schmid M.K. Brittle star fauna (Echinodermata: Ophiuroidea) of the Arctic northwestern Barents Sea: composition, abundance, biomass and spatial distribution // Polar Biol. 1996. V. 16. PP. 383–392.

IV. МОРСКИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИЕ

К ВОПРОСУ О РАССЕЛЕНИИ БЕЛУХИ (*DELPHINAPTERUS LEUCAS*) В АРКТИКЕ: ИССЛЕДОВАНИЯ В КАРСКОМ МОРЕ – ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

*Мещерский И.Г., Удовик Д.А., Соловьев Б.А., Шпак О.В.,
Глазов Д.М., Рожнов В.В.*

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова
Email: molecoldna@gmail.com*

Белуха, большая часть ареала которой приурочена к морям Северного Ледовитого океана, является истинно арктическим видом китообразных. Широкое, практически циркумполярное распространение белухи, ее относительная многочисленность и заметность, широкий диапазон условий, с которыми животные сталкиваются в разных районах ареала и во время сезонных миграций, а также роль крупного хищника – конечного звена трофических цепей, делают этот вид крайне перспективным в качестве индикатора общего состояния экосистем арктических морей. Такая установка, однако, подразумевает хорошее знание популяционной структуры вида, которая для белухи во многом остается неясной, особенно в применении к морям российского сектора Арктики.

В Карском море в летнее время белуха встречается регулярно и в значительном количестве [1, 2]. Однако в зимнее время наблюдения здесь ограничиваются отдельными встречами, а наиболее частое направление движения групп животных, наблюдаемых весной и осенью, позволяет предполагать, что белухи обитают в Карском море сезонно, а со становлением ледового покрова уходят на запад, в Баренцево море. В отношении морей Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского, где белух встречаются реже и также преимущественно в летнее время, высказывается аналогичная точка зрения, – летом на эту акваторию заходят животные, зимующие в Баренцевом море [2]. В Чукотском море встречаются белухи другой популяции, заселяющей также северную часть Берингова моря и море Бофорта. Но, вероятно, из Чукотского моря белухи способны в летнее время мигрировать и в западном направле-

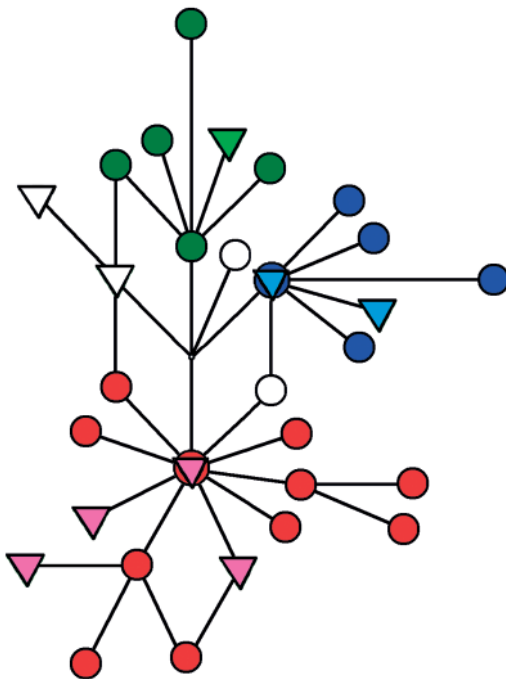


Рис. 1. Медианная сеть гаплотипов фрагмента контрольного региона (410 п.н.) мтДНК белухи. Кружки – варианты, разделение которых на филогенетические кластеры подтверждено анализом более протяженных участков мт-генома. Треугольники – последовательности, обнаруженные в Карском море. Красный цвет – «тихоокеанская», синий – «арктическая», зеленый – «западно-камчатская» филогенетические линии. Отсутствие цвета – невозможность установить родство гаплотипа на основании анализа только данного участка

нии. В итоге предполагается, что Восточно-Сибирском море можно встретить наиболее дальних мигрантов как с запада, так и с востока, но постоянного населения белух на этой акватории нет [2, 3]. Другая точка зрения [1] состоит в том, что и в Карском море, и в морях восточного сектора российской Арктики обитают резидентные группы белух, хотя, возможно, и немногочисленные. Вопрос до настоящего времени остается открытым, т.к. несмотря на значительное количество имеющихся наблюдений и результатов учета белух, полученные данные в многом разрозненны и несводимы к единой схеме.

В отсутствии возможности проводить регулярные полномасштабные учеты животных важная роль в изучении популяционной структуры отводится косвенным методам, в частности, генетическому анализу. Определение состава нуклеотидных последовательностей мтДНК [4–7] позволило сделать вывод о существовании двух филогенетических линий белух, «тихоокеанской» и «арктической» (рис. 1), широко распространенных в арктических морях, примыкающих как к Тихому, так и Атлантическому океанам (рис. 2). Предполагается [5–7], что станов-

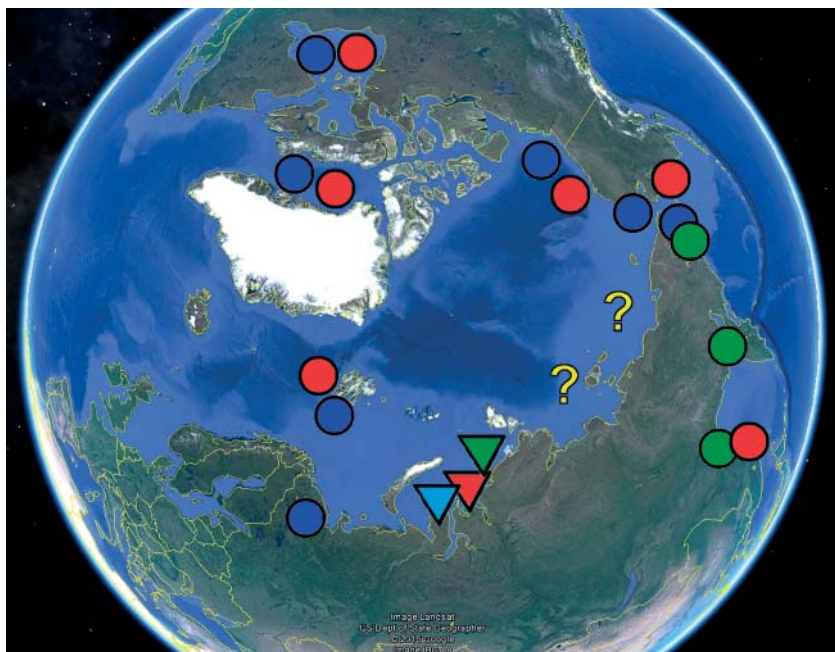


Рис. 2. Встречаемость гаплотипов фрагмента контрольного региона (410 п.н.) мтДНК белухи, относящихся к разным филогенетическим линиям (см. рис. 1), в ареале вида. Кружки – варианты, известные из литературы [5–7], треугольники – оригинальные данные. Знаки вопроса – отсутствие данных как о встречаемости филогенетических линий, так и о популяционной принадлежности встречающихся в данном районе белух. Основа карты – Google Earth

ление этих линий происходило в ледниковое время в Северной части Тихого океана, откуда в голоцене, после открытия Берингова пролива, белухи распространились по значительной части современного ареала, расселяясь преимущественно в восточном направлении. Исходя из этой гипотезы, можно предположить, что в морях Карском и Лаптевых также должны присутствовать представители именно этих двух линий, заходящие туда с запада.

В российских водах, однако, отмечена еще одна филогенетическая линия, «западно-камчатская», носители которой встречаются в Охотском и в северо-западной части Берингова моря (Анадырский лиман), но неизвестны для восточной части Берингова и Чукотского морей

[7]. Причины такого ограниченного, но при этом разобщенного распространения этой линии остаются неясными.

Нами в июне–августе 2012 г. на побережье Карского моря, в окрестностях поселка Диксон, было собрано 16 образцов костного материала белух, сохранившегося со времен промысла (1930–60-е и 1980–90-е годы) и 4 образца ткани от мертвых животных, выброшенных на берег в течение последних двух сезонов. Для 18 из этих образцов были получены последовательности фрагмента мтДНК, относящиеся к 8 гаплотипам. Для двух из них близость к какой-либо филогенетической линии установить не удалось, а шесть относились к «тихоокеанской» и «арктической» линиям, что соответствует представлению о присутствии в Карском море белух, приходящих с запада. Однако для еще одного образца, полученного от мертвой белухи, найденной в 2011 г. на о. Русский в архипелаге Норденшельда, был установлен гаплотип, бесспорно относящийся к «западно-камчатской» филогенетической линии. Хотя единичная встреча не может служить основанием для категоричных выводов, эта находка, тем не менее, свидетельствует в пользу того, что в восточном секторе российской Арктики действительно может обитать обособленная группа (популяция) белухи, происходящая от животных, расселявшихся после открытия Берингова пролива в западном направлении. В этом случае акватория именно Карского, а не Восточно-Сибирского моря, будет являться районом встречи «западных» и «восточных» стад белухи.

Литература

1. Клейненберг С.Е., Яблоков А.В., Белькович В.М., Тарасевич М.Н. Белуха. Опыт монографического исследования вида. М.: Наука, 1964. 456 с.
2. Матишов Г.Г., Огнетов Г.Н. Белуха (*Delphinapterus leucas*) арктических морей России: биология, экология, охрана и использование ресурсов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. 295 с.
3. Кочнев А.А. О миграциях и сезонном распределении белухи (*Delphinapterus leucas*) в Чукотском и Восточно-Сибирском морях // Зоол. журн. 2003. Т. 82. № 9. С. 1112–1121.
4. Brown Gladden J.G., Ferguson M.M., Friesen M.K., Clayton J.W. Population structure of North American beluga whales (*Delphinapterus leucas*) based on nuclear DNA microsatellite variation and contrasted with the population structure revealed by mitochondrial DNA variation // Mol. Ecol. 1999. Vol. 8. P. 347–369.
5. O'Corry-Crowe G.M., Suydam R.S., Rosenberg A., Frost J., Dizon A.E. Phylogeography, population structure and dispersal patterns of the beluga whale *Delphinapterus leucas* in the western Nearctic revealed by mitochondrial DNA // Mol. Ecol. 1997. Vol. 6. P. 955–970.

6. O'Corry-Crowe G.M., Lydersen C., Heide-Jorgensen M.P., Hansen L., Mukhametov L.M., Dove O., Kovacs K.M. Population genetic structure and evolutionary history of North Atlantic beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from West Greenland, Svalbard and the White Sea // *Polar Biol.* 2010. Vol. 33. P. 1179–1194.

7. Мещерский И.Г., Шпак О.В., Литовка Д.И., Глазов Д.М., Борисова Е.А., Рожнов В.В. Генетический анализ белухи *Delphinapterus leucas* (Cetacea: Monodontidae) из летних скоплений на Дальнем Востоке России // *Биология моря.* 2013. Т. 39. № 2. С. 126–135.

МОРСКИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИЕ КАРСКОГО МОРЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ИЗУЧЕННОСТЬ В УСЛОВИЯХ АКТИВНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ

**Глазов Д.М.¹, Удовик Д.А.¹, Кузнецова Д.М.¹, Соловьев Б.А.¹,
Шпак О.В.¹, Мещерский И.Г.¹, Платонов Н.Г.¹, Мордвицев И.Н.¹,
Рожнов В.В.^{1,2}**

1. Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

*2. Национальный исследовательский Томский государственный университет
dglazov@yandex.ru*

Активное промышленное освоение российского сектора Арктики в настоящее время в большей степени затрагивает шельф и побережье Баренцева и Карского морей, что определяет круглогодичную хозяйственную активность в этих водах. Освоение минеральных ресурсов неизбежно оказывает негативное воздействие на морские и прибрежные экосистемы. Для разработки и внедрения любых природосберегающих подходов и технологий необходимо располагать актуальной и наиболее полной информацией как о состоянии экосистем в целом, так и об отдельных видах и сообществах.

В Карском море с различной вероятностью могут быть встречены 12 видов морских млекопитающих (табл. 1).

Активное изучение и регистрация морских млекопитающих в Карском море и прилегающих акваториях в конце XX – начале XXI вв. были связаны в основном с проводившейся здесь ледовой разведкой и транспортировкой грузов. Это хорошо иллюстрирует проведенный нами в 2013 г. анализ встреч морских млекопитающих в период с 1970 по 2013 гг. по данным из открытых источников по заданию междуна-

Таблица 1. Виды млекопитающих в Карском море

Вид	Статус		
	Характер присутствия в регионе	Красная книга Российской Федерации [1]	Красный список МСОП www.iucn-redlist.org
Китообразные			
Белуха	постоянно	–	NT
Высоколобый бутылконос	сезонно	–	
Гренландский кит	сезонно	1	CR D
Косатка	случайно	–	DD
Малый полосатик	случайно	–	LC
Нарвал	случайно	3	
Финвал	случайно	–	
Ластоногие			
Кольчатая нерпа	постоянно	–	LC
Морж атлантический	постоянно	2	DD
Морской заяц	постоянно	–	LC
Гренландский тюлень	сезонно	–	
Хищные			
Белый медведь	постоянно	4	VU A3c

родного фонда PEW (<http://www.pewtrusts.org/>) (рис. 1). Можно видеть, что основные встречи были зарегистрированы на судовых маршрутах.

С 2010 г. в описываемой акватории увеличилось количество, как попутных наблюдений, так и специальных экспедиций, реализуется ряд специальных проектов, связанных с морскими млекопитающими. Все проводимые работы можно разделить на: попутные наблюдения с транспортных, геологоразведочных и других судов, во время различных научно-исследовательских экспедиций; плановые работы, проводимые на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) (*наиболее активно такие работы ведутся НП «Русская Арктика»*); реализацию специальных проектов по отдельным видам морских млекопитающих (программы: «Атлантический морж» (СММ и WWF); «Белый медведь» (ИПЭЭ РАН); «Белуха-белый кит» (ИПЭЭ РАН) и др.); наблюдения, выполненные во время проектов, реализуемых нефтегазовыми ком-

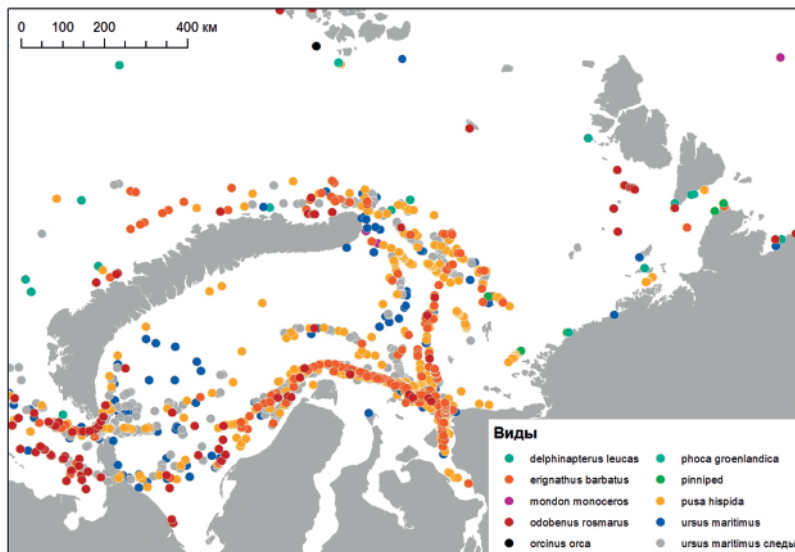


Рис. 1. Схема встреч морских млекопитающих в Карском море и прилегающих акваториях по данным из открытых источников за период с 1970 по 2013 гг. (анализ литературы был выполнен по заданию международного фонда PEW (<http://www.pewtrusts.org/>))

паниями на шельфе и в прибрежной зоне. По нашей оценке (исходя из информации из открытых источников), материал о распространении и численности морских млекопитающих, собранный нефтегазовыми компаниями в последние годы, на порядок превышает объем информации по всем видам морских млекопитающих, собранный в рамках научно-исследовательских проектов.

Сотрудниками ИПЭЭ РАН в рамках программ «Белый медведь» и «Белуха-Белый кит» за период 2011–2014 гг. выполнены работы по изучению распределения морских млекопитающих и белых медведей в Карской акватории и на о-ве Северный архипелага Новая Земля, а также на северо-западном побережье п-ва Таймыр, включая мечение самок белого медведя в районе Пясинского кластера ФГБУ «Объединенные заповедники Таймыра» [2, 3, 4].

В 2012 г. рядом экспертов по морским млекопитающим была разработана шкала критериев оценки статуса морских млекопитающих [5] для отдельных регионов. Используя этот согласованный набор критери-

ев, несколько экспертов независимо оценивали для акватории Карского моря каждый вид из списка. На основе оценок всех экспертов был вычислен средний балл для каждого критерия по каждому виду. Средние баллы объединялись в итоговой колонке, которая в свою очередь представляла суммарный оценочный балл (СОБ) для каждого вида [6]. Чем выше оценочный балл (значение СОБ) у вида, тем более он соответствует критериям вида-индикатора и тем больше внимания должно быть уделено данному виду при планировании и осуществлении любой природоохранной и хозяйственной деятельности в акватории. Исходя из этих критериев статус морских млекопитающих в Карском море выглядит следующим образом (табл. 2).

Таблица 2. Статус морских млекопитающих в Карском море

Вид	Критерии (описание см. в [6])							Сумма
	Места рождения детенышей	Нагульные районы	Миграционные пути	Сезоны пребывания	Категория в Красной книге	Важность для экосистемы региона	Освоение видом региона	
Морж	1.7	2	2.7	3.3	4	3	2	18.7
Белый медведь	0.7	2.3	1.7	3.7	2	3	3	16.4
Белуха	1.7	2	2	3.3	0	2.7	2.7	14.4
Кольчатая нерпа	1.3	2.3	1.3	4	0	3	2.3	14.2
Гренландский кит	0.7	1.7	1.3	2.3	5	2	1	14.0
Морской заяц	1.7	1.7	1.3	4	0	2.7	1.3	12.7
Нарвал	0.7	1	1	1.7	3	2.3	1	10.7
Высоколобый бутолконос	0	0.7	0	0.7	5	0.7	0.7	7.8
Финвал	0	0.7	0	1	4	0.7	0.7	7.1
Гренландский тюлень	0	1.7	1	1.3	0	1.7	1.3	7.0
Косатка	0	1	0.6	1.7	0	1.7	1	6.0
Малый полосатик	0	0.7	0.7	1	0	0.7	0.7	3.8
СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ								11.0

Основными видами-индикаторами, которым можно присвоить высокий статус по разработанной шкале (балл выше среднего) в Карском море являются: атлантический морж, белый медведь, белуха, кольчатая нерпа, гренландский кит и морской заяц. Следует отметить, что именно белый медведь и белуха наиболее активно изучаются во всей Российской Арктике как виды-индикаторы состояния арктических экосистем [7].

Провести оценку изученности видов морских млекопитающих для Карского моря и прилегающих акваторий оказалось довольно сложно по ряду причин. Многие данные, особенно собранные в рамках работ для нефтегазовых компаний, до сих пор являются закрытыми. Попутные наблюдения, собранные в ходе работы наблюдателей на научно-исследовательских и транспортных судах, часто остаются во внутренних отчетах организаций (например, ААНИИ), проводивших эти рейсы, никем не обобщаются и не публикуются. Основой для анализа могут служить только опубликованные в открытых источниках результаты, в основном специальных проектов или работы сотрудников ООПТ.

Ниже кратко рассмотрена изученность отдельных видов с высоким СОБ для региона.

Атлантический морж (СОБ – 18.7). Оценке численности, распределения, путей миграции этого подвида в последние годы уделяется много внимания в рамках работы Совета по морским млекопитающим, WWF, ИПЭЭ РАН, НП «Русская Арктика» и др. В частности, появились новые данные о встречах моржей в регионе [8]. Тем не менее, численность, как всего подвида, так и его карской группировки до сих пор не известна. В российской части ареала численность моржей, населяющих юго-восточную часть Баренцева моря, оценивается в 3943 (95% CI 3605-4325) особей [9], а в районе Шпицберген–Земля Франца-Иосифа – приблизительно в 2000 особей, однако реальная численность атлантического моря, по-видимому, выше [10]. Для других частей ареала оценок численности не проводилось. К Карскому морю условно относятся несколько основных районов обитания атлантических моржей: 1. юго-восточная часть Баренцева моря с прилегающим побережьем Новой Земли и о. Вайгач; 2. карская сторона Новой Земли; 3. архипелаг Земля Франца-Иосифа; 4. моржи встречаются и в юго-западной части Карского моря. Популяционные связи моржей, населяющие эти районы, на сегодняшний день до конца не изучены. Продолжаются работы по мечению моржей, уточнению генетического статуса подвида и другие работы, публикации результатов которых еще впереди.

Белый медведь (СОБ – 16.4). Общая численность белых медведей в мире согласно оценке группы специалистов по белому медведю Международного союза охраны природы (IUCN) составляет 20000-25000 особей [11]. Различные субпопуляции вида изучены в разной степени, обобщающая оценка численности носит в значительной степени экспертный характер. Карская субпопуляция белого медведя одна из четырех в российской Арктике. Оценке ее численности, распределения, путей миграции животных в последние годы уделяется много внимания в рамках программы «Белый медведь» Постоянно действующей экспедиции РАН [2, 3, 4], работ Совета по морским млекопитающим, WWF, НП «Русская Арктика» и др.

Тем не менее, на сегодняшний день не существует достоверных оценок численности и распространения карско-баренцево-морской популяции белого медведя. Отсутствует исчерпывающая картина распространения ключевых мест обитания и расположения берлог. Известно только, что районы повышенной плотности белого медведя и основных объектов его добычи – кольчатой нерпы и морского зайца, часто совпадают [12].

Белуха (СОБ – 14.4). Белуха является промысловым видом. Численность большей части популяций этого вида до сих пор оценивается приблизительно. В отдельных районах она может варьировать в значительных пределах в зависимости от сезона, достигая пика в летний период. Белуха имеет циркумполярное распространение и заселяет все арктические и субарктические моря, при этом вид хорошо адаптирован к ледовым и эстуарным местообитаниям. Говоря о численности, распределении и миграциях белухи Карском море, важно отметить, что специальных исследований этого вида здесь почти не проводилось ни в советское, ни в более позднее время. В начале XXI в. отдельные наблюдения, выполненные в ходе изучения других видов (в частности, моржа), были получены в южной части Баренцева и на западе Карского моря [10, 13]. Таким образом, принятая современная картина распределения и миграций белухи опирается на общее знание биологии и экологии вида. В настоящее время работы ведутся в рамках Программы «Белуха-Белый кит» Постоянно действующей экспедиции РАН, НП «Русская Арктика» и др.

Кольчатая нерпа (СОБ – 14.0) и *морской заяц* (СОБ – 10.7) – промысловые виды. Последние публикации с данными о численности, распространении и местах концентраций этих видов в Карском море относятся к 1980-м гг. Современное представление основано на не систематизированных единичных попутных встречах нерпы и экспертных оценках,

основанных на знании биологии и экологии вида. В настоящее время не осуществляется никаких специальных проектов по этим видам.

Гренландский кит (СОБ – 12.7). Гренландский кит – один из трёх китообразных – эндемиков Арктики. Карское море входит в ареал шпицбергенской – самой малочисленной популяции гренландского кита. Эта популяция была практически истреблена китобойным промыслом XVII–XIX вв. Интенсивное освоение Арктики и климатические изменения в настоящее время ставят под угрозу её существование. Хотя шпицбергенская популяция гренландского кита давно вызывает повышенный исследовательский интерес у специалистов по морским млекопитающим, крайняя малочисленность китов и огромная акватория, на которой они распространены, значительно осложняют ее изучение. До сих пор остаются неизвестными популяционные параметры шпицбергенского гренландского кита, в том числе общая численность, места размножения, маршруты миграций и выбор местообитаний, а встречи китов носят единичный характер. Изучению гренландского кита заметно способствует развитие в последние годы круизного арктического туризма и расширение программ наблюдений за морскими млекопитающими. Эти два источника данных хотя и привносят новые встречи китообразных в базы наблюдений, не могут дать достаточно информации о важнейших параметрах популяции. Представляется необходимым оценить основные параметры популяции кита, определить места его размножения, нагула и маршруты миграций, выявить взаимосвязь с другими компонентами среды.

Морские млекопитающие – ключевые компоненты морских и прибрежных экосистем, наиболее яркие представители арктической живой природы. В настоящее время различными организациями и исследовательскими группами прилагаются усилия, чтобы оценить современную численность, распространение, структуру популяций и другие параметры отдельных видов морских млекопитающих в российской Арктике, в том числе в Карском море. Однако зачастую такие усилия носят бессистемный и нескоординированный характер. Основное внимание обращено к так называемым «знаковым» или «ключевым» видам. Собранный материал часто остается в архивах компаний и научно-исследовательских организаций, не систематизируется и не обобщается. Нам представляется необходимым переходить к скоординированной работе разных исследовательских групп, открыть доступ к материалам, получаемым нефтегазовыми компаниями в рамках работ по их проектам.

Литература

1. Красная книга Российской Федерации (животные). М.: АСТ: Астрель, 2001. 862 с.
2. Рожнов В.В., Еришов Р.В., Иванов Е.А., Кирилов А.Г., Котрехов И.А., Крюков Д.Р., Мизин И.А., Молодцов И.Ю., Молодцова Т.А., Мордвицев И.Н., Найдено С.В., Перхуров Р.А., Платонов Н.Г., Покровская И.В., Пухова М.А. Встречаемость белого медведя на мысе Желания (архипелаг Новая Земля) в летний период 2011–2014 гг. // Сборник докладов 8-ой Международной конференции «Морские млекопитающие Голарктики», г. Санкт-Петербург, 24–27 сентября 2014 г. С. 53.
3. Платонов Н.Г., Мордвицев И.Н., Найдено С.В., Иванов Е.А., Рожнов В.В., Чупрова И.Л., Колпацников Л.А. Анализ перемещения самки белого медведя в Карском море летом 2012 г. по данным спутниковой биотелеметрии // Материалы всероссийской конференции с международным участием «Применение космических технологий для развития Арктических регионов». Архангельск: САФУ, 2013. С. 254–260.
4. Соловьёв Б.А., Платонов Н.Г., Глазов Д.М., Шпак О.В., Рожнов В.В. Распределение белух (*Delphinapterus leucas*) в морях российской Арктики по результатам экспедиции на научно-экспедиционном судне «Михаил Сомов» в сентябре–ноябре 2010 г. Зоологический журнал. 2011. Т. 90. № 11. С. 1398–1402.
5. Болтунов А.Н., Горбунов Ю.А., Кондаков А.А., Лукин Л.Р., Менис Д.Т., Огнетов Г.Н., Светочев В.Н., Семенова В.С. Оценка уязвимости морских млекопитающих при проведении экологических экспертиз хозяйственного освоения морского шельфа на примере юго-восточной части Баренцева моря // Морские млекопитающие Голарктики: том 1. Сборник научных трудов. М., 2012. С. 105–108.
6. Болтунов А.Н., Алексеева Я.И., Беликов С.Е., Краснова В.В., Семенова В.С., Светочев В.Н., Светочева О.Н., Чернецкий А.Д. Морские млекопитающие и белый медведь Карского моря: обзор современного состояния. М., 2015. 104 с.
7. Рожнов В.В. Крупные млекопитающие как виды-индикаторы состояния экосистем в Российской Арктике // Научно-технические проблемы освоения Арктики. М.: Наука. 2015. С. 286–297.
8. Глазов Д.М., Шпак О.В., Кузнецова Д.М., Соловьёв Б.А., Удовик Д.А., Платонов Н.Г., Мордвицев И.Н., Иванов Д.И., Рожнов В.В. Наблюдения моржей (*Odobenus rosmarus*) в морях Баренцевом, Карском и море Лаптевых в 2010–2012 гг. // Зоол. журн. 2013. Т. 92. № 7. С. 841–848.
9. Lydersen C., Chernook V.I., Glazov D.M., Trukhanova I.S., Kovacs K.M. Aerial survey of Atlantic walruses (*Odobenus rosmarus rosmarus*) in the Pechora Sea, August 2011 // Polar biology. V. 35. No 10. P. 1555–1562.
10. Гаврило М.В. О современном распределении атлантического моржа (*Odobenus rosmarus rosmarus*) на севере Карско-Баренцевоморского региона // Морские млекопитающие Голарктики. Сборник научных трудов. Калининград, 2010. С. 25–129.

11. *Obbard M.E., Thiemann G.W., Peacock E., DeBruyn T.D.* (eds). Polar Bears: Proceedings of the 15th Working Meeting of the IUCN/SSC Polar Bear Specialist Group, Copenhagen, Denmark, 29 June – 3 July 2009. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 2010. vii + 235 pp.

12. *Беликов С.Е., Болтунов А.Н., Овсянников Н.Г.* Белый медведь Российской Арктики // Глобальный экологический фонд, Программа развития ООН, 2013. 36 с.

13. *Черноок В.И., Соловьев Б.А., Васильев А.Н., Солодов А.А., Землянская Я.* Результаты авиасъёмки морских млекопитающих в прибрежных акваториях Карского моря (август 2013 г.) // Морские млекопитающие Голарктики. Сб. тезисов. Санкт-Петербург, 2014. С. 69–70.

РОЛЬ ЛЕДОВОЙ ФЕНОЛОГИИ В ЖИЗНИ БЕЛОГО МЕДВЕДЯ В РЕГИОНЕ КАРСКОГО МОРЯ: АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ РАБОТ ПО ПРОГРАММЕ ИЗУЧЕНИЯ БЕЛОГО МЕДВЕДЯ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

***Платонов Н.Г., Мордвинцев И.Г., Иванов Е.А., Найдено С.В.,
Рожнов В.В.***

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

Программа изучения белого медведя в Российской Арктике выполняется в рамках Постоянно действующей экспедиции РАН по изучению животных Красной книги Российской Федерации и других особо важных животных фауны России. Целью Программы является проведение комплексных исследований распространения и популяционной экологии белого медведя, уязвимости местообитаний и благополучия популяции.

В регионе Карского моря проведены судовые наблюдения и выборочные авиаучеты в ходе трёх рейсов НЭС «Михаил Сомов» 2010-3 (6 сентября – 3 декабря 2010 г.), 2011-2 (20 сентября – 30 октября 2011 г.) и 2011-3 (6 ноября – 11 декабря 2011 г.), а также научные отловы белого медведя и возвращение в естественную среду обитания по программе мониторинга карско-баренцевоморской популяции белого медведя совместно с заповедником «Большой Арктический» (10–24 мая 2012 г.) и в ходе экспедиции на м. Желания (Новая Земля) совместно с Национальным парком «Русская Арктика» (8–27 июля 2014 г.).

Двухсезонные фенологические карты ледового покрова представляют собой пространственное распределение сроков исчезновения льда (таяние или вынос) и сроков появления льда (образование или принос)

и позволяют упростить анализ изменения ледовой обстановки за счёт уменьшения размерности данных, но при этом сохраняют возможность извлечения параметров, связанных с протяженностью льда и ее изменением во времени. В связи с этим разработан устойчивый метод оценки сроков исчезновения и появления льда, и полученные результаты использованы для изучения влияния ледовой обстановки на сезонную миграцию и встречаемость белого медведя.

Результаты перемещения самки белого медведя в условиях весеннего таяния льда показаны на рис. 1. Временная составляющая траектории и фенокарта выполнены в единой шкале и соответствуют цветовой легенде дат. Если значение точки траектории меньше значения окружающего пространства фенокарты, медведица находится на льду. И наоборот, если значение точки траектории превосходит значение фенокарты, это означает отсутствие льда в местоположении зверя. Таким образом, сначала медведица предпочитала припайный лед, после его разрушения она продолжила перемещение по суше в восточном направлении, а в начале августа осуществила заплыв от побережья к оставшемуся ледовому покрову в проливе Вилькицкого.

Связь между ледовой фенологией и встречаемостью белого медведя проанализирована на основе наблюдений на м. Желания в летний

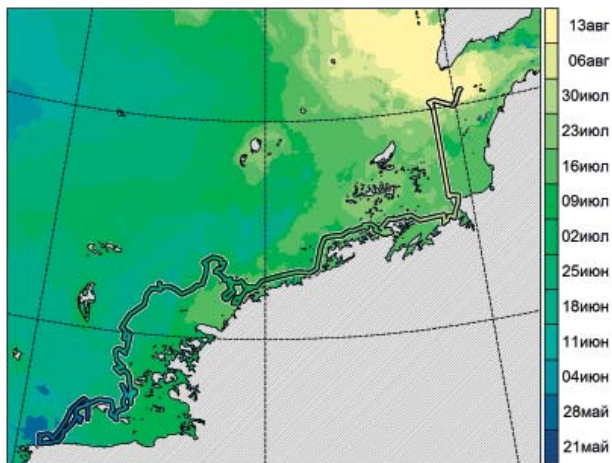


Рис. 1. Траектория самки белого медведя, помеченной спутниковым передатчиком, и даты вскрытия морской поверхности ото льда

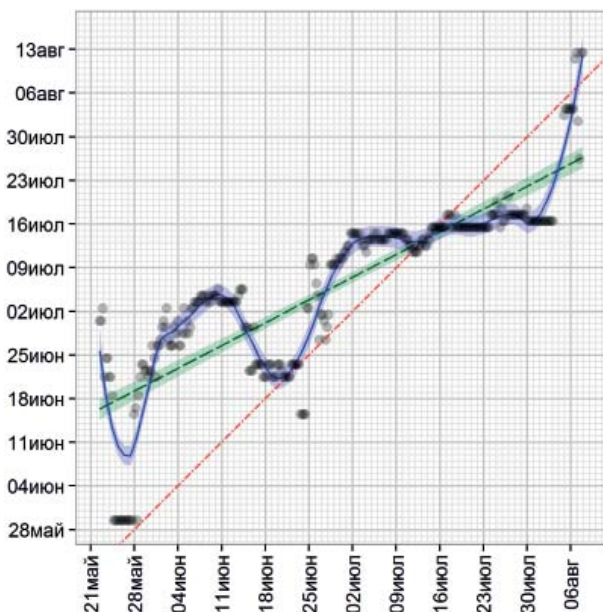


Рис. 2. Диаграмма рассеяния местоположений самки белого медведя (горизонтальная ось) и сроков вскрытия льда (вертикальная ось). Сглаженное методом Loess положение точек показано синей линией (затемненная область соответствует доверительному интервалу 95%). Красной линией отмечено равенство дат вскрытия и локаций. Зелёная линия – регрессионная прямая (затемненная область соответствует доверительному интервалу 95%)

период в течение четырех сезонов 2011–2014 гг. Морской лёд рассматривался в 200-км зоне о-ва Северный архипелага Новая Земля (табл. 1).

Раннее и обширное формирование льда осенью 2010 г. было благоприятным для достижения белым медведем архипелага, но последующее обширное и раннее таяние льда весной 2011 г. не позволило всем особям покинуть архипелаг к лету 2011 г., что подтверждается регистрацией многочисленных встреч в полевой сезон 2011 г. Позднее образование льда осенью 2011 г. ограничило доступ белых медведей к Новой Земле, а лёгкая ледовитость зимы 2011–2012 гг. не способствовала увеличению численности белого медведя, и летом 2012 г. его встречаемость на м. Желания упала по сравнению с предыдущим полевым сезоном. Несмотря на позднее образование льда осенью 2012 г., последующее устойчивое состояние ледового покрова могло способствовать

Таблица 1. Ледовая фенология в 200-км зоне о-ва Северный

	Средн.	Ст. откл., дн.	Мин/ ранн.	Макс/ позд.
Сроки образования льда 2010 г.	15 ноя	7.5	2 ноя	7 дек
Длина ледового сезона 2010/2011 гг., дн.	204	17.0	168	246
Сроки отступления льда 2011 г.	6 июн	13.0	9 мая	6 июл
Длина сезона открытой воды 2011 г., дн.	200	49.7	128	314
Сроки образования льда 2011 г.	23 дек	43.9	3 ноя	9 апр
Длина ледового сезона 2011/2012 гг., дн.	164	51.3	18	229
Сроки отступления льда 2012 г.	4 июн	17.0	29 мар	28 июн
Длина сезона открытой воды 2012 г., дн.	203	28.7	158	321
Сроки образования льда 2012 г.	24 дек	17.3	20 ноя	20 фев
Длина ледового сезона 2012/2013 гг., дн.	187	21.5	113	223
Сроки отступления льда 2013 г.	29 июн	11.2	27 мая	18 июл
Длина сезона открытой воды 2013 г., дн.	140	31.4	92	280
Сроки образования льда 2013 г.	16 ноя	28.7	18 окт	28 мар
Длина ледового сезона 2013/2014 гг., дн.	237	31.7	76	276
Сроки отступления льда 2014 г.	10 июл	7.8	4 июн	31 июл

размеренному увеличению численности белого медведя на архипелаге, а запоздалое отступление льда весной 2013 г. привело к тому, что на м. Желания белые медведи наблюдались преимущественно с августа. Осенью 2013 г. в окрестностях о-ва Северный Новой Земли лёд сформировался поздно, но к апрелю 2014 г. «плотно» окружал архипелаг, не создавая белому медведю предпосылок для ухода от Новой Земли за кромкой льда, а затянутое весеннее таяние и отступление льда вынудило медведей вернуться на острова, что было зафиксировано на м. Желания во второй половине полевого сезона 2014 г.

Работа выполнена при поддержке Русского Географического общества и ОАО ГМК «Норильский Никель».

V. ГЕОХИМИЯ И РАДИОЭКОЛОГИЯ КАРСКОГО МОРЯ

РАСТВОРЕННЫЕ МЕТАЛЛЫ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОБСКОЙ ГУБЫ

Гордеев В.В., Маккавеев Е.П.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Обработка материалов совместных экспедиции ВНИРО – ИОРАН в Обской губе 2010 г. [2] показала, что содержание растворенных металлов меняется в очень широком диапазоне и их пространственное распределение сложное. Было отмечено, что наиболее высокое содержание, измерявшихся растворенных металлов (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni) наблюдалось в водах с величиной pH 7.5-7.7 ед. NBS и общей щелочностью (Alk) 0.8 – 1.1 мг-экв/л [1]. При тех же величинах pH и Alk наблюдался и наибольший диапазон содержания растворенных металлов (от, практически, следов до максимальных величин). Одной из причин такого распределения металлов предполагалось впадение в Губу многочисленных водотоков с разнообразием характеристик бассейнов водосбора и, естественно, химического состава вод [1].

При обработке материалов последующих экспедиций 2013 и 2014 гг. (125 и 128 рейсы НИС «Профессор Штокман») было предложено другое объяснение распределения гидрохимических параметров в Губе [4], применимое в том числе и к металлам. Следует учитывать, что комплекс: р. Обь – Обская губа имеет уникальную среди всех рек мира особенность. Объем вод губы 430 км³, годовой сток р. Обь около 400, а местных рек 140 км³, простейшие расчеты показывают, что время обновления воды примерно 10 месяцев [4]. Поэтому в губе одновременно присутствуют воды, образовавшиеся в различное время года, состав которых различается. Особенно разнится состав вод зимнего стока и вод половодья. Свой вклад в разнообразие условий вносят процессы перемешивания вод и их биологической трансформации. При смешении морских и речных вод присутствие вод разного «возраста» и поступающих с различных участков водосбора, создает уникальное разнообразие химических свойств.

«Зимние» воды (образовавшихся в Губе и в нижнем течении Оби в холодный период, под ледяным покровом) значительно отличаются по

своему химическому составу [3]. «Зимние» воды формируются в холодное время подо льдом, когда подавляются практически все источники питания, кроме подземных вод, более минерализованы, обогащенных неорганическим углеродом, кремнием и, естественно, растворенными металлами. Состав вод половодья определяется в основном атмосферными осадками и особенностями плоскостного смыва с берегов. Минерализация этих вод невысокая, но содержание металлов и многих других веществ будет определяться, в том числе и техногенной нагрузкой бассейна водосбора, но, как правило, ниже, чем в «зимних» водах.

Согласно работе [4] границу между паводковыми (талыми) водами и «зимними» можно провести по величине минерализации около 100 мг/л, а границу между «зимними» и водами зоны смешения морских и речных вод по 1000 мг/л. Но более показательным критерием будет соотношение между Alk и минерализацией. Для паводковых, «зимних» и морских вод это отношение составляет 10–20, 0.5–1.0 и 0.06–0.07, соответственно. Средние значения гидрохимических параметров для вод разного типа (зимние, паводковые и морские) приведены в табл. 1.

«Зимние» воды, вытесняемые из Губы весенним паводком, в летний период и занимают север Губы, непосредственно контактируя и смешиваясь с водами переходной зоны река–море. На рис. 1 показано распределение различных типов вод на поверхности Губы по результатам съемки в конце июля – начале августа 2010 г. но следует учитывать, что перенос воды в Губе происходит достаточно сложно. Основная масса паводковых вод достаточно быстро проходит по центральной части Губы, но у берегов, как правило, скорость переноса замедляется,

Таблица 1. Средние значения гидрохимических характеристик вод Обской губы по материалам экспедиций 2010, 2013 и 2013 гг.

воды	S _{psu}	pH NBS	Alk мг-экв/л	PO ₄ мМ	Si мМ	NH ₄ мМ	NO ₂ +NO ₃ мМ
талые	0,04	7.55	0.6	1.5	22.8	0.9	0.18
зимние	1 – 1.5	7.78	1.1	13.8	90.4	3.4	3.87
морские	31.72	7.65	2.26	1.5	35.06	2.1	5.21
воды	C _{tot} мг/л	Alk/S	Zn мг/л	Fe мг/л	Mn мг/л	Ni мг/л	Cu мг/л
талые	3.57	13.073	0.12	25	1.3	1	0.1
зимние	12.34	0.560	3.02	95	9.9	2	3
морские	27.57	0.071	1	12	0.3	1	0.5

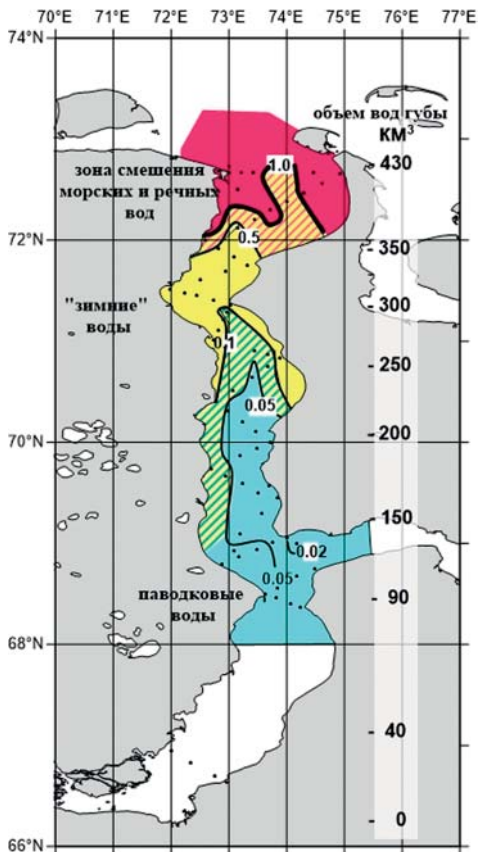


Рис. 1. Распределение различных типов вод на поверхности в Обской губе, июль–август 2010 г. Изолинии показывают величину минерализации вод (г/кг)

«зимние» воды могут задерживаться практически весь летний период. В придонном слое отчетливо проявляются соленые воды, которые в период зимней межени могут проникать в Губу на значительное расстояние. Воды же поступающие из Тазовской губы близки по своим свойствам к водам полой воды Оби. Это связано с тем, что воды рек п-ва Ямал (как и многих других северных рек), имеют на 50–80% снеговое питание и относятся к гидрокарбонатному типу речных вод. Их минерализация находится в пределах 30–180 мг/л, а содержание гидрокарбонат иона (составляющего основную часть щелочности) – в пределах 0.3–1.8 мг-экв/л, что хорошо согласуется с параметрами Обских паводковых вод.

Таким образом, в летний период в Губе присутствуют, по крайней мере, 3 основных типа вод. «Зимние» воды, ко-

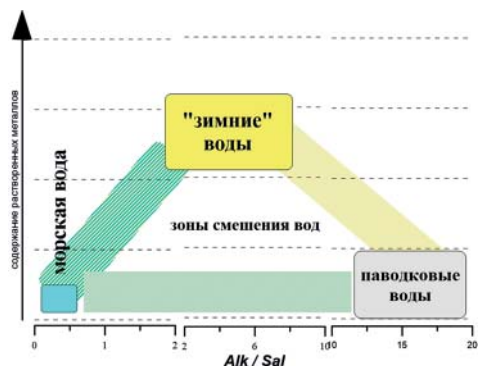


Рис. 2. Схема взаимодействия вод Обской губы в теплый период

торые характеризуются повышенной (по сравнению с водой половодья и летне-осенней межени) минерализацией, высоким содержанием растворенных металлов, растворенного кремния, углерода и повышенным содержанием биогенных элементов. Паводковые воды, минерализация которых почти на порядок ниже, чем у зимних вод, которые содержат и в 2–4 раза меньше растворенных металлов, хотя в них наблюдаются и отдельные локальные максимумы, связанные с антропогенным загрязнением поверхности водосбора. Относительное содержание карбонатного углерода в этих водах чрезвычайно велико. Собственно морские воды, обладая высокой минерализацией, содержат почти следовые количества растворенных металлов. Взаимодействие «зимних» вод и вод поймы с морскими водами, наряду с физико-химическими процессами на маргинальном фильтре и создает сложную картину распределения металлов и значительный диапазон изменения их содержания в водах губы (рис. 2).

Литература

1. *Гордеев В.В., Монько А.Н., Маккавеев П.Н.* Растворенные и взвешенные микроэлементы в Обской губе летом и осенью 2010 г. Материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Москва, 14–18 ноября 2011 г. Том III. М.: ГЕОС. 2011. С. 14–19.
2. *Латин С.А., Мазо Е.Л., Маккавеев П.Н.* Комплексные исследования Обской губы (июль–октябрь 2010 г.). // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 4. С.758–762.
3. *Маккавеев П.Н., Гордеев В.В., Стунжас П.А. и др.* Гидрохимический сток р. Оби в зимний период (по материалам работ в декабре 2001 года). Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби / Ред. Зуев В.В. и др. Томск, 2002. С. 8–20.
4. *Стунжас П.А., Маккавеев П.Н.* Объем вод Обской губы как фактор формирования гидрохимической неоднородности // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 5. С. 622–634.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗООПЛАНКТОНА КАРСКОГО МОРЯ И ЗАЛИВОВ НОВОЙ ЗЕМЛИ

Лобус Н.В.¹, Карандашев В.К.², Дриц А.В.¹

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН
e-mail: lobus.nikolay@gmail.com*

² *Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, Черноголовка*

Планктонные сообщества являются ключевыми звеньями глобального биофильтра морей и океана, осуществляющего ассимиляцию растворенных в воде солей (фитопланктон) и трансформацию минеральной и биогенной взвеси (зоопланктон). Данные об их химическом составе служат неотъемлемой характеристикой среды и имеют важное теоретическое и прикладное значение при изучении функционирования экосистем, как в природных, так и техногенных условиях. Целью работы явилось изучение содержания микроэлементов в зоопланктоне Карского моря и заливов Новой Земли.

Материалы и методы. Зоопланктон для исследований был собран в 128-м рейсе НИС «Профессор Штокман» (август–сентябрь 2014 г.) на акватории Карского моря и двух заливов восточного побережья Н. Земли (Благополучие, Цивольки). Сбор материала производили планктонной сетью в процессе вертикального лова (диаметр входного отверстия 80 см, фильтрующая ячея 500 мкм, скорость подъема 0.6–0.8 м/с) в верхнем 50-метровом слое или «дно–поверхность» при меньших глубинах. Пробы были представлены крупными интерзональными видами, среди которых доминирующие *Calanus glacialis*, *Calanus finmarchicus*, *Metridia longa*. Элементный анализ проб осуществляли методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES, ICP-MS) в Аналитическом сертифицированном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов (АСИЦ ИПТМ РАН). Разложение образцов выполняли по стандартной методике. Определение органического углерода ($C_{\text{орг}}$) осуществляли высокотемпературным сжиганием (+900°C) в токе воздуха на анализаторе Shimadzu-Europe TOC 5000-V-CPH с использованием приставки SSM-5000A.

Результаты исследования и их обсуждение. Основной химический состав проб зоопланктона представлен органическим углеродом.

Для Карского моря и заливов Н. Земли среднее значение составляет $49.5 \pm 4.8\%$ и совпадает с количественными данными по $C_{\text{орг}}$ для арктических и антарктических видов копепода ($47.3 \pm 6\%$). Наряду с органическим углеродом другими, наиболее существенными конституционными элементами являются Na, P, S, K, Mg, Ca, величина которых составляет целые и десятые доли процента.

Сравнение химического состава зоопланктона Карского моря и заливов Н. Земли представлено на рис. 1 в виде диаграмм распределения элементов. График иллюстрирует, что форма карскоморской и новоземельской кривых в диапазоне от Cs до C идентична. Выделяются три группы элементов, содержание которых по сравнению со средней концентрацией в зоопланктоне океана: сопоставимо (Cs, Sc, Cd, Rb, Se, Ti, Al, P, S, K, C), существенно ниже (Sb, Ga, Hg, Be, Ag, Mo, Co, V, Ni, Cr, Mn, Pb, Cu, B, Ba, Sr, Zn, Fe, Mg, Ca, Na), выше (U, As, Li).

Подавляющее большинство проанализированных нами элементов характеризуется отрицательными геохимическими отклонениями. Это может быть связано с рядом причин. Во-первых, при отсутствии механизмов избирательного питания зоопланктон способен перерабатывать разнообразный по генезису взвешенный материал. Прямое влияние на состав океанской взвеси оказывают аэрозоли, а на состав морской – терригенный сток. В-вторых, в любой экосистеме эффективность вовлечения химических элементов в биогенный круговорот зависит от интен-

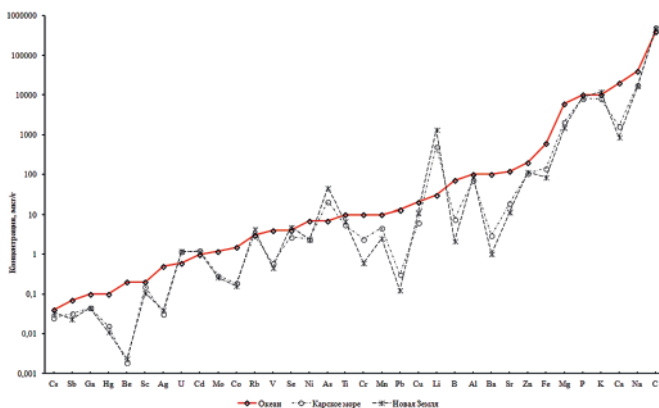


Рис. 1. Распределения средних концентраций макро- и микроэлементов в зоопланктоне: 1 – океана (по Савенко В.С., 1989), 2 – Карского моря, 3 – заливов Новой Земли

сивности биологических процессов, протекающих в ней. Карское море отличается суровыми климатическими условиями. Низкие температуры и продолжительность ледового периода в течение большей части года ограничивают развитие сообществ фитопланктона. Несмотря на выраженную гидрофизическую и гидрохимическую зональность, определяющую разнообразие условий формирования первичной продукции, Карское море характеризуется как олиготрофный водоем.

Среди элементов, для которых отмечено положительное отклонение, наибольший интерес представляют Li и As. Литий не является биофильным элементом и по разным оценкам в среднем составе живого вещества его содержание изменяется от 1 до $10 \times 10^{-5}\%$. Дать однозначный ответ о причинах его столь сильного бионакопления затруднительно, однако, в ряде работ отмечается существование специфических концентраторов среди высших морских цветковых растений. Более высокие уровни мышьяка, установленные для зоопланктона Карского моря и заливов Н. Земли, в целом, хорошо согласуются с ранее проведенными исследованиями донных осадков, для которых также характерно высокое содержание As, причем это накопление объясняется постседиментационными, диагенетическими эффектами в Fe-Mn цикле и не связано с антропогенным воздействием. Таким образом, повышенное содержание As в различных компонентах экосистемы Карского моря, вероятно, является геохимической спецификой рассматриваемой акватории и определяется естественными природными процессами.

ГЕНЕЗИС И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕСИ В КАРСКОМ МОРЕ В ПЕРИОД НАИБОЛЬШЕГО СОКРАЩЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЛЕДОВОЙ ШАПКИ

*Кравчишина М.Д., Леин А.Ю., Суханова И.Н., Артемьев В.А.,
Новигатский А.Н.*

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

Одна из важнейших особенностей экосистемы всех арктических морей – ярко выраженная сезонность всех биогенных процессов и значимое участие в осадочном процессе терригенного материала, сносимого с суши в составе взвеси. Карское море подвержено мощному

воздействию речного стока и вместе с ним – значительному влиянию терригенного осадочного вещества. Ряд биогеохимических процессов, протекающих в водной толще моря, определяется, в первую очередь, составом органического вещества речных вод.

Целью настоящей работы явилось изучение особенностей состава и пространственного распределения взвеси в Карском море в период наименьшей ледовитости в Арктике (2007 и 2011 гг.). Особое внимание уделялось изучению кросс-шельфового переноса терригенного взвешенного вещества, поступающего со стоком рек Оби и Енисея. Работы проводились в двух экспедициях НИС «Академик Мстислав Келдыш»: 54-й рейс (05.09–07.10.2007) в западной части Карского моря и 59-й рейс (10–30.10.2011) в восточной части моря. Получено 158 батометрических проб взвеси на 43-х комплексных океанологических станциях. Дополнительно пробы отбирались ведром с поверхности по ходу судна (всего 33). Исследования выполнены по единой программе и методике.

Концентрация взвеси в деятельном слое Карского моря (~1.2–1.3 мг/л среднее для 2007, 2011 гг.) оказалась близкой к соответствующему значению в Белом море (~1.4 мг/л среднее для 2003–2010 гг.) и в море Лаптевых (~1.7 мг/л среднее для 2003, 2004, 2007, 2008 гг.) [1, 4]. Близость результатов объясняется тем, что эти арктические моря подвержены интенсивному влиянию речного стока, играющему ключевую роль в пространственном распределении и формировании состава морской взвеси (рис. 1).

Состав и концентрация взвеси в обской и енисейской воде существенно отличаются вследствие разного состава пород, слагающих водосборные бассейны этих рек. Концентрация взвеси в пресноводной части эстуария Оби (2007 г.) была в ~10–12 раз выше, чем эстуария Енисея (2011 г.). В составе эстуарной взвеси преобладало минеральное вещество, однако, доля фитопланктона от общей концентрации взвеси в Енисее была в ~10 раз выше, чем в Оби.

По мере смешения пресной и соленой вод в области МФ Оби и Енисея концентрация взвеси уменьшалась экспоненциально. Соленость воды, главным образом, контролирует распределение концентрации взвеси в поверхностном слое воды на внутреннем шельфе. Основное преобразование состава взвеси эстуария в морскую взвесь шельфовых вод происходит в пределах соленостной фронтальной зоны, структура и положение которой подвержено сезонной и межгодовой изменчивости.

Изотопный состав ВОУ связан с концентрацией взвеси и отражает установленную ранее закономерность [4]: на разрезе река – море по

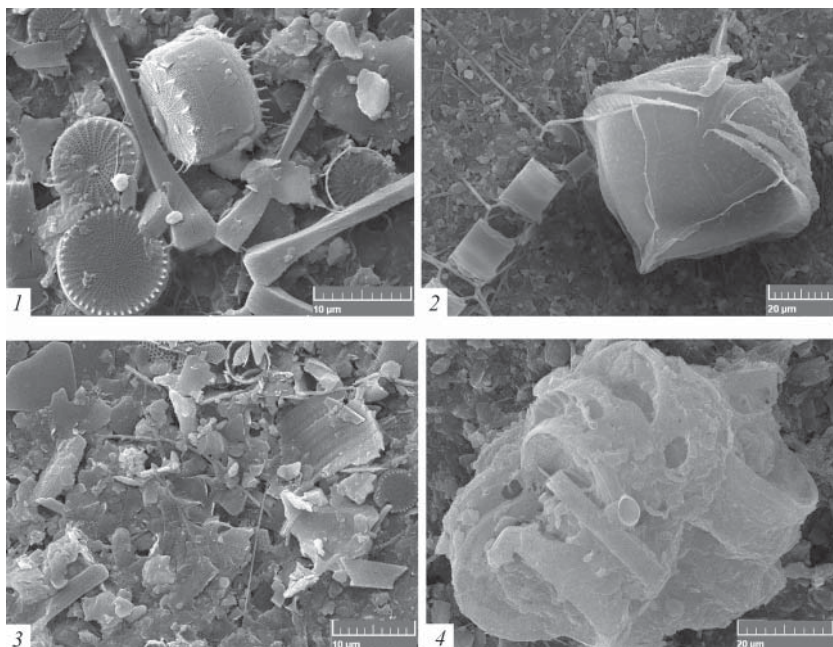


Рис. 1. Примеры микрофотографий проб взвеси: 1 – *Cyclotella* sp., *Aulacoseira distans*, *Asterionella formosa*, минеральные частицы (эстуарий р. Обь); 2 – *Protoperidinium pallidum*, *Chaetoceros compressus*, *Ch. gracilis*, минеральные частицы (внутренний шельф); 3 – детрит и минеральные частицы (соленостная фронтальная зона); 4 – органо-минеральный агрегат, минеральные частицы, детрит (срединный шельф)

мере приближения к внешнему шельфу в составе БОУ возрастает доля морского (фитопланктоногенного) ОВ, что сдвигает $\delta^{13}\text{C}_{\text{БОУ}}$ в сторону утяжеления (от -30.2% до -23.9%). Важную роль в формировании этого «сдвига» играет соленость воды. Надежная линейная зависимость ($R^2 = 0.87$, $n = 17$) между этими параметрами установлена в 2011 г., а более слабая – в сентябре 2007 г. ($R^2 = 0.46$, $n = 9$) в период экстремальных значений аномалии температуры и солености поверхностного слоя воды летом. Аномальное опреснение поверхностного слоя моря за счет обской воды (площадью ~ 40 тыс. км² и толщиной слоя 10 м), установленное в 2007 г., привело к значительному облегчению $\delta^{13}\text{C}_{\text{БОУ}}$ на подавляющей части акватории моря вплоть до южной периферии желоба Святой Анны (рис. 2), по сравнению с нашими данными 2011 г. и данными других авторов [2, 3].

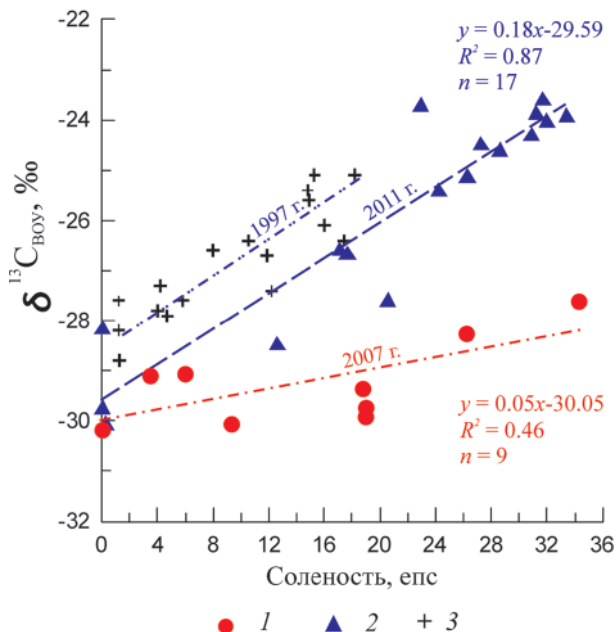


Рис. 2. Зависимость распределения $\delta^{13}C_{\text{ВОУ}}$ от солености в поверхностном слое воды: 1 – в сентябре 2007 г. по данным [5]; 2 – в сентябре 2011 г. по данным авторов; 3 – в сентябре 1997 г. по данным [2]

Среди терригенных частиц преобладают кварц и алюмосиликаты. В открытых водах Карского моря содержание Al практически повсеместно превышало 1–2%, что указывает на значительное влияние терригенного материала на состав морской взвеси. По отношению Si/Al ареалы влияния вещества, поступающего с Новой Земли, ограничены акваториями, непосредственно примыкающими к побережью архипелага. В районе северной оконечности Новой Земли это вещество может распространяться Восточно-Новоземельским течением в северо-восточном направлении от $\sim 76^{\circ}30'$ с.ш. Лишь малая доля этого материала проникает в более южные области. Вплоть до $76^{\circ}30'$ с.ш. в составе терригенной части взвеси Карского моря преобладали частицы, приносимые реками из Западной и Восточной Сибири.

Топография дна (то есть перепад глубин в пределах 50- и 100-метровой изобат, к которым приурочены стрежни основных течений) определяет формирование гидрологического фронта, разделяющего

различные водные массы, и, согласно нашим данным, контролирует распределение концентрации взвеси на срединном шельфе моря.

Показано, что распределение концентрации взвеси в Карском море характеризуется, в первую очередь, широтной зональностью, берущей начало от Обь-Енисейского мелководья и простирающейся вплоть до подножия континентального склона. Процессы кросс-шельфового переноса взвеси (и существующая в море, так называемая, кросс-шельфовая зональность [6]) являются топографически привязанными.

Авторы выражают благодарность начальнику экспедиций М.В. Флинту за поддержку работы, академику А.П. Лисицыну за научное руководство, И.А. Немировской за помощь в организации работ.

Литература

1. *Власенков Р.Е., Макитас А.П.* Исследование пространственно-временных характеристик распределения взвеси в поверхностном слое шельфовых морей Российской Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 2. С. 63–71.

2. *Кодина Л.А., Богачева М.П., Власова Л.Н., Галимов Э.М.* Органическое вещество водной взвеси в эстуарии Енисея: изотопный состав, закономерности распределения, генезис // Геохимия. 1999. № 11. С. 1206–1217.

3. *Леин А.Ю., Русанов И.И., Пименов Н.В. и др.* Биогеохимические процессы циклов углерода и серы в Карском море // Геохимия. 1996. № 11. С. 1027–1044.

4. *Лисицын А.П., Кравчишина М.Д., Копелевич О.В. и др.* Пространственно-временная изменчивость концентрации взвеси в деятельном слое Белого моря // Докл. РАН. 2013. Т. 453. № 4. С. 440–445.

5. *Саввичев А.С., Захарова Е.Е., Веслополова Е.Ф. и др.* Микробные процессы циклов углерода и серы в Карском море // Океанология. 2010. Т. 50. № 6. С. 942–957.

6. *Флинт М.В.* 54-й экспедиционный рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в Карское море // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 677–682.

КОНЦЕНТРАЦИИ И СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДОВ ВО ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОНАХ КАРСКОГО МОРЯ

Немировская И.А.

*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН
e-mail:nemir@ocean.ru*

В связи с активизацией добычи нефти на арктическом шельфе исследование углеводородов (УВ) в экосистеме арктических морей приобретает особую актуальность. По разным оценкам от 1 до 3% от общих объемов добытой в Западной Сибири нефти поступило в окружающую среду. Это составило от 20 до 200 млн т разлитой нефти, которая до сих пор остается главным фактором экологического неблагополучия в бассейнах Оби и Енисея. Последнее приводит к существованию многочисленных экологических «горячих точек» и «импактных зон», где загрязнены воздух, почва, поверхностные и подземные воды, деградированы экосистемы [2]. С целью определения загрязненности поверхностных вод и донных осадках нефтью проведено исследование углеводородов – УВ (алифатических и полициклических ароматических) по маршруту движения судна от п. Архангельск и на станциях в Карском море (2007, 2011, 2013 и 2014 гг.). Исследования проводили методами, принятыми в геохимии при изучении антропогенных и природных УВ в сопоставлении с распределением концентраций взвеси, взвешенного органического углерода, хлорофилла «а» и $C_{\text{орг}}$ в осадках. Подробности методических процедур описаны [3]. Особое внимание было уделено зонам с наиболее значительными градиентами гидрологических параметров, хлорофилла и флуоресценции, которые уточняли по данным лидара УФЛ-9 (данные В.В. Пелевина).

Существует мнение, что основное загрязнение в арктические моря поступает со стоком рек [2]. В тоже время вопрос об объемах выноса нефтяных УВ реками в арктические моря, их распределении между сушей и морем в целом остается до сих пор открытым. Действительно, на разрезе п. Архангельск – Карское море (рис. 1) в поверхностных водах наибольшая изменчивость концентраций УВ приурочена к фронтальным зонам в устье рек Сев. Двины, Оби и Енисея. Подробное изучение УВ в этих районах показало, что их распределение определяется особенностью водосбора рек, и подчиняется закономерностям маргинального фильтра. Поэтому в устьях Сев. Двины и Оби, протекающим по почвам

богатым гумусом, УВ поступают преимущественно в растворенной форме, а в устье Енисея – во взвеси.

Изменчивость концентраций УВ в поверхностных водах в сентябре 2011 г. была значительно выше по сравнению с сентябрем 2007 г., когда содержание УВ не превышало их фоновых концентраций (10–20 мкг/л) и соответствовало уровню в открытых водах морей Арктики [3]. Только в устье Оби их концентрации при переходе от речных вод к морским изменялись в диапазоне 216–10 мкг/л. (рис. 1). В 2011 г. повышенный градиент концентраций УВ зафиксирован во фронтальных зонах не только в устьевых областях Енисея и Сев. Двины, но и в западной части разреза желоба Св. Анны – до 60–80 мкг/л (рис. 1). Здесь на соседних станциях во фронтальной зоне содержание УВ в растворенной форме увеличилось в 4, а во взвешенной в 11 раз. Рост концентраций УВ у южной оконечности желоба Св. Анны, несмотря на превышение величины ПДК для нефтяных УВ (50 мкг/л), обусловлен естественными природными процессами, так как происходил в области высоких градиентов температуры между арктическими водами и водами, опресненными материковым стоком, и маркировались также высокими градиентами концентраций хлорофилла, растворенного ОВ и взвеси.

В маргинальном фильтре Енисея концентрации как алифатических УВ, так и ПАУ в поверхностных водах и в осадках в сентябре 2011 г. (рис. 2) изменялись в меньшем диапазоне, чем в маргинальном фильтре

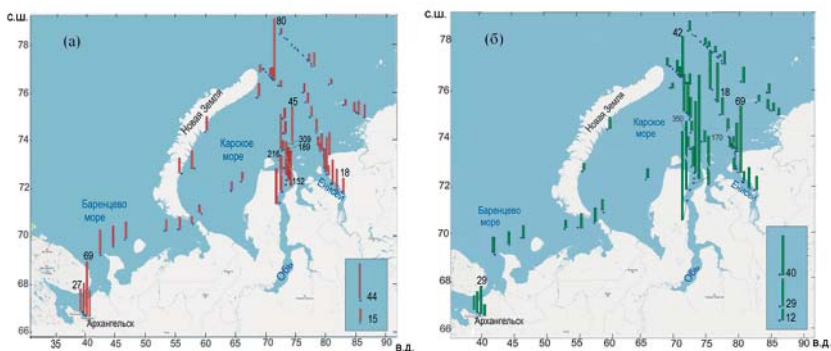


Рис. 1. Распределение алифатических УВ (мкг/л) во взвешенной (а) и растворенной (б) формах в поверхностных водах по маршруту 59 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (сентябрь 2011 г.); для сравнения приведено распределение УВ в устье Оби в сентябре 2007 г.

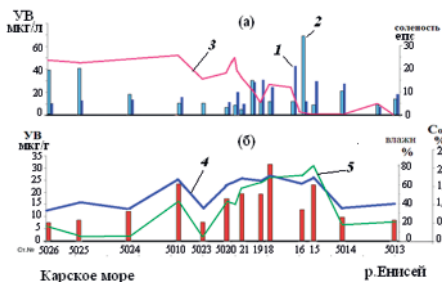


Рис. 2. Распределение на разрезе р. Енисей – Карское море в поверхностных водах концентраций (а) – УВ в растворенной (1), взвешенной (2) формах и солености (3), (б) – УВ (столбцы), влажности (4), $C_{орг}$ (5) в донных осадках

быстро [3]. Микропланктон высоких широт активно усваивает и перерабатывает как автохтонное, так и аллохтонное ОВ из-за низких величин энергии активации основных реакций метаболизма (3–6 ккал/М), сопоставимых с интенсивностью обмена в теплых водах [1]. Поэтому состав н-алканов указывал на высокую степень дегградации гидробионтной составляющей. Кроме того, необходимо учитывать, что главную роль в поставке ОВ в Карское море имеет не молодое биогенное вещество, а терригенный, древний материал принесенный реками. Все это приводит к тому, что в составе алканов воды и взвеси доминируют природные автохтонные соединения, а в донных осадках – аллохтонные.

Полученные данные противоречат распространенному мнению, что в Карском море существуют многочисленные «горячие точки» с максимальным загрязнением Обь-Енисейского района [2]. Возможно, они существуют в водосборе рек Карского моря. Было установлено, что воды в нижнем течении рек Оби, Пура, Надыма, характеризуются как чрезвычайно грязные, а воды р. Таз как значительно загрязненные. Это означает, что для первых трех рек ПДК для загрязняющих веществ значительно превышены. В тоже время, как показали наши исследования и имеющиеся в литературе данные, в эстуариях Енисея и Оби даже, несмотря на высокие концентрации, состав УВ имел преимущественно природный генезис. Видимо, более значимым процессом загрязнения донных осадков становится дальний перенос УВ с водами протоков, пересекающих районы нефтедобычи, куда они попадают с поверхностными и подземными стоками с буровых и технологических площадок.

Оби в сентябре 2007 г. Такое различие связано с характером пород, слагающих бассейны водосбора этих двух рек. В отличие от Оби, сток Енисея зарегулирован, в результате произошло снижение поступления наносов более чем в 2 раза – с 13 млн т/год до 4.9 млн т/год.

Трансформация антропогенных УВ, транспортируемых реками, несмотря на низкие температуры в морской среде, происходит довольно

На основании данных по количеству поступившей нефти и количеству УВ в различных морских объектах, а также учитывая, что сырая нефть содержит в среднем 5.8% н-алканов и 4.7% ПАУ была сделана оценка потоков алканов и ПАУ в моря Арктики [4]. Согласно этому количество нефтяных УВ, поступающих при добыче, транспортировке и потреблении нефти (вт/год) – 827 для н-алканов и 662 для ПАУ значительно ниже, по сравнению с поступлениями от природных просачиваний –2300 и 1880 соответственно. Таким образом, в Арктике даже в прибрежных водах все еще сохраняется относительно чистая окружающая среда. Учитывая преимущественно природный состав УВ в воде и донных осадках прибрежной зоны Карского моря, можно заключить, что маргинальные фильтры рек в основном справляются с поступающими загрязнениями. Поэтому вывод о том, что реки являются основным источником нефтяного загрязнения шельфа арктических морей явно преувеличен.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-05-00223), программы президиума РАН 44П (Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны РФ), госзадания 0149-2014-0038 «Геолого-геохимические исследования...».

Литература

1. *Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И.* Органическое вещество Белого моря. В книге Белое море Т.2. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 492–598.
2. Диагностический анализ состояния окружающей среды арктической зоны Российской Федерации (расширенное резюме) М.: Научный мир, 2011. 124 с.
3. *Немировская И.А.* Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир, 2013. 432 с.
4. AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Chapter 4. Sources, Inputs and Concentrations of Petroleum Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and other Contaminants Related to Oil and Gas Activities in the Arctic. Oslo: AMAP, 2007. 87 p.

ЧЕРНЫЙ УГЛЕРОД В ПРИВОДНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ НАД КАРСКИМ МОРЕМ В КОНЦЕ ЛЕТНЕГО СЕЗОНА

Шевченко В.П.¹, Копейкин В.М.², Новигатский А.Н.¹

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН*

Введение. Черный углерод является продуктом неполного сгорания различных видов топлива (в особенности угля и дизельного топлива), биомассы (леса, травы, сельскохозяйственных отходов) или биотоплива. Аэрозольный черный углерод является компонентом атмосферы, вносящим значительный вклад в климатические изменения в Арктическом регионе [5]. В морях Российской Арктики и на их побережьях проведен ряд исследований по изучению черного углерода в атмосфере, но они были в основном кратковременными [1–4, 7].

Материалы и методы. Пробы аэрозолей были отобраны в приводном слое атмосферы методом фильтрации воздуха через ацетил-целлюлозные фильтры АФА-ХА в 59-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» с 14 сентября по 4 октября 2011 г. и через кварцевые фильтры Hahnemule в рейсе НИС «Профессор Молчанов» с 31 июля по 20 августа 2014 г. Содержание черного углерода на фильтрах определяли оптическим методом с помощью азталометра [2]. Для выявления источника поступления аэрозольного материала с помощью программы HYSPLIT были рассчитаны обратные траектории переноса воздушных масс [6], приходящих в места отбора проб на уровне 20 м.

Результаты и их обсуждение. Концентрации черного углерода в приводном слое атмосферы над Карским морем с середины сентября до начала октября 2011 г. варьировали от 30 до 410 нг/м³, составляя в среднем 131 нг/м³. Это среднее значение было выше, чем средние значения, зарегистрированные в Карском море в сентябре 2007 г. и в Белом море в августе 2006 и 2007 гг. и ниже, чем в Баренцевом море в октябре 1998 г. (рисунок). Эти значения близки к фоновым для Арктики [3, 7]. Наиболее высокие значения в сентябре 2011 г. были отмечены тогда, когда воздушные массы приходили в район отбора проб со стороны Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов, где происходит активное сжигание попутного нефтяного газа. Загрязнение атмосферы при сжигании попутного нефтяного газа в факелах является опасным фактором негативного воздействия нефтедобывающего ком-

плекса на экологию Западной Сибири и ряда других регионов, в том числе Карского моря [7].

Концентрации черного углерода в приводном слое атмосферы над Карским морем в августе 2014 г. были сравнительно низкими (рис.), в основном ниже 60 нг/м^3 , составляя в среднем 43 нг/м^3 . Воздушные массы приходили в районы отбора проб в основном с севера, со стороны центральной части Северного Ледовитого океана.

Выводы. 1. Концентрация черного углерода в приводном слое атмосферы над Карским морем в конце летнего сезона в основном находится на фоновом для Арктики уровне.

2. Повышение концентрации черного углерода в несколько раз происходит эпизодически при поступлении воздушных масс со стороны районов сжигания попутного нефтяного газа.

Благодарности. Авторы благодарны академику А.П. Лисицыну за поддержку, экипажам НИС «Академик Мстислав Келдыш» и «Профессор Молчанов» за помощь в экспедициях, Е.Ю. Чураковой за отбор проб в августе 2014 г. Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (проект 14-05-93089) и Гранта поддержки ведущих научных школ НШ-2493.2014.5.

Литература

1. Козлов В.С., Тихомиров А.Б., Панченко М.В. и др. Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля в приводной атмосфере Белого моря по

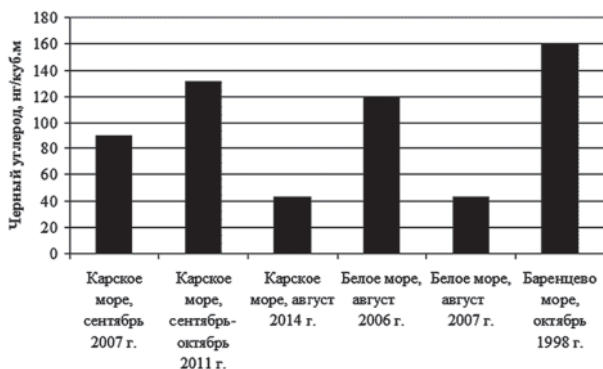


Рис. Средние значения концентраций черного углерода в приводном слое атмосферы над Карским морем в сентябре 2007 г. [3], сентябре–октябре 2011 г. [7] и августе 2014 г. [данная работа], над Белым морем в августе 2006 г. [1] и августе 2007 г. [4] и над Баренцевым морем в октябре 1998 г. [2]

данным одновременных корабельных и береговых измерений в августе 2006 г. // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 8. С. 767–776.

2. *Копейкин В.М., Репина И.А., Гречко Е.И., Огородников Б.И.* Измерение содержания сажевого аэрозоля над водной поверхностью в Южном и Северном полушарии // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 6. С. 444–450.

3. *Полькин В.В., Панченко М.В., Голобокова Л.П. и др.* Приводный аэрозоль Белого и Карского морей в августе–сентябре 2007 г. // Метеорологические и геофизические исследования. М.: Paulsen, 2011. С. 199–214.

4. *Полькин В.В., Панченко М.В., Грищенко И.В. и др.* Исследования дисперсного состава приводного аэрозоля Белого моря в конце летнего сезона 2007 г. // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 10. С. 836–840.

5. *Bond T.C., Doherty S.J., Fahey D.W. et al.* Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment // J. Geophys. Res. 2013. V. 118. P. 5380–5552.

6. *Draxler R.R., Rolf G.D.* HYSPLIT (Hebrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory). Silver Spring (MD): NOAA Air Resources Lab. 2003. Mod access via NOAA ARL READY. <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>.

7. *Stohl A., Klimont Z., Eckhardt S. et al.* Black carbon in the Arctic: the underestimated role of gas flaring and residential combustion emissions // Atmos. Chem. Phys. 2013. V. 13. P. 8833–8855.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОГРАНИЧНЫХ ЗОН КАРСКОГО МОРЯ

Беляев Н.А., Поняев М.С.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
e-mail: ratnick@mail.ru*

На основании материалов, отобранных в двух комплексных экспедициях на НИС «Академик Мстислав Келдыш» был исследован состав нормальных алифатических углеводородов (n-алканов) в воде, взвеси и верхнем слое донных осадков центральной части Карского моря от эстуарной зоны до начала желоба Святой Анны. Алифатические углеводороды являются биомаркерами органического вещества (ОВ), их спектр распределения отражает процессы поступления, трансформации и накопления ОВ в экосистеме.

В результате комплексных исследований экосистемы Карского моря, проведенных в 2007 и 2011 годах, были выделены 4 области, разделенные фронтальными зонами и маркируемые по изменению кон-

централей ОБ [1, 2] и составу нормальных углеводородов. Выделенные области и условные границы фронтальных зон представлены на рис. 1. Средние значения $C_{орг}$, содержания алканов и параметров их распределения представлены в табл. 1.

Для эстуарных областей Оби и Енисея характерно формирование ОБ донных осадков веществом исключительно терригенного генезиса

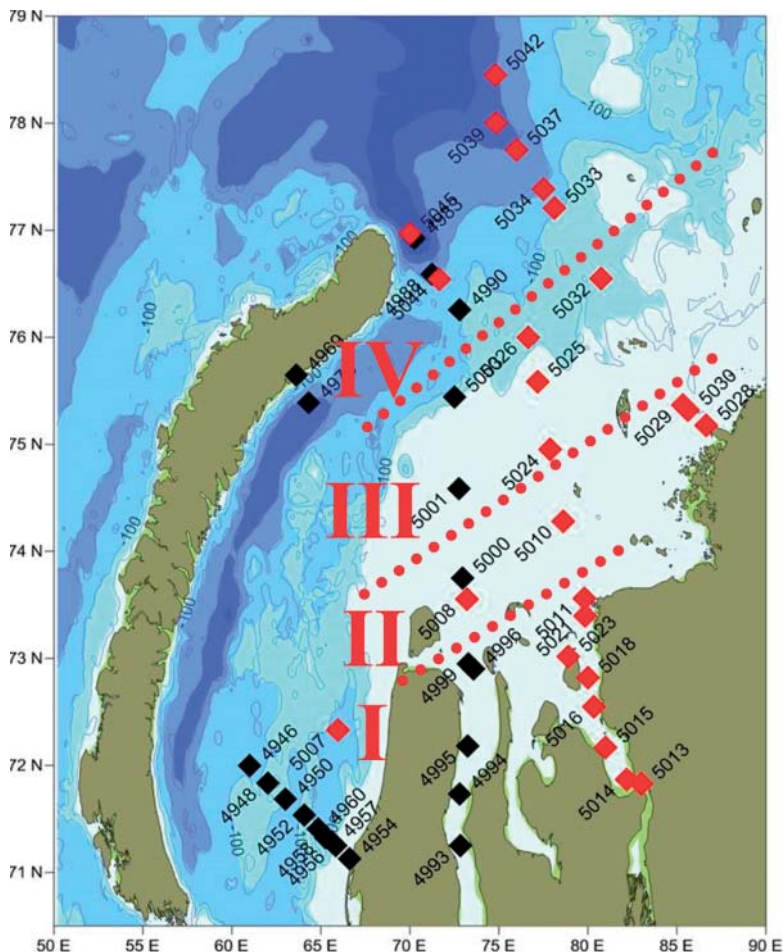


Рис. 1. Выделение областей в районе исследований: I – эстуарная область, II – Фронтальная область, III – шельфовая область, IV – область склона.
Пунктирные линии – условные границы

Таблица 1. Средние значения $C_{орг}$, содержания алканов и параметров их распределения

	Эстуарная область	Фронтальная область	Шельфовая область	Область склона
ОВ донных осадков				
Число ст.	4	3	3	5
Число гор.	8	15	5	8
Сорг. %	1.2	1.45	0.81	1.4
<i>n</i> -алканы <i>мкг/г</i>	2.27	3.30	2.61	2.06
СРІ	5.63	5.13	4.56	3.8
ОЕР	0.99	0.96	0.87	0.88
$\frac{\sum(C_{14}-C_{22})}{\sum(C_{23}-C_{33})}$	0.15	0.20	0.19	0.31
Взвешенное органическое вещество				
Число ст.	3	3	3	4
Число гор.	6	11	6	13
$C_{орг}$ <i>мкг/л</i>	1176	480	89	57
<i>n</i> -алканы <i>мкг/л</i>	0.58	0.26	0.43	0.33
СРІ	1.21	1.63	1.6	1.14
ОЕР	0.66	0.69	2.71	2.85
$\frac{\sum(C_{14}-C_{22})}{\sum(C_{23}-C_{33})}$	0.96	2.64	2.02	1.3
Растворенное органическое вещество				
Число ст.	3	2	2	4
Число гор.	6	7	8	11
$C_{орг}$ <i>мкг/л</i>	1176	3.0	2.43	1.8
<i>n</i> -алканы <i>мкг/л</i>	0.58	1.51	2.23	0.81
СРІ	1.21	1.4	0.76	1.17
ОЕР	0.66	1.8	2.21	1.18
$\frac{\sum(C_{14}-C_{22})}{\sum(C_{23}-C_{33})}$	0.96	4.5	7.54	2.28

($\frac{\sum(C_{14}-C_{22})}{\sum(C_{23}-C_{33})} - 0.15$, СРІ – 5.63). Для взвешенного органического вещества (ВОВ) данной зоны характерен смешанный генезис и высокая степень преобразованности ($\frac{\sum(C_{14}-C_{22})}{\sum(C_{23}-C_{33})} - 0.96$, СРІ – 1.21, ОЕР – 0.66), в растворенном (РОВ) – преобладает аквариальная компонента с доминированием четных углеводов. ($\frac{\sum(C_{14}-C_{22})}{\sum(C_{23}-$

C_{33}) – 5.5, ОЕР – 0.22). Типичные распределения алканов воды, взвеси и донных осадков показаны на рис. 2А.

Фронтальная область четко отличается по составу n-алканов от эстуарной. В ОВ поверхностного слоя донных осадков фронтальной области заметный вклад вносит автохтонная продукция (ст. 5010, гор 0.1–0.5 см $\sum(C_{14}-C_{22})/\sum(C_{23}-C_{33}) - 0.58$). ВОВ также формируется, в основном, автохтонными продуцентами ($\sum(C_{14}-C_{22})/\sum(C_{23}-C_{33}) - 2.64$), причем в отдельных случаях (ст. 5010) доля отдельных гомологов алканов в спектре может достигать 70% отн. Состав алканов РОВ меняется

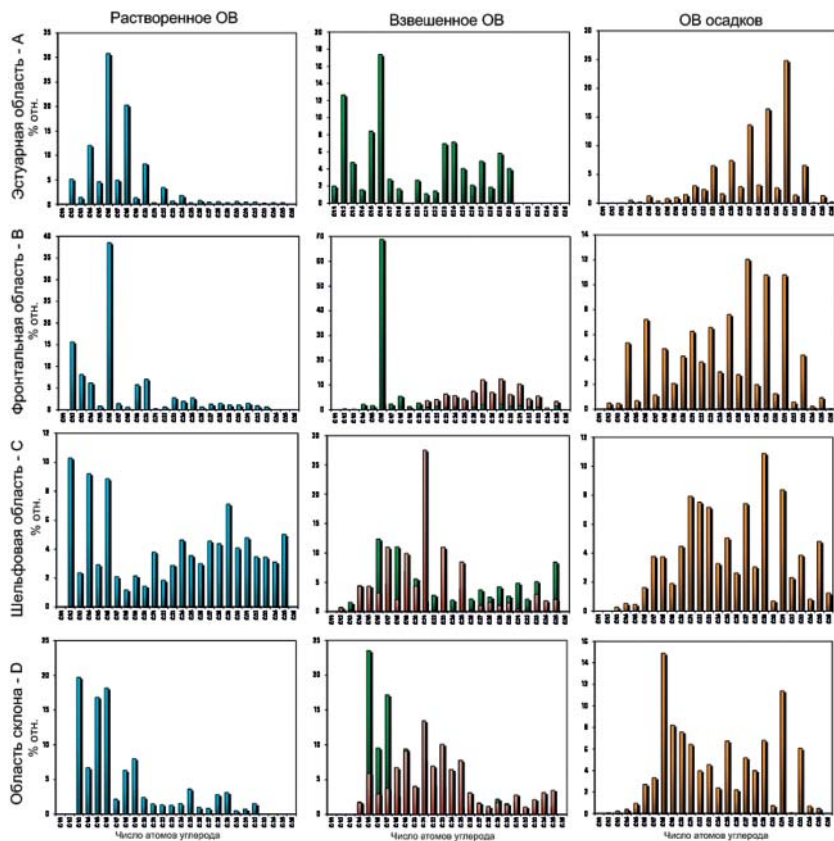


Рис. 2. Характерные спектры распределения n-алканов воды, взвеси и донных осадков для эстуарной (А), фронтальной (В), шельфовой (С) областей и области склона (D)

менее выражено, однако и в нем начинают доминировать отдельные гомологи аквариального генезиса (рис. 2B).

В песчаных осадках шельфовой зоны вклад автохтонной компоненты в ОВ незначителен ($(\sum(C_{14}-C_{22})/\sum(C_{23}-C_{33}) - 0.19)$) но зафиксировано активное микробиальное преобразование терригенной компоненты на ст. 5003 ($(\sum(C_{18}-C_{24}) - 34\%$ отн.). Заметно появление терригенного и микробиально преобразованного ОВ во взвеси, отражающееся на составе РОВ (рис. 2С).

ОВ осадков желобов имеет сложный многокомпонентный генезис с существенным вкладом автохтонного и микробиально преобразованного ОВ ($(\sum(C_{14}-C_{22})/\sum(C_{23}-C_{33}) - 0.31)$). Терригенная компонента спектра также подверглась диагенетическим преобразованиям (CPI – 3.8) В районе западного отрога увеличивается доля терригенной компоненты в ОВ взвеси ($(\sum(C_{14}-C_{22})/\sum(C_{23}-C_{33}) - 1.3)$), в ВОВ восточного отрога заметна доля микробиально трансформированного терригенного вещества ($(\sum(C_{18}-C_{24}) - 32\%$ отн.) (рис. 2D).

Показано, что в составе n-алканов всех исследованных проб донных осадков преобладают алканы терригенного генезиса, в которых зафиксированы диагенетические преобразования в направлении эстуарий-склон. Если для эстуарных осадков средний индекс CPI – 5.63, то для осадков склона – 3.8. Доля терригенных алканов в составе ОВ осадков также минимальна в области склона. Наиболее заметное обогащение ОВ автохтонной компонентой фиксируется на ряде станций фронтальной области и области склона. Для взвешенного вещества наиболее интересным является абсолютное доминирование гомолога C_{16} в молекулярном спектре распределения алканов на ст. 5010 фронтальной области, указывающее на наличие монопродукта ОВ, и увеличение терригенной компоненты в спектре распределения области склона. Алканы РОВ имеют смешанный генезис, и, как правило, отражают изменения спектра распределения алканов взвеси. Таким образом, вероятно связь алканов РОВ с коллоидными формами взвешенного вещества, не задерживающимися на фильтрах при фильтрации морской воды.

Литература

1. Беляев Н.А., Поняев М.С., Пересыпкин В.И. Органический углерод воды, взвеси и верхнего слоя донных осадков Карского моря. // Океанология 2010. Т. 50. №5. С. 748–757.

2. Беляев Н.А., Поняев М.С., Кирютин А.М. Органическое вещество воды, взвеси и донных осадков центральной части Карского моря // Океанология. 2015. (в печати)

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В АКВАТОРИИ КАРСКОГО МОРЯ

Голубева Н.И.¹, Бурцева Л.В.², Громов С.А.²

¹ Федеральное агентство научных организаций

² ФГБУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН,
Москва, e-mail: nataliigol@mail.ru

Освоение месторождений углеводородного сырья на шельфе российских арктических морей предопределяет создание новых инфраструктур за Полярным кругом, являющихся мощными источниками эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу и далее в другие природные среды. Это предопределяет усиление антропогенного воздействия на морские экосистемы и экосистемы прибрежных районов арктических морей.

В настоящей работе представлены результаты анализа данных измерений содержания тяжелых металлов в приземном слое атмосферного воздуха в юго-восточной части Баренцева и в Карском море полученных в 59-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в сентябре – октябре 2011 г.

Отбор проб осуществлялся методом фильтрации атмосферного воздуха через фильтр ФПА электроаспиратором с расходом воздуха до 60 м³/ч, применяемым на станциях комплексного фоновый мониторинга Росгидромета [3]. Методика измерений исключала влияние судовых источников загрязнения на пробы воздуха. Время отбора одной пробы составляло от 2-х до 3-х суток; объем проб варьировал от 2500 до 2900 м³. Пробы отобраны на 12 участках маршрута (см. рисунок).

Измерение концентрации Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Co, Cr As и Fe выполнялось по методике для низких природных концентраций тяжелых металлов в атмосферном воздухе [4].

Согласно [2] определены пути переноса воздушных масс в районе отбора проб воздуха и при помощи гибридной лагранжевой модели расчета обратных траекторий в атмосфере HYSPLIT [5] построены обратные траектории перемещения воздушных частиц. Построение переносов производилось на период до 5 дней, предшествующих пробоотбору, с учетом вертикальных движений по пути следования. В работе использованы результаты анализа траекторий по массиву GDAS1. В качестве примера на рисунке представлены отрезки пути, на которых

производился отбор проб, и соответствующие им траектории поступления воздуха.

Анализ содержания тяжелых металлов в атмосферном воздухе во взаимосвязи с генезисом поступающих в этот район воздушных масс показал (табл. 1 и 2), что их концентрации в приводном слое атмосферного воздуха в Карском море существенно ниже значений, характерных для особо охраняемых континентальных территорий, и на два и более порядков величины ниже предельно допустимых российских гигиенических норм для населенных мест [1]. Величина концентраций элементов неустойчива во времени и пространстве.

Анализ траекторий поступления воздуха в район движения судна и метеорологических параметров показал три явно выраженных различных типа погодных состояний, формирующихся под влиянием поступающих воздушных масс и сохраняющихся в течение 5–11 дней.

Таблица 1. Характеристики массивов данных концентраций тяжелых металлов в приводном слое атмосферного воздуха, измеренных в акватории Карского моря в сентябре 2011 г., нг/м^3

	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	As	Fe
Среднее	0.54	0.012	23.0	7.7	3.2	0.05	1.1	0.07	41.0
Макс.	3.0	0.1	70.0	43.0	4.6	0.2	2.5	0.18	121
Мин.	0.18	0.003	7.3	2.2	1.6	0.01	0.41	0.03	19.0

Таблица 2. Средние концентрации тяжелых металлов в приводном слое атмосферного воздуха на различных широтах Карского моря, нг/м^3

Северная широта	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	As	Fe
70°–75°	0.62	0.014	15.30	10.60	3.70	0.09	1.40	0.09	89.0
75°–80°	0.26	0.057	38.00	2.60	2.80	0.02	0.70	0.05	29.0

Первый: направление движения воздушных масс с континента в сторону океана (рис. 1а). В приводном слое атмосферы ветер имел такое же направление и скорость до 10 м/с, температура медленно снижалась от 15 до 10°C, давление также медленно падало, влажность слабо менялась (этот тип характерен для 1, 2, 3 участков маршрута).

Второй: направление движения воздушных масс со стороны открытых районов океана (рис. 1б). Направление ветра резко менялось на северное, его скорость снижалась до 4–5 м/с, температура падала до 0°C, давление росло до максимума и начинало постепенно падать, влажность

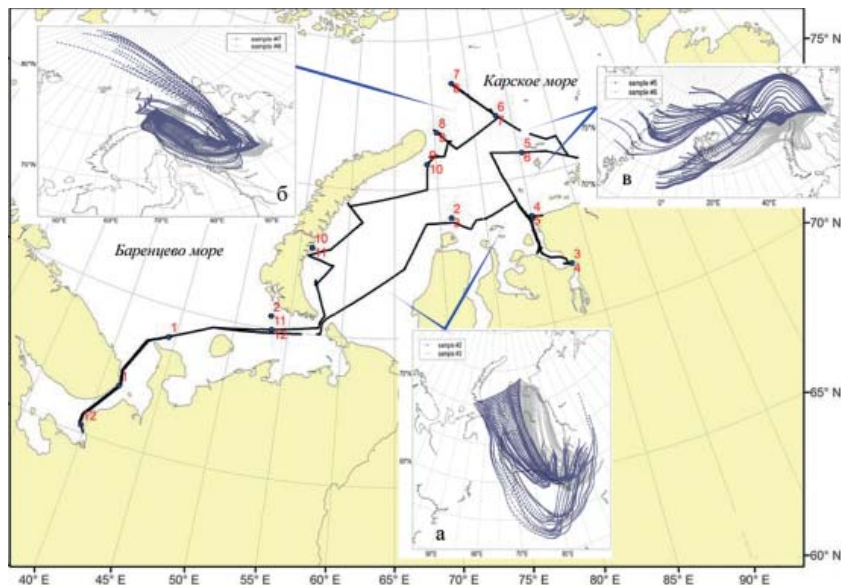


Рис. 1. Участки отбора проб на маршруте НИС «Академик Мстислав Келдыш» в сентябре-октябре 2011 г. (красные цифры обозначают концы участков) и примеры рассчитанных обратных траекторий в случае переноса с континента (а), из открытых районов океана (б) и смешанного характера (в)

изменялась в более широком диапазоне (этот тип характерен для участков 5, 6, 10, 11).

Третий: в район исследований вторгалась воздушная масса смешанного характера – континентально-морская (рис. 1в). При этом наблюдался ветер переменных направлений с северной и южной составляющими и скоростью до 15 м/с, давление продолжало падать до 980 гПа, температура поднималась до 3–5°C, влажность менялась в диапазоне 50–90 % (этот тип характерен для участков 4, 7, 8, 12).

При вторжении воздушных масс с континента происходит повышение концентраций всей рассматриваемой группы металлов. Для разных элементов концентрации возрастают в 2–3 раза, а для Cd более чем на порядок относительно уровней, наблюдаемых для воздушных масс со стороны океана и смешанных воздушных масс (табл. 3). Повышенные концентрации сохраняются в течение времени существования континентальной воздушной массы в районе измерений (до пяти и более суток).

Воздушные массы с Евразийского континента оказывают большее влияние на состояние загрязнения приземного слоя атмосферы южных районов Баренцева моря, чем на южные районы Карского моря. Об этом свидетельствуют концентрации всей группы металлов, исключая Zn и Co, которые на участке 3 ниже относительно участка 1 (табл. 4).

Градиент снижения концентраций в восточном направлении в расчете на 1 градус долготы, в зависимости от элемента, лежит в пределах от 0,007 нг/м³ для Cd до 3,8 нг/м³ для Cu.

Повторные измерения на совпадающих участках позволили оценить колебания концентраций во времени. Так для участков 3 и 4 (табл. 4), интервал между измерениями на которых составил двое суток, произошла смена континентальной воздушной массы на смешанную, снизились концентрации терригенного Fe и таких элементов, как Pb, Cd и As, но практически мало изменились концентрации Cu, Zn, Ni, Co и Cr.

Таблица 3. Средние концентрации тяжелых металлов в воздухе различных районов Карского моря при различных направлениях переноса воздушной массы, нг/м³

Направление переноса	№ участка	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	As	Fe
С континента (рис.1а)	1,2,3	3,1	0,18	82	23,5	6,7	0,13	1,6	0,37	95,0
Из открытых р-нов океана (рис.1б)	5,6,10,11	0,3	0,006	21,5	4,2	2,6	0,04	0,86	0,07	40,0
Смешанного характера, (рис.1в)	4,7,8,12	0,37	0,007	16,6	8,1	3,2	0,04	1,2	0,06	44,0

Таблица 4. Концентрации тяжелых металлов в воздухе Карского моря на участках 1, 3, 4 и 12, нг/м³

Направление переноса	№ участка	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	As	Fe
С континента	1	4,0	0,39	175	15,0	12,0	0,097	1,8	0,78	97,4
	3	3,0	0,1	22,0	43,0	3,6	0,096	1,0	0,18	68,0
Смешанного характера	4	0,62	0,024	33,0	32,0	2,9	0,069	1,4	0,08	42,0
	12	1,8	0,0021	29,0	1,0	3,6	0,047	0,49	0,15	38,0

На участках 1 и 12, близких к Кольскому п-ову, измерения выполнены с интервалом в 20 суток и при различном характере воздушных масс. Видно, что даже в смешанных воздушных массах концентрации всей группы рассматриваемых металлов ниже, чем в континентальных воздушных массах, а концентрации Cu и Ni сохраняют уровень, характерный для океанских воздушных масс (см. табл. 3).

Таким образом, полученные результаты позволили установить уровень концентраций группы тяжелых металлов в приводном слое атмосферного воздуха в морских районах Арктики, связанный с вторжением воздушных масс с евразийского континента. Зафиксированный уровень концентраций можно обозначить как повышенный относительно концентраций при вторжении воздуха со стороны океана и воздушных масс смешанного характера, и принять в качестве представительного, характеризующего интенсивность переноса тяжелых металлов с континента в российскую Арктику.

Смена воздушных масс способствует быстрому снижению концентраций. Оценки средних значений концентраций металлов в приводном слое атмосферы при океанических и смешанных воздушных массах близки между собой (табл. 3).

В заключение авторы выражают искреннюю признательность начальнику экспедиции 59-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» М.В. Флинту и сотруднику Института океанологии им. П.П. Ширшова С.А. Мошарову, обеспечившим сбор экспериментальных данных, использованных для анализа в настоящей работе.

Литература

1. ГН 2.1.6.1338–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест с дополнением.
2. Громов С.А. Метеорологические аспекты в задачах фоновго мониторинга загрязнения атмосферы // Мониторинг фоновго загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. Выпуск 5. С. 126–135.
3. РД 52.04.186-89. Руководящий документ. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. С. 693.
4. РД 52.44.593-97. Руководящий документ. Методические указания. Определение массовой концентрации тяжелых металлов в аэрозолях воздуха. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с беспламенной атомизацией. // Федеральный перечень методик, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды (по состоянию на 01. 10. 2009). – Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2009.

5. Draxler R.R. and Rolph G.D. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model. NOAA Air Resources Laboratory // Silver Spring, Md, USA, 2003, <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И РУДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ КАРСКОГО МОРЯ

Дроздова А.Н., Шульга Н.А.

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

Залежи железомарганцевых конкреций Арктического шельфа рассматриваются в настоящее время как потенциальный источник целого ряда стратегически важных металлов.

Целью данной работы является изучение состава и генезиса органического вещества (ОВ) и выявление взаимосвязей с основными рудообразующими элементами железомарганцевых конкреций (ЖМК).

Объектом исследования послужили образцы ЖМК, отобранные в северо-восточной части Карского моря в 125 рейсе НИС «Профессор Штокман» (рис. 1). Карское море – краевое море Арктического бассейна с интенсивной разгрузкой рек Обь (404 км³/г) и Енисей (620 км³/г) и высокой скоростью седиментации (0.12 г/см²/1000 лет) [1].

Образцы конкреций были подняты с четырех станций с глубин 50–110 м. В данном районе Карского моря ЖМК были обнаружены впервые.

Аналитическое изучение состава ОВ в образцах ЖМК (16 образцов) заключалось в определении $C_{орг}$ состава n-алканов и изопреноидов методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии (прибор «Shimadzu QP-5050A»).

Содержание макро- и микроэлементов в рудных образцах, в том числе и редкоземельных элементов, было определено методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS «Agilent») в аналитической лаборатории ИПТМ РАН.

ЖМК подразделяются на три морфологических типа: дискоидальные, плитчатые и чашеобразные. Цвет поверхности не зависит от формы и размера конкреций и варьируется от светло-оранжевого (оксиды железа) до черного (оксигидроксида марганца). Диаметр образцов составляет от 5 до 15 см.

В результате геохимического исследования определено содержание 45 элементов, включая макроэлементы (Mn и Fe), микроэлементы, наи-

большой интерес из которых представляют Ni, Co, и Cu, Mo, Ag, Au, Cd, Bi, Te, Tl, и Pt и РЗЭ.

Основные рудные элементы марганец и железо содержатся в концентрациях $2.0 \div 26.5$ мас. % и $4.1 \div 25.4$ мас. % соответственно. Данные элементного состава изученных образцов ЖМК сопоставимы с результатами, опубликованными в работе [2] по конкрециям других районов Карского моря. Однако для изучаемых образцов выявлено сравнительное обогащение по содержанию такими основными рудными элементами, как никель, медь, кобальт, цинк ($Co+Cu+Ni = 150.1 \div 889.3$ г/т). Для образцов ст. 28 и 29, наиболее близко расположенных к континенту (рис. 1), установлено также значительное обогащение молибденом (555 и 646 г/т, соответственно).

Содержание $C_{орг}$ в проанализированных образцах ЖМК составляет в среднем 0.66 % и варьирует в пределах 0.39–1.06 %. Неравномерное распределение концентраций $C_{орг}$ также характерно для осадков Карского моря [3].

Во всех изученных образцах ЖМК установлено наличие n-алканов $C_{12}-C_{33}$, концентрация составляет $0.19 \div 8.05$ мкг/г сухого вещества.

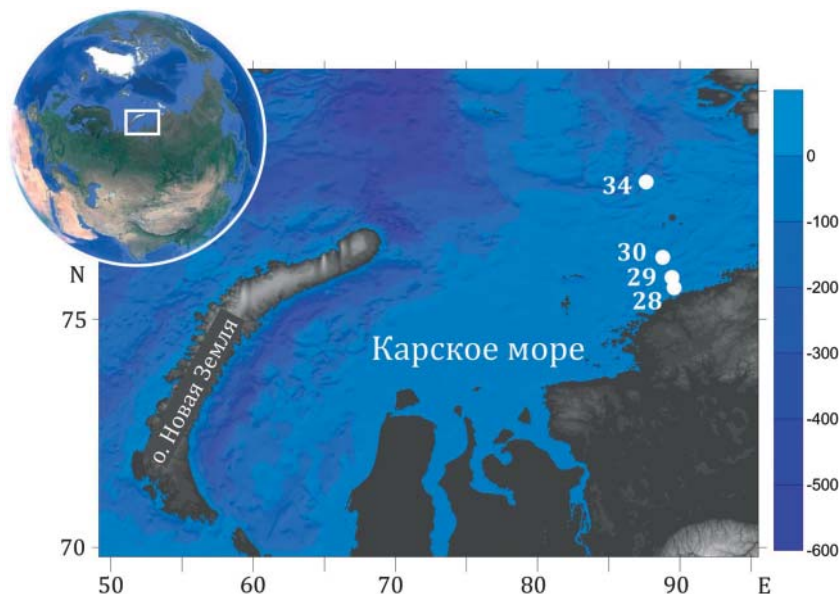


Рис. 1. Карта станций отбора образцов железомарганцевых конкреций

Установлено, что в образцах, обогащенных марганцем (Mn/Fe = 2.38 в среднем), превалирующий вклад в состав ОВ связан с терригенной органикой, в то время как в железистых образцах (Mn/Fe = 0.20 в среднем), ОВ преимущественно морского биогенного происхождения (рис. 2).

Учитывая слоистую структуру конкреций и их минералогическую неоднородность, нами был проведен сравнительный анализ состава ОВ



Рис. 2. Состав ОВ различного генезиса в зависимости от соотношения Mn/Fe в образцах ЖМК

верхних рудных оболочек образца конкреции со ст. 28 (рис. 1). Анализ хроматограмм показал сходство в составе n-алканов, но различное групповое распределение углеводородов. Так, для рудной оболочки, обогащенной железом (17.8 %, Mn/Fe = 0.11), выявлено доминирование ОВ автохтонного происхождения ($\Sigma C_{12-22} / \Sigma C_{23-35} = 1.1$), а наличие неразделенного «горба» нафтеновых углеводородов на хроматограмме указывает на идущие процессы биodeградации. Для рудной оболочки, обогащенной марганцем (25.9 %, Mn/Fe = 6.33), наблюдается превалирующая роль наземной растительности в составе ОВ ($\Sigma C_{12-22} / \Sigma C_{23-35} = 0.16$) наряду с высоким содержанием бактериальной продукции (33.2 %), связанной с деятельностью Mn-окисляющих бактерий. Вероятно, выявленные различия связаны с изменением во времени условий залегания конкреций и степенью участия микроорганизмов в процессах трансформации ОВ.

Общим для всех изученных образцов является восстановительная обстановка палеосреды (Pr/Ph = 0.54 в среднем) и низкая степень биodeградации ОВ (Pr/C₁₇ = 0.31, Ph/C₁₈ = 0.5 в среднем), связанная с особыми условиями консервации ОВ по мере роста исследованных конкреций.

Изменчивость состава и распределения углеводов в исследованных конкрециях не зависит от места отбора проб и их морфологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта МК-5786.2014.5.

Литература

1. *Stein R., Fahl K.* (Eds.) Siberian river run-off in the Kara Sea. Characterization, quantification, variability and environmental significance. 2003. V. 6. P. 488.

2. *Батурин Г.Н.* Вариации состава железомарганцевых конкреций Карского моря. // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 1. С. 153–161.

3. *Романкевич Е.А., Ветров А.А.* Цикл углерода в Арктических морях. М.: Наука, 2001. 302 с.

КЛИМАТИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ РАЙОНА КАРСКОГО И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА

Сафарова С.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова

Северный Ледовитый океан считается экстремально чувствительным к глобальным природным изменениям и является одним из ключевых районов в генерировании климатических флюктуаций северного полушария [1]. В качестве примера рассматриваются два Арктических бассейна – Карское море и море Лаптевых. По своим климатическим условиям Карский бассейн – типичное краевое Сибирское арктическое море и многие процессы, происходящие на Карском шельфе, считаются характерными для огромной области, лежащей восточнее Новой Земли. Особенностью Карского моря является то, что оно принимает в себя крупнейший во всем Арктическом бассейне пресноводный речной сток, причем около 90% приходится на долю рек Оби и Енисея. Примерно тоже можно сказать и про море Лаптевых, огромное количество речной воды, поступающей из многочисленных рек в это море, значительно распресняют его. Все эти реки приносят с собой массы органического и минерального вещества, которые откладываются в морские осадки, главным образом, вблизи устьев и во внутренних частях шельфа. Для реконструкции природных условий геологического прошлого используются данные разных видов микрофоссилий в толще осадков, отражающих параметры окружающей среды. Среди этих микрофоссилий

особая роль принадлежит спорам и пыльце (методу спорово-пыльцевого анализа).

Как известно, растения чутко реагируют на климатические изменения и поэтому в первую очередь могут быть использованы для палеоклиматических реконструкций. Материал для анализов донных осадков Карского моря был получен в результате работ двух научно-исследовательских рейсов – НИС «Дмитрий Менделеев» и «Академик Мстислав Келдыш» (1992–1993). На основе изученных нескольких колонок нам удалось реконструировать окружающую среду района исследований. Анализ подтвердил, что изученные осадки имеют голоценовый возраст. Состав палинофлоры указывает на то, что образование осадков происходило в различных климатических условиях. Наиболее резко определяется климатический оптимум голоцена, который по данным C^{14} относится к периоду $6380 \pm 210 \pm 8740 \pm 200$ т. л. В период климатического оптимума роль кустарников в тундровых сообществах возрастала (*Betula Nana*, *Salix*, *Ericaceae*, *Alnaster*). Отмечалась также пыльца древесных



Пыльца растений

– *Pinus silvestris*, *Pinus sibirica*, *Betula Alba*, которых нет в настоящее время в растительном покрове данного района. Появление этой группы далеко разносимой пыльцы можно объяснить как знак продвижения в то время границы леса на континенте на север. По-видимому, в период этой фазы оптимального климата на побережье была лесотундра или южная тундра. Материал для анализов по морю Лаптевых был получен в результате работ Российско-Французской экспедиции SPASIBA на научно-исследовательском судне «Яков Смирницкий» (1991). Работы проводились на шельфе юго-восточной части моря. В пробах изученного района определены разнообразные спорово-пыльцевые комплексы хорошей сохранности. Выявленные комплексы в целом отражают состав тундровых растительных ассоциаций, в основном это споры зеленых и сфагновых мхов различных видов – это *Bryalis*, *Shagnales*, *Sellaginella sibirica*, *Lycopodium*, а также различные папоротники – *Polypodiaceae*. Травянистые разнотравья разнообразны. Из древесных преобладает *Pinus pumilla*, *Betula nana*, *Salix*, *Alnaster*. Как выяснилось, спорово-пыльцевые спектры адекватны растительности тундры изученного района. По данным голоценовых донных отложений отмечены несколько небольших похолоданий и одно значительное потепление (называемое климатическим оптимумом), когда в растительном покрове появились лесотундровые элементы – *Alnus fruticosa*, *Pinus sibirica*, *Betula exilis*, *Betula Alba*. В травяном покрове – *Cyperaceae*, *Ranunculaceae*, *Asteraceae*, *Chenopodiaceae* и др. Это время – время потепления – отмечается и рядом авторов по всему северу Сибири, это районы Якутии, Берингии, Камчатки и другие [2]. Необходимо заметить, что в спорово-пыльцевых спектрах отмечается также некоторое количество перетолженной пыльцы древних эпох – это пыльца мезозойского периода – *Cycadopites sp.*, *Tricolpollinites*, и неогенового периода – *Tsuga*, *Keteleria*, *Quercus sp.*, *Glyptostrobus*. Такое несоответствие для тундровых спектров, при детальном анализе, можно понять, ведь многоводная река Лена на большом протяжении течет по облесенной местности, следовательно, переносит своими водами древесную пыльцу из соседних районов, и второе, наличие в спектрах перетолженной пыльцы, это привнос из размытых древних отложений многокилометрового пути реки Лена. По характеру климатической ситуации в период всего голоцена районы моря Карского и Лаптевых были в какой-то степени схожи.

Литература

1. Morison J., Aagard K., Steele M. Recent environmental changes in the Arctic: a review // Arctic. 2000. V. 53. № 4. P. 359–371.

2. Ложкин А.В., Андерсон П.М., Матросова Т.В. и др. Непрерывная летопись изменений природной среды Чукотки за последние 350 тысяч лет // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 1. С. 53–59.

РАДИОЦЕЗИЙ В ДОННЫХ ОСАДКАХ КАРСКОГО МОРЯ

Мирошников А.Ю.

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

Поступление ^{137}Cs в акваторию Карского моря происходило из различных источников, которые хорошо известны и широко представлены в литературе, однако их сравнительные относительные и абсолютные количественные оценки зачастую крайне противоречивы и неточны.

В ходе проведения более ранних исследований была построена схема распределения удельных активностей радиоцезия в верхнем слое донных отложений Карского моря, включая эстуарии Оби и Енисея (рис. 1). В результате были выявлены четыре зоны повышенной активности (ЗПА) радиоцезия различных размеров и интенсивности с удельной активностью выше 15 Бк/кг: Новоземельская, Вайгачская, Обская и Енисейская. В ходе исследований установлено, что названные зоны своим происхождением связаны с отмеченными выше источниками загрязнения и формировались в различных литолого-геохимических, геоморфологических и гидродинамических условиях.

Новоземельская ЗПА была образована радионуклидами местных выпадений радиоактивных продуктов при проведении ядерных взрывов в атмосфере, которые формировали радиационное загрязнение покровных ледников и почв Северного острова. В процессе абляции покровных ледников Северного острова радиоактивные загрязнители перемещались атмосферными и тальными пресными водами берегового стока и затем поступали в соленую морскую воду. Смешение этих вод обусловило осаждение радионуклидов на поверхность донных осадков и образование рассматриваемых ЗПА. В пределах геохимической барьерной зоны «берег–море» радионуклиды накапливались как вследствие перехода растворимых форм в нерастворимые, так и путем осаждения твердых взвешенных частиц.

Вайгачская ЗПА, формировалась под влиянием водных масс Баренцева моря, привносивших в составе Нордкапской ветки Гольфстрима радиоактивные загрязнения, сброшенные в морскую сре-

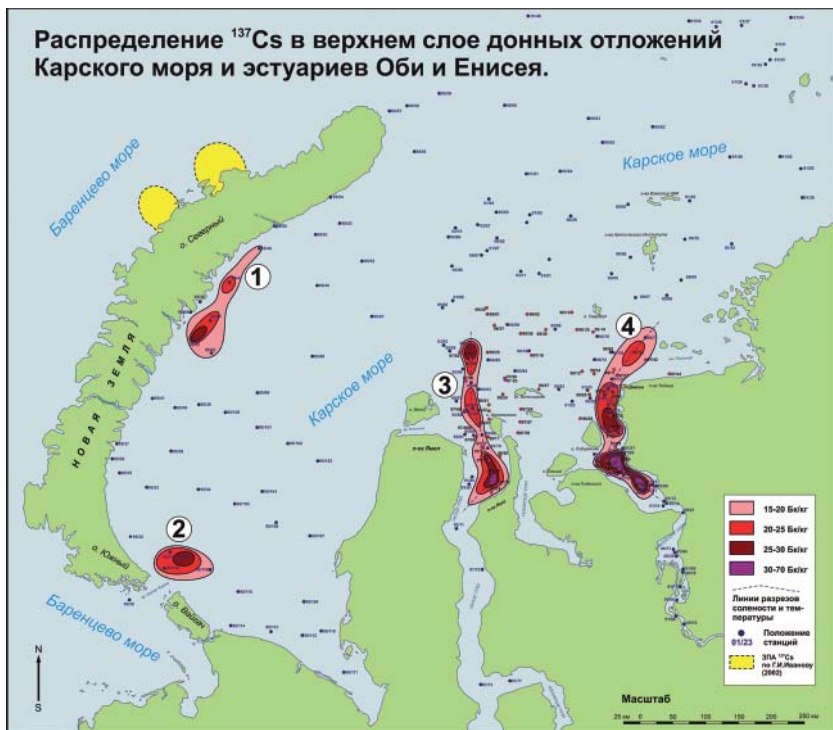


Рис. 1. Схема распределения ^{137}Cs в верхнем слое донных осадков Карского моря

ду Ирландского и Северного морей западноевропейскими радиохимическими предприятиями. Эти радиоактивные загрязнения выпадали в осадок под воздействием геохимических барьеров, возникших в области смешения вод Баренцева и Карского морей. Образование барьерной зоны обусловили следующие различия основных характеристик этих вод: более низкие температуры вод Карского моря; превышение средней солености вод Баренцева моря относительно вод Карского моря на 8 ‰; бóльшая аэрированность вод Баренцева моря; неодинаковые количества в водах характеризуемых морей растворенного и взвешенного органического вещества, а также различия в распределении фитопланктона и зоопланктона. Область смешения вод этих двух морских систем представляет собой геохимическую барьерную зону, в которой с различной степенью интенсивности действуют геохимические барьеры: фронт противотечений, термоклин и пикноклин, солевой, температурный и

окислительно-восстановительный барьеры. Совокупное функционирование указанных геохимических барьеров обусловило накопление радиоцезия в донных отложениях в виде Вайгачской ЗПА.

Образование Обской ЗПА было обусловлено речными водами Оби. Они загрязнялись в процессе выноса радионуклидов из геохимических ландшафтов водосборной макроарены Обской губы, имеющей площадь около 3.5 млн км². Поступление радиоактивных веществ в этот гигантский водосбор происходило прежде всего с глобальными выпадениями из атмосферы, ранее загрязнявшейся продуктами ядерных испытаний, выбросами аварий. Что касается техногенных радионуклидов, обусловленных сбросами из отечественных ядерных центров ПО «Маяк» и СХК, то они вносили менее значительный вклад в образование Обской ЗПА. Возникновение Обской ЗПА связано с функционированием в области смешения речных пресных и морских соленых вод геохимической барьерной зоны «река–море», в которой солевой и температурный барьеры наиболее значимы. Осаждение радионуклидов происходило при повышении солености вод и понижении их температуры и продолжалось до снижения в водах концентрации радиоэлементов до субфоновых значений.

Из четырех выделенных в Карском море ЗПА радиоцезия Енисейская является наиболее загрязненной. Радиоцезий поступал сюда главным образом с речными водными массами Енисея, которые переносили их из геохимических ландшафтов водосборной макроарены Енисейского бассейна, имеющего площадь около 2.6 млн км², и Красноярского ГХК. Возникновение Енисейской ЗПА связано с функционированием геохимической барьерной зоны «река–море», в которой, как и в Обской ЗПА, определяющими являются солевой и температурный барьеры.

В ходе проведения 128-го рейса НИС «Профессор Штокман» в 2014 г. в юго-восточной части Карского моря были отобраны колонки донных отложений в пределах южной и центральной частей Енисейской ЗПА по двум профилям (рис. 2). По измеренным значениям удельной активности радиоцезия в каждом 10-мм слое были подсчитаны средние значения для каждого горизонта. Совмещение графиков вертикального распределения средних значений удельной активности радиоцезия по данным 2014 г. и данных более ранних исследований показано на рис. 3.

Анализ приведенных результатов указывает на двукратное снижение уровня максимальной активности Cs-137 (по средним значениям) в ранее установленной ЗПА радиоцезия в донных отложениях эстуария

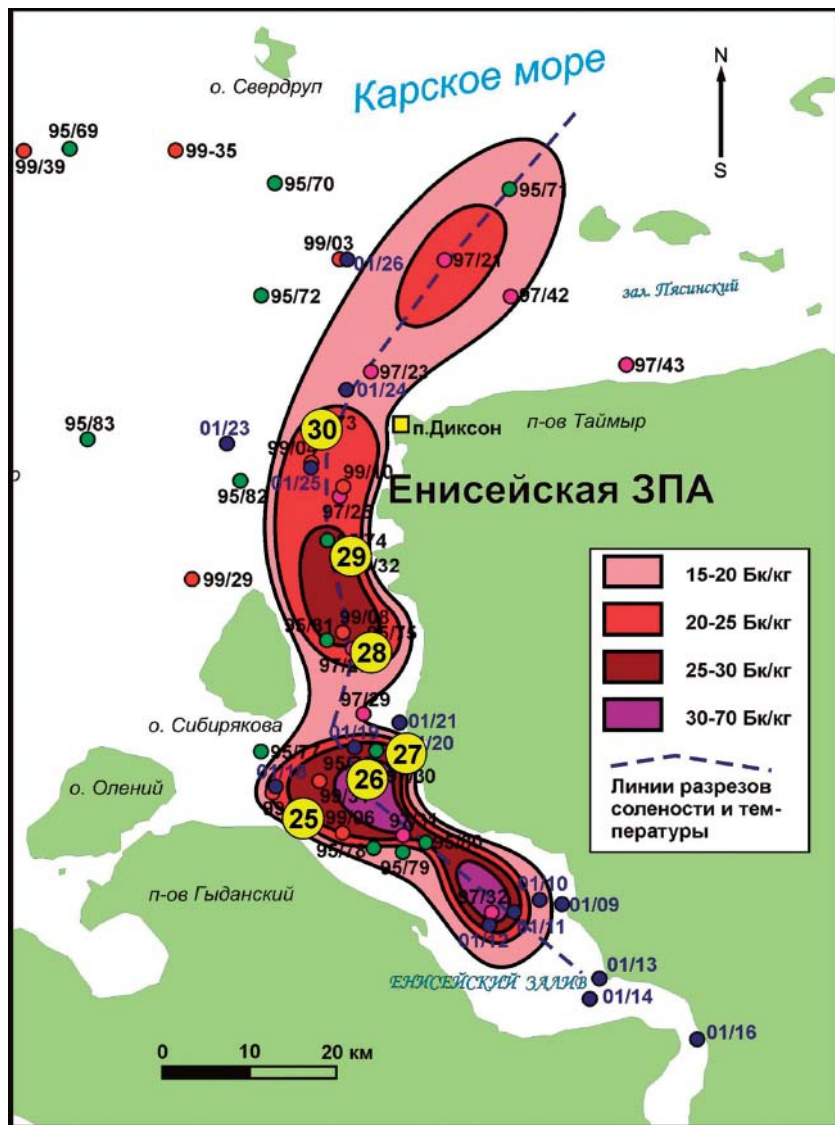


Рис. 2. Енисейская ЗПА радиоцезия и положение морских станций 2014 года (желтые кружки)

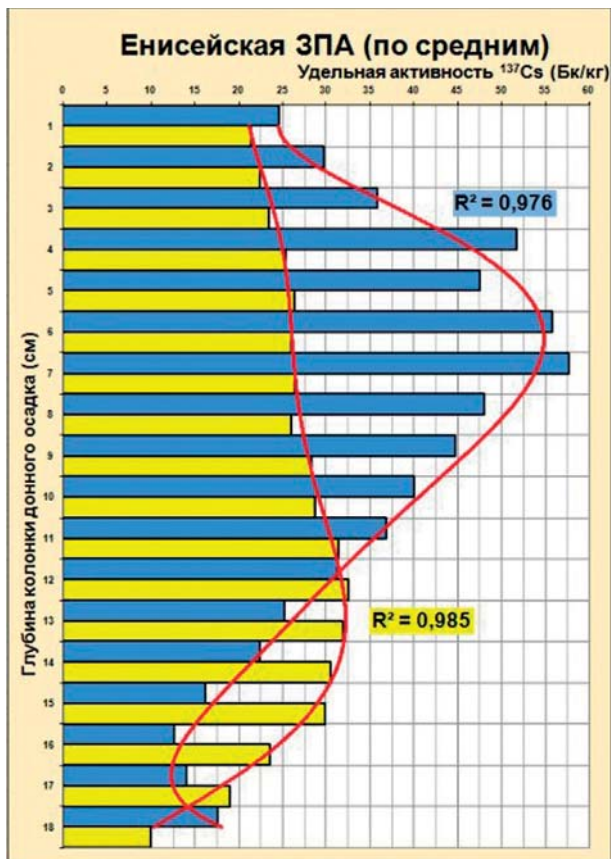


Рис. 3. Вертикальное распределение величин средних значений удельной активности Cs-137 в донных осадках Енисейской ЗПА в 1997-2003 году (синий) и в 2014 году (желтый)

Енисея. Отмечается отчетливое смещение максимума в глубину осадка на 5 см. Оба факта свидетельствуют о существенном снижении радиационного влияния на экосистему эстуария. Максимальная активность Cs-137 в пробах 2014 г. составила 68 Бк/кг, в то время как максимальная удельная активность донных осадков в одной из колонок южной части Енисейской ЗПА, установленная в 1997 г., составляла 260 Бк/кг. Достоверность полученных результатов подтверждается достаточно высоким значением коэффициента детерминации (КД) – R^2 полиноми-

ального тренда шестой степени. Для графика, описывающего средние значения удельной активности погоризонтно в колонках, отображенных в 2014 г., КД составляет 0,985.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ №14-17-00764.

ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ЗАЛИВОВ И ПОЧВАХ НОВОЙ ЗЕМЛИ (КАРСКОЕ МОРЕ) И ИХ РОЛЬ В ПРОЦЕССАХ СОРБЦИИ ¹³⁷CS

Крупская В.В., Мирошников А.Ю., Закусин С.В., Гаранина С.А., Семенков И.Н., Усачева А.А.

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

Глинистые минералы среди природных минеральных соединений отличаются наиболее выраженной адсорбцией по отношению к тяжелым металлам, радионуклидам, некоторым неорганическим соединениям. Основными компонентами глинистых минералов являются тетраэдры (Т) и октаэдры (О), которые в пространстве образуют вытянутые сетки, соединяющиеся между собой. Структура глинистых минералов может быть нейтральной, как например, у каолинита (Т-О) или пиррофиллита (Т-О-Т) или за счет изоморфных замещений в структуре тетраэдрических или/и октаэдрических сеток иметь отрицательный заряд. Этот отрицательный заряд нейтрализуется за счет катионов-компенсаторов – гидратированных или негидратированных катионов. Сорбционная емкость глинистых минералов обуславливается в первую очередь наличием заряда слоя. Так, сорбционная способность (емкость катионного обмена – ЕКО) глинистых минералов с нейтральным зарядом будет достаточно низкой и приближенной к значениям полевых шпатов – порядка 1-2 мг×экв/100 гм. В случае, когда в составе 2:1 слоя появляется заряд, ЕКО определяется способом его погашения и лабильностью межслоевого промежутка. Так, при практически одинаковом строении, слюды характеризуются довольно низкими значениями ЕКО – 10–20 мг×экв/100 г, а смектиты за счет лабильности структуры самыми высокими значениями – 80–100 мг×экв/100 г. При этом, адсорбция катионов, которые отличаются низкой степенью гидратации, например,

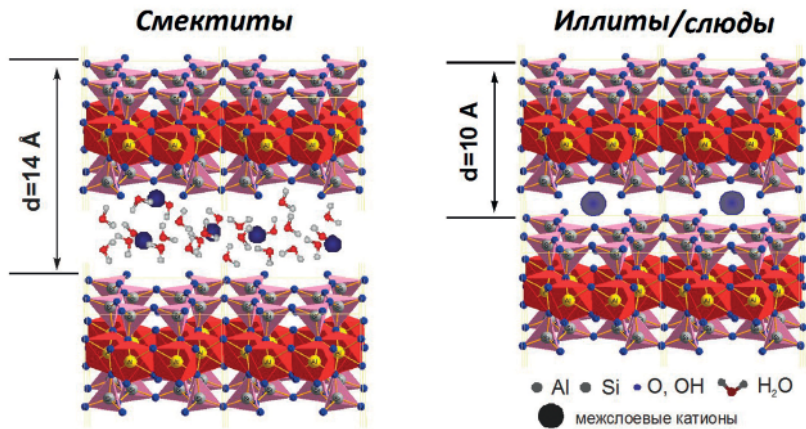


Рис. 1. Схематическое изображение структуры минералов 2:1 – смектита и иллита. Условия обозначения показаны на рисунке

K, Cs и некоторых других, увеличивается по мере увеличения доли тетраэдрического заряда. Это объясняется тем, что тетраэдрический заряд создает гораздо более сильное электромагнитное поле на поверхности слоя, чем октаэдрический заряд. В результате этого, катионы Cs проявляют взаимодействие с соседними тетраэдрическими и даже октаэдрическими сетками благодаря тому, что способны погружаться в лунки тетраэдрических колец достаточно глубоко. Иллиты, по сравнению со смектитами, характеризуются, более высоким зарядом (0.8–1.0 эВ и 0.2–0.6 эВ, соответственно) и преимущественно его локализацией в тетраэдрических сетках. Наряду со снижением значения общей обменной емкости за счет закрытого межслоевого промежутка и отсутствия возможности для обмена с окружающей средой гидратированными катионами Ca, Na, Mg и др., иллиты способны проявлять высокую избирательную сорбцию по отношению к отдельным катионам (^{137}Cs , в данном случае). Таким образом, подавляющее количество сорбированного радиоцезия в осадках и почвах Новой Земли ассоциировано с иллитами. Рассматривая другие группы глинистых минералы почв и осадков, такие как каолинит и хлорит, стоит заметить, что сорбция радиоцезия на них будет значительно снижена и прежде всего за счет отсутствия или крайне низкого заряда слоя.

Близкий состав почв и осадков заливов Новой Земли (Благополучия, Цивольки, Степового, Абросимова) определяется составом горных пород, которые являются источников материала для образования и почв и осадков (рис. 2, табл. 1). В целом, преобладаем кварц и глинистые минералы, также в значительных количествах содержатся полевые шпаты. Среди глинистых минералов преобладают иллит и хлорит, каолинит содержится в подчиненном количестве в подавляющем количестве проб. Детальное изучение проб, собранных в основании мхов, показывают значительное увеличение каолинита, который синтезировался в почвенных условиях благодаря подкисляющему действию мхов (биохимическое выветривание). При этом, в составе мелкозема тех же почв, (табл. 1) наблюдается резкое увеличение содержания иллита по сравнению со средней пробой на том же участке, вероятно, за счет усиления биофизического выветривания. Результаты измерения содержания ^{137}Cs показали, что основное его количество накопилось в почвах (до 60–72 Бк/кг), при этом максимальные активности отмечены в новообразованных почвенных участках в мелкоземах и участках у основания мхов (до 282 и 230 Бк/кг, соответственно). Удельная активность ^{137}Cs в осадках изученных заливов не превышает 14.4 Бк/кг.

В заключение можно сделать следующие основные выводы:

1. Сорбция ^{137}Cs в почвах и донных осадках заливов Новой Земли происходит, преимущественно, на глинистых частицах иллита (слюды).
2. Основная часть ^{137}Cs накоплена в почвенных горизонтах и слабо транспортируется в донные отложения заливов.

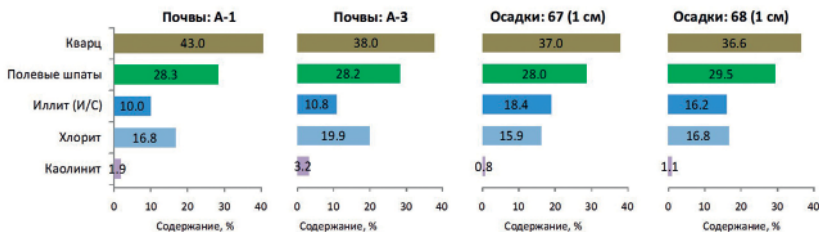


Рис. 2. Изменения минерального состава почв и осадков залива Абросимова по направлению с запада на восток от относительно расположенных почв (А-1), почв в низине (А-3) до осадков вблизи берега (67) и относительно удаленных (68). Основным отличием почв и осадков служит увеличение кварца, в осадках, в свою очередь, увеличивается доля иллита, содержания полевых шпатов и хлоритов остаются практически постоянным

Таблица 1. Средний состав почв и осадков заливов Новой Земли

		Минеральный состав, в %							Cs ¹³⁷ , Бк/кг
		Карбонаты	Полевые шпаты	Кварц	Каолинит	Иллит***	Хлорит		
Залив Степового	почвы (ср)	–	21.4	34.7	1.5	20.5	21.8	72.3	
	SD, почвы		2.2	1.0	0.8	4.4	2.0		
Залив Абросимова	почвы (ср)	–	29.3	38.8	2.6	9.8	19.6	60.3	
	SD, почвы		1.4	3.8	0.6	1.0	+2.6		
Залив Абросимова	почвы*	–	29.8	36.4	11.7	12.7	9.4	230.0	
	почвы**	–	26.8	39.6	2.5	21.9	9.3	282.0	
Залив Абросимова	осадки (ср)	–	28.7	35.7	1.2	17.6	16.9	14.5	
	SD, осадки		0.7	1.4	0.3	1.0	0.8		
Залив Благополучия	осадки (ср)	14.8	8.7	30.9	0.8	31.2	9.9	1.7	
	SD, осадки		0.8	3.1	0.1	4.0	1.6		

Примечания: * – почвы у основания корней мхов, ** – почвы мелкоземистые, ***- иллит и смешанослойный иллит-смектит с преобладанием иллитовых межслоев, (ср) – средний состав по изученным образцам, CD – стандартное отклонение.

3. Максимальное количество ^{137}Cs адсорбировано в органо-минеральных зонах при биохимическом выветривании или/и при физическом выветривании, которое усиливается воздействием биоценозов.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ №14-17-00764.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАРСКОГО МОРЯ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Асадулин Э.Э., Мирошников А.Ю.

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии РАН*

Основная масса терригенного вещества поступает в Карское море по речной сети Обского и Енисейского бассейнов в форме взвесей и коллоидов. Значительная часть взвешенных частиц и связанных с ними загрязнителей задерживается в эстуариях Оби и Енисея. Здесь меняется гидродинамический режим, начинается смешение пресных речных вод с солеными морскими и происходит массовое осаждение взвесей. Подобные фациально-геохимические барьерные зоны (зоны лавинной седиментации, маргинальные фильтры по А.П. Лисицыну [1]) являются существенным препятствием для проникновения загрязнений в морское пространство.

Тем не менее, в донных осадках внутреннего шельфа Карского моря почти повсеместно обнаруживается минеральное и органическое вещество терригенного происхождения, о чем свидетельствуют многочисленные наблюдения [2]. Вопросы поступления через маргинальный фильтр в Северный Ледовитый океан континентального осадочного материала, особенности его минералого-геохимического состава и геохимические процессы в барьерных зонах детально рассмотрены в работах В.В. Гордеева [3] и др.

В качестве инструмента различия терригенных осадков обского либо енисейского происхождения с целью прослеживания их распределения по дну Карского моря авторами предлагается использовать специальным образом организованные геохимические данные. Для разработки практически применимого геохимического критерия был выбран ряд

хорошо определяемых нейтронно-активационным анализом элементов литофильной группы. Благодаря миграции преимущественно в составе взвешенных минеральных частиц, литофилы наследуют и сохраняют в осадочных новообразованиях особенности геохимических составов материнских горных пород, что особенно характерно для редкоземельных элементов. «РЗЭ взвешенного речного стока могут отражать состав пород водосборного бассейна реки, но чем больше бассейн и разнообразие пород его представляющих, тем больше состав взвешенного вещества напоминает состав сланца или глин платформ...» [4, стр.41].

Выборки, символизирующие геохимические профили обского и енисейского типа были составлены из проб донных осадков, отбравшихся в рейсах НИС «Академик Петров» в эстуариях Оби (19 станций – 284 пробы) и Енисея (23 станции – 442 пробы). Результаты анализа элементов нормированы на сланцевый эталон NASC. Средние нормированных содержаний элементов представлены в графическом виде на рис. 1. Очевидные отличия обской и енисейской элементограмм как от сланцевого эталона, так и между собой, подтверждают унаследование эстуарными донными осадками обобщенных геохимических профилей территорий водосбора. От NASC эстуарные элементограммы отличаются, прежде всего, формой, а между собой – уровнем концентраций элементов. При этом, элементы разделились на 2 группы: с более высокими содержаниями в обской выборке и более высокими содержаниями в енисейской.

На основании выявленной закономерности авторами были составлены 2 аддитивных показателя agi_1 , agi_2 , имеющих противоположное значение. Логарифм отношения этих показателей дал аддитивный геохимический критерий различия обского и енисейского терригенного материала $agt_{O/E}$ [5, 6]. По сути, мы получили бинарный классификатор с точкой раздела в значении ноль. Его геохимическое содержание и результаты экзамена показаны на рис. 2.

Некоторая область близких к нулю положительных (обские) и отрицательных (енисейские) значений критерия объявляется так называемой «серой зоной». Попадающие по величинам критерия сюда пробы, считаются нечетко определенными [6]. Возможные причины: сильное перемешивание обского и енисейского материала, случайное «экзотическое» содержание какого-либо химического элемента, присутствие в осадке большой доли иного материала, нежели чем из Оби или Енисея.

Примером использования аддитивного геохимического критерия для определения особенностей распределения обских и енисейских

терригенных осадков по морскому дну Карского моря служит схема их распространения от эстуариев к шельфу (рис. 3). В координатах станций опробования обозначены результаты обработки геохимических данных по первым сантиметрам колонок проб, представляющих современную седиментацию. Очевидно, что максимальное распространение по дну восточной части Карского моря имеют отложения, распознанные как обские. Пробы, имеющие отчетливый енисейский геохимический облик, почти целиком локализованы в эстуарной зоне. При этом в её дистальной области сосредоточено множество точек с пробами неопределенной принадлежности. Характер их расположения, а именно – тенденция к смещению на северо-восток от впадения в море Енисея, позволяет допустить привнос обского терригенного материала по направлению Обь-Енисейского морского течения и соосаждение с енисейскими взвесями.

Литература

1. *Лисицын А.П.* Лавинная седиментация и перерывы в осадконакоплении в морях и океанах. – М.: Наука, 1988. 309 с.
2. *Левитан М.А., Лаврушин Ю.А., Штайн Р.* Очерки истории последних 130 тыс. лет. – М.: ГЕОС, 2007. 404 с.
3. *Гордеев В.В.* Геохимия системы река–море. – М., 2012. 452 с.
4. *Дубинин А.В.* Геохимия редкоземельных элементов в океане // Ин-т океанологии им.П.П. Ширшова РАН – М.: Наука, 2006. 360 с.
5. *Асадулин Э.Э. Мирошников А.Ю. Величкин В.И.* Геохимическая специализация донных осадков в зонах смешения вод Оби и Енисея с водами Карского моря. // «Геохимия». М.: Наука, 2013. № 12. С. 1116–1129.
6. *Асадулин Э.Э. Мирошников А.Ю. Усачева А.А., Величкин В.И.* Геохимическое распознавание терригенного материала из Оби и Енисея в донных осадках восточной части Карского моря // ДАН. М.: Наука. Т. 461. № 2. С. 207–209.

ОСОБЕННОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ЗАХОРОНЕНИЙ РАДИОАКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗАЛИВАХ НОВОЙ ЗЕМЛИ В КАРСКОМ МОРЕ

Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е.

НИЦ «Курчатовский институт»

Начиная с 1993 г. специалисты НИЦ «Курчатовский институт» принимают участие в экспедициях по исследованию радиационно-экологической ситуации в местах затопления радиоактивных отходов (РАО) в заливах архипелага Новая Земля и Карском море.

Первоначально основным методом исследований был отбор проб придонной воды и донного грунта по заранее определенной сетке. Этот метод позволил оценить средний уровень концентрации техногенных радионуклидов в воде и осадочных породах этого региона. Как правило, этот уровень не превышал фоновых значений, за исключением нескольких точек, в непосредственной близости от некоторых затопленных объектов. Для оценки состояния защитных барьеров безопасности – т. е. конструктивных преград, отделяющих радиоактивные вещества внутри объекта от окружающей их морской среды, необходимо прямое (*in situ*) измерение уровней гамма-излучения с помощью подводной аппаратуры радиационного контроля. В связи с этим возникает вопрос о выборе средства доставки такой аппаратуры к месту проведения измерений.

Многолетний опыт экспедиционных работ показал, что для обследования объектов, затопленных в заливах Новой Земли на глубинах не более 50 м, оптимальным является использование малых и сверхмалых телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА) с размещенными на них подводными спектрометрами. Такие ТПА могут быть использованы с борта малого катера, что существенно упрощает проведение работ. Чувствительность подводных спектрометров позволяет за несколько минут определять концентрации техногенных радионуклидов (^{137}Cs , ^{60}Co) в морской воде на уровне в десятки раз меньшем, чем предельно допустимые значения, а в донных отложениях на уровне фона. Оперативные измерения уровней гамма-излучения вблизи корпуса затопленного объекта, позволяют решить основные задачи радиационного обследования – поиск мест возможного выхода радионуклидов и оценку активности внутри объекта. На рис. 1 приведены варианты раз-

мещения подводных спектрометров на различных ТПА при проведении работ в заливах Новой Земли.

По такой методике были обследованы затопленные в заливах Новой земли объекты с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) – АПЛ «К-27», экранная сборка ОК-150 АЛ «Ленин», реакторные отсеки (РО) АПЛ № 285 и 901, а также более 40 контейнеров с твердыми радиоактивными отходами (ТРО). На рис. 2 приведены изображения некоторых из обследованных объектов.

Значимых выходов радионуклидов в окружающую среду из объектов с ОЯТ зарегистрировано не было, при этом вблизи корпуса затопленных РО фиксируется излучение техногенного радионуклида ^{137}Cs , находящегося внутри отсеков. Практически для всех обследованных контейнеров с ТРО в спектрах, зарегистрированных на их верхней по-



Рис. 1. Размещение подводного спектрометра на ТПА

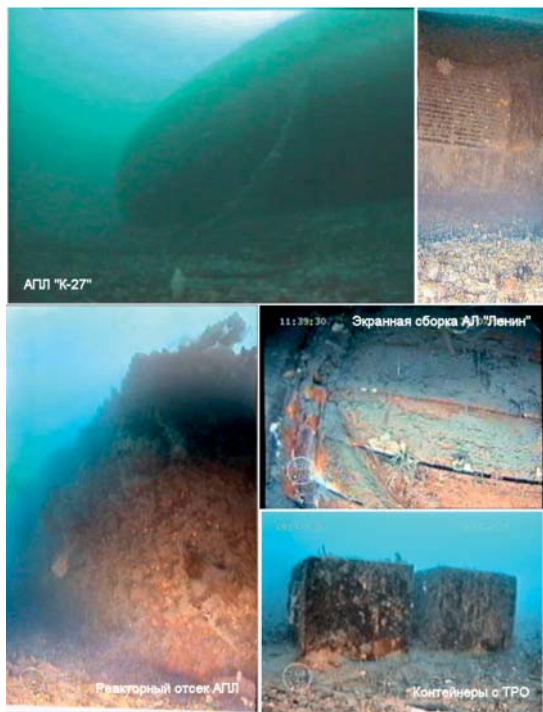


Рис. 2. Затопленные в заливах Новой земли объекты

верхности, присутствует излучение ^{137}Cs , в некоторых спектрах отмечается малый вклад излучения от активационного радионуклида ^{60}Co – то есть техногенные радионуклиды присутствуют и в ТРО, заполняющих контейнеры. Максимальная мощность дозы на поверхности контейнеров достигала нескольких мкЗв/ч, что более чем в 10 раз превосходит естественный фон. Однако во всех спектрах, зарегистрированных на дне уже в нескольких метрах от контейнеров, следов техногенной активности не наблюдается на уровне в десятки раз меньше, чем уровень активности природного радионуклида ^{40}K . Таким образом, по результатам проведенного обследования контейнеров с ТРО можно сделать вывод, что эти контейнеры не являются значимым источником загрязнения окружающей морской среды, как в настоящее время, так и в будущем, так как вследствие радиоактивного распада суммарная активность ТРО будет только снижаться.

Еще одним из применений подводных спектрометров является измерение содержания радионуклидов в донных отложениях. Предел обнаружения ^{137}Cs для равномерного распределения в 5-см слое донных отложений составляет, в зависимости от типа грунта, от 5 до 10 Бк/кг мокрого грунта (при времени измерения 1000 с). По результатам анализа формы спектра, зарегистрированного подводным гамма-спектрометром, можно определить эффективную глубину распределения техногенного радионуклида в донных отложениях, что, в свою очередь, дает возможность определить его суммарную активность (или запас) в обследуемой акватории. Такая методика, кроме того позволяет существенно уменьшить количество отбираемых проб.

В заключение хотелось бы отметить, что во всех проведенных исследованиях на ТПА был установлен подводный спектрометр, который регистрировал спектры в автономном режиме во внутреннюю память. Такая методика, позволяет установить спектрометр на любой подводный аппарат, но не дает возможность проводить измерения в реальном времени и, таким образом, корректировать их в случае необходимости. Поэтому, на наш взгляд, целесообразно провести работы по сопряжению подводного спектрометра с системами подводного аппарата для проведения измерений в реальном времени.

ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИИ ЗАЛИВОВ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ НОВОЙ ЗЕМЛИ

Римский-Корсаков Н.А.¹, Казеннов А.Ю.², Розман Б.Я.¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова,

nrk@ocean.ru, 8(499)124 79 87¹

²НИЦ Курчатовский институт, akazenov@mail.ru, 8(499)1969662

Особенности состояния окружающей среды в заливах Новой земли Карского моря связаны с захоронениями радиоактивных отходов.

С началом широкого развития атомной энергетики в конце 1940-х годов остро встала проблема утилизации радиоактивных отходов (РАО). Одним из вариантов утилизации, получившим довольно широкое распространение, стал сброс РАО в открытое море [1]. В 1960–70-х гг. практика затопления радиоактивных отходов в Мировом океане была общепринятой для стран, развивающих мирное и военное исполь-

зование ядерной энергии. По данным МАГАТЭ до 1982 г. 14 странами (без СССР) в 47 районах Тихого и Атлантического океанов было затоплено 1,24 МКи (46 ПБк) радиоактивных отходов [6]. Подавляющая их часть – более 98% приходится на северо-западную Атлантику.

В настоящее время захоронение РАО в открытых морях регулируется международной Конвенцией по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов (Лондонская конвенция). Она подписана в Лондоне в 1972 г. и вступила в силу 30 августа 1975 г. С 1983 г. страны-участницы Лондонской конвенции приняли решение о моратории – добровольной приостановке удаления РАО в моря.

Советский Союз, а позднее Российская Федерация в 1957–1993 гг. осуществляли сброс РАО в Арктических (Баренцево и Карское) и Дальневосточных (Японское, Охотское и северо-западная часть Тихого океана) морях. Общая активность (на момент сброса) РАО составляла ~ 1,1 МКи (40 ПБк), при этом на Арктику приходилось 97% всех отечественных сбросов РАО [7]. В Карском море и заливах Новой земли было сброшено более 1 МКи (38 ПБк) активности. В настоящее время эта активность за счет радиоактивного распада снизилась более чем в 10 раз и определяется в основном долгоживущими радионуклидами ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{60}Co .

Для сравнения, суммарная активность выброса при аварии на Чернобыльской АЭС, составила по разным данным от 50 до 90 МКи (из них до 1,6 МКи долгоживущих ^{137}Cs и ^{90}Sr) [4,5].

В России необходимость захоронения РАО в море связана, в основном, с деятельностью Военно-Морского Флота и морских пароходств, имеющих атомный флот. Начиная с 1959 г., Северный флот, а впоследствии атомный флот Мурманского морского пароходства, производили захоронения радиоактивных отходов в Баренцевом и Карском морях. Затапливались твердые и жидкие радиоактивные отходы, атомные реакторы, в том числе с не выгруженными активными зонами.

Объекты, имеющие в своем составе радиоактивные вещества, могут представлять значительную опасность с точки зрения возможности загрязнения окружающей среды. К таким объектам относятся как затонувшие (или затопленные) корабли и суда с атомными энергетическими установками, содержащими отработавшее, или облученное ядерное топливо (ОЯТ), так и захороненные в морской среде радиоактивные отходы (РАО). При определении воздействия таких объектов на окружающую среду основной задачей является оценка состояния защитных барьеров безопасности – то есть тех конструктивных преград, которые

отделяют радиоактивные вещества внутри объекта от окружающей их морской среды. В связи с этим, одной из главных целей обследования затопленных радиационно опасных объектов является выявление выхода техногенных радионуклидов в морскую среду, поскольку это обстоятельство прямо свидетельствует о нарушении целостности защитных барьеров.

Начиная с 2002 г. ИО РАН проводит экспедиционные работы по экологическому обследованию мест захоронений ТРО в заливах Новой Земли в Карском море. Первоначально основным методом исследований был отбор проб придонной воды и донного грунта по заранее определенной сетке. Следующим логичным этапом исследования радиационной обстановки в заливах Новой Земли, стал переход к изучению уровней излучения в непосредственной близости от конкретных объектов с помощью привязной и автономной гамма-спектрометрической аппаратуры.

На рис. 1 представлен универсальный подводный гамма-спектрометр РЭМ-25М, разработанный НИЦ «Курчатовский Институт». Спектрометр позволяет проводить оперативный контроль радиоактивного загрязнения воды на уровне предельно-допустимых концентраций

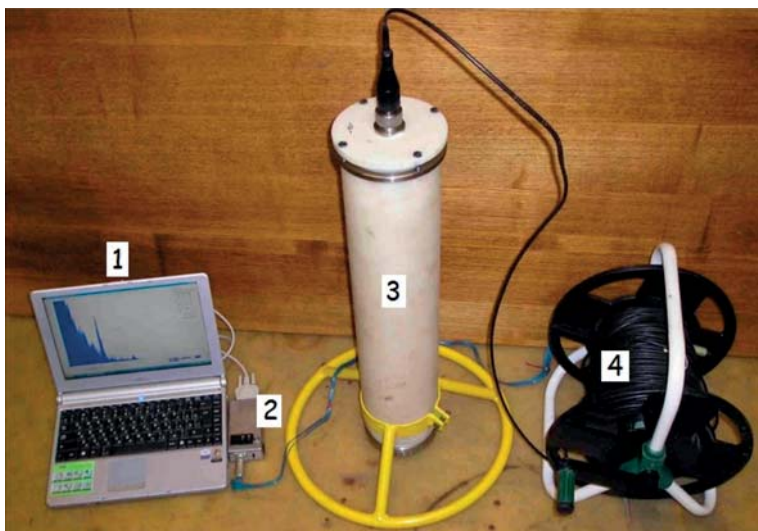


Рис. 1. Внешний вид комплекта подводной аппаратуры РЭМ-25М
1 – ПЭВМ с ПМО реального времени; 2 – судовый интерфейсный блок; 3 – погружаемый блок гамма-спектрометра; 4 – кабельная вьюшка

техногенных гамма-излучающих радионуклидов (^{137}Cs , ^{60}Co и др.), а донных отложений – на уровне фоновых значений, с борта неспециализированных плавсредств.

На рис. 2 представлен малогабаритный подводный гамма-спектрометр РЭМ-26, который предназначен для проведения измерений непосредственно на объекте исследования. Спектрометр может работать в автономном режиме с борта подводных аппаратов. При этом данные измерений привязываются к телевизионному изображению обследуемого объекта по единому времени. Основные технические характеристики гамма-спектрометров РЭМ-25М и РЭМ-26 приведены в табл. 1.

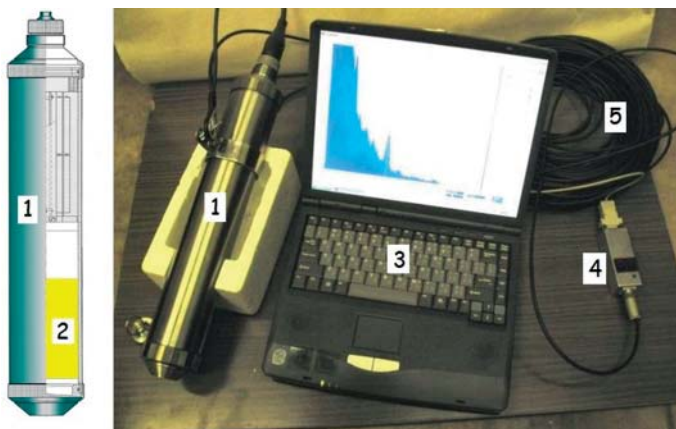


Рис. 2. Внешний вид комплекта подводной аппаратуры РЭМ-26
1 – погружаемый блок гамма-спектрометра; 2 – детектор NaI(Tl) ; 3 – ПЭВМ с ПМО реального времени; 4 – судовой интерфейсный блок; 5 – кабель-трос длиной 50 м

Для решения задачи прицельной доставки гамма-спектрометрической аппаратуры идеально подходит телеуправляемый подводный аппарат (ТНПА). В Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН в сотрудничестве с ООО «Индел-Партнер» успешно развивается технология океанологических исследований с применением ТНПА серии «Гном» [2, 3]. В упрощенном представлении ТНПА «Гном» является подводной видеокамерой на кабеле, оснащенной движителями, которые позволяют оператору перемещать ее под водой. Оператор контролирует окружающую обстановку по видеоизображению, которое передается по кабелю и управляет ТНПА с помощью джойстика на исполнитель-

Таблица 1. Основные технические характеристики подводных гамма-спектрометров

	РЭМ-25	РЭМ-26
Тип детектора	NaI (Tl)	
Размеры детектора, мм	∅ 75×180	∅ 60×100
Материал капсулы	капролон	титановый сплав
Минимально детектируемая активность ¹³⁷ Cs в морской воде за 1000 с, Бк/л	0.2	0.3
Ресурс непрерывных измерений, ч	не менее 20	не менее 8
Потребляемая мощность в режиме экспозиции, Вт	не более 2	
Число каналов спектра	512	
Максимальное число сохраняемых спектров в энергонезависимой памяти спектрометра	500	
Энергетический диапазон регистрации гамма-излучения, МэВ	0.1–3.0	
Интерфейс для связи с ПЭВМ	RS-232	
Максимальная глубина погружения, м	300	3000
Вес в воздухе, кг	12	5
Вес в воде, кг	3	3.5
Габаритные размеры, мм:		
диаметр	126	72
длина	790	445

ном судовом электронном блоке. ТНПА «Гном» предназначен для дистанционного осмотра подводных объектов, подводных частей судов и инженерных сооружений. На рис. 3 представлен новейший представитель линейки ТНПА ГНОМ – ТНПА «ГномПро». ТНПА имеет 3 пары движителей. Два мощных двигателя, расположенных в кормовой части аппарата обеспечивают маршевое движение по прямой, а также поворот и стабилизацию движения по курсу в горизонтальной плоскости. Два движителя, расположенные с правого и левого бортов ТНПА (лаговые движители) обеспечивают оперативное быстрое перемещение аппарата вбок в горизонтальной плоскости без изменения курса. Два вертикальных движителя позволяют изменять рабочий горизонт, обеспечить режим стабилизации по глубине, а также погружение и всплытие ТНПА. В стандартной комплектации аппарат оборудован высокочувствительной черно-белой и цветной видеокамерами, а также манипулятором-схватом. Освещение обследуемого объекта обеспечивается с помощью двух сборок мощных светодиодов, помещенных в цилиндрические прозрач-

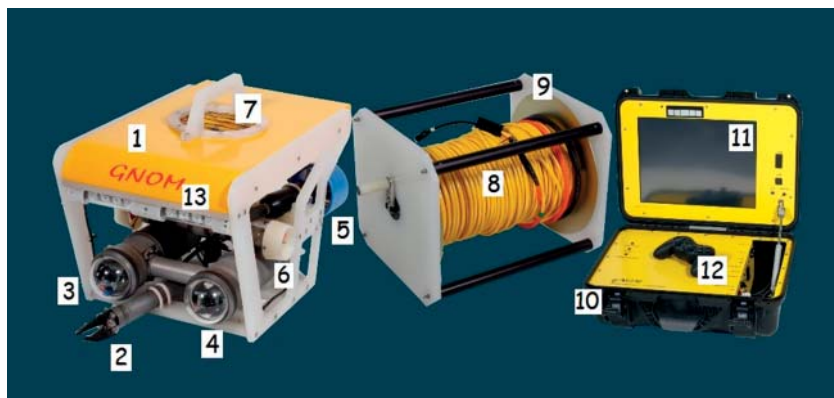


Рис. 3. Комплекс аппаратуры ТНПА «Супер ГНОМ Про»

1 – подводный аппарат; 2 – схват; 3 – цветная видеокамера высокого разрешения HD; 4 – высокочувствительная черно-белая видеокамера; 5 – маршевые движители; 6 – лаговые движители; 7 – движители вертикальных перемещений; 8 – коаксиальный кабель, усиленный кремнийорганической нитью; 9 – кабельная вьюшка с токосъемником; 10 – судовой пульт-кейс; 11 – встроенная ПЭВМ – моноблок; 12 – рабочий пульт-джойстик; 13 – светодиодные осветители

ные герметичные корпуса. ТНПА управляется с борта плавсредства с помощью стандартного игрового пульта-джойстика, который связан с управляющей ПЭВМ, вмонтированной в пульт-кейс судовой части комплекса ТНПА. На мониторе ПЭВМ отображаются видео изображения, получаемые с помощью подводных видеокамер аппарата, а также навигационная, гидролокационная и прочая служебная информация. На рис. 4 приведено изображение рабочего окна управляющей ПЭВМ комплекса «СуперГНОМпро». Благодаря гибкой системе отображения информации на экране ПЭВМ, а также информационно избыточной кабельной системе передачи данных, комплекс ТНПА может быть дополнен широким спектром измерительных приборов и другого оборудования, в том числе радиометрического. Технические характеристики ТНПА приведены в табл. 2.

Таким образом, разработана технология радиационного мониторинга затопленных объектов с помощью подводного гамма-спектрометра РЭМ-26, установленного на ТНПА ГНОМ. Экспозиция единичного измерения выбирается равной 50 с, что обеспечивает предел обнаружения радионуклида ^{137}Cs в поверхностном слое донных отложений на



Рис. 4. Пульт управления комплексом «СуперГНОМпро» и окно реального времени управляющей ПЭВМ

1 – видеоизображение подводного ландшафта в районе нахождения ТНПА; 2 – изображение окружающей обстановки, полученное с помощью гидролокатора бокового обзора; 3 – изображение навигационной обстановки – положение ТНПА относительно обеспечивающего судна в географических координатах; 4 – блок информации о функционировании основных и вспомогательных систем ТНПА; 5 – силовые переключатели энергетических цепей

уровне 30 Бк/кг мокрого грунта и 0,7 Бк/л – в морской воде. На рис. 5 приведено изображение ТНПА ГНОМ с установленным на нем гамма-спектрометром перед погружением с борта судна.

С использованием рассмотренной выше технологии в последние годы выполнен ряд работ по мониторингу подводных радиоактивных объектов, захороненных в заливах Новой Земли в Карском море. Работы выполнялись в заливах Абросимова, Степового, Цивольки и Благополучия. Результаты обследования указанных подводных ядерно- и радиационно опасных объектов в заливах Новой Земли были представлены в двух независимых докладах на 28 пленарном заседании контактной экспертной группы (КЭГ) МАГАТЭ, проходившей 18–22 ноября 2014 г. в Риме [8, 9].

Основным итогом проведенной работы можно считать правильность выбранных подходов к методике исследований мест радиоактивных захоронений и определения степени их потенциальной опасности с точки зрения радиационного воздействия на окружающую среду. Разработанная технология радиационного мониторинга показала свою

Таблица 2. Технические характеристики комплекса ТНПА
«СуперГНОМ Про»

<i>Максимальная рабочая глубина ТНПА</i>	<i>до 150 м (опционально 300 м)</i>
<i>Размеры (ДхШхВ)</i>	<i>450 мм x 300 мм x 300 мм</i>
<i>Вес ТНПА на воздухе / Общий вес комплекта</i>	<i>12 кг / 70 кг</i>
<i>Двигатели</i>	<i>Маршевые: 2 двигателя, 180 В 300 Вт Вертикальные: 1 двигатель, 180 В 300 Вт Боковые: 2 двигателя, 1 кгс</i>
<i>Крейсерская скорость (вперед)</i>	<i>до 4-х узлов</i>
<i>Боковая скорость</i>	<i>до 0.5 узлов</i>
<i>Тяга горизонтальная</i>	<i>12 кгс</i>
<i>Тяга вертикальная</i>	<i>6 кгс</i>
<i>Грузоподъемность</i>	<i>2 кг</i>
<i>Максимальная длина кабеля</i>	<i>400 м</i>
<i>Видеокамера</i>	<i>SonySuper HAD 2 CCD</i>
<i>Разрешение</i>	<i>600 ТВЛ</i>
<i>Чувствительность</i>	<i>0.1 Лк (0.01 - ч/б режим)</i>
<i>Фокусировка</i>	<i>автоматическая</i>
<i>Источник света</i>	<i>ультра-яркие светодиоды белого света</i>
<i>Кол-во светильников</i>	<i>3</i>
<i>Мощность</i>	<i>16 Вт каждый</i>
<i>Наличие сенсоров</i>	<i>Компас, глубомер</i>
<i>Автоматическая стабилизация курса и глубины</i>	<i>да</i>
<i>Источник питания</i>	<i>100-240 В @ 200 Вт, 60-50 Гц</i>
<i>Максимальная мощность</i>	<i>1200 Вт</i>
<i>Дисплей</i>	<i>15» ЖК</i>

эффективность. Очевидно, что необходима организация ежегодных экспедиций по теме «Мониторинг состояния окружающей среды и подводных объектов в Карском море», для продолжения наблюдений за окружающей средой в районах массовых захоронений радиоактивных отходов.

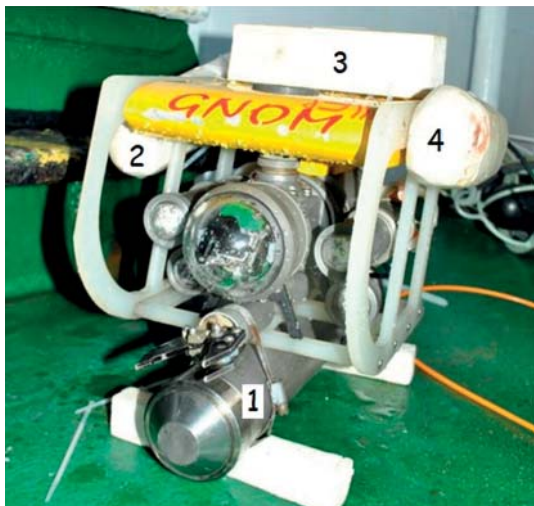


Рис. 5. ТНПА «СуперГНОМ» с установленным на нем гамма-спектрометром РЭМ-26 на палубе НИС «Профессор Штокман» после погружения в заливе Цивольки архипелага Новая Земля в Карском море
 1 – гамма-спектрометр РЭМ-26; 2,3,4 – дополнительные плавучести, компенсирующие вес гамма-спектрометра

Литература

1. Айбулатов Н.А. Экологическое эхо холодной войны в морях Российской Арктики – М.: ГЕОС, 2000. 307 с.
2. ГНОМ, телеуправляемый подводный аппарат. www.gnomgov.ru.
3. Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. Под редакцией академика Н.А.Спаского. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. – 780 с. с ил.
4. Сивинцев Ю.В., Хрулев А.А. Динамика выброса радионуклидов из аварийного энергоблока ЧАЭС в 1986 г. // Атомная энергия. 1995. Том 83. Вып. 2. С. 213–245.
5. Боровой А.А., Гагаринский А.Ю. Выброс радионуклидов из разрушенного блока Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. 2001. Том 90. Вып. 2. С. 137–145.
6. Inventory of Radioactive Material Entering the Marine Environment: Sea Disposal of Low Level Radioactive Waste/ IAEA-TECDOC-562/ International Atomic Energy Agency, Vienna, 1991.
7. Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П. и др. Радиоэкологические последствия затопления радиоактивных отходов в морях, омывающих Россию («Белая книга – 2000»). – Москва: ИздАТ, 2005.
8. Артемьев Г.Б., Гвинн Д., Казеннов А.Ю., Пешков Ю.В., Тейен Х.К., Шиньков В.И. Предварительные итоги совместной российско-норвежской радиоэкологической экспедиции в район нахождения затонувшей АПЛ К-159. Доклад на КЭГ МАГАТЭ. Рим, 19 ноября 2014.
9. Кикнадзе О.Е. Обследование подводных ядерно- и радиационно-опасных объектов в Арктике. Доклад на КЭГ МАГАТЭ. Рим, 19 ноября 2014 г.

СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ КАРСКОГО МОРЯ (ПО ДАННЫМ 2011–2013 ГГ.)

Ильин Г.В., Усягина Т.С., Касаткина Н.Е.

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Уникальность Карского моря определяется тем, что оно широко открыто к Северному Ледовитому океану, но сохраняет слабую связь с системой атлантических течений. На долю этого моря приходится в среднем около 55% общего стока во все моря сибирской Арктики, включая стоки Оби и Енисея. Почти 40% площади акватории находятся под влиянием материковых вод. Таким образом, географические особенности водоема, а также стратегия его использования для захоронений радиоактивных отходов определило многообразие путей поступления техногенных радионуклидов в море. Вклад различных источников в загрязнение Карского моря ^{137}Cs и ^{90}Sr показан на рис. 1 [1, 2].

Около 70% ^{137}Cs поступило в море от глобальных атмосферных выпадений после испытаний ядерного оружия. Остальная часть поступлений сформирована в равных долях трансокеаническим переносом вод, загрязненных отходами западно-европейских радиохимических заводов через Новоземельские проливы, стоком радионуклида с водами крупнейших рек Обь и Енисей, а также сливом жидких радиоактивных отходов. В загрязнении моря изотопом ^{90}Sr главную роль играет речной сток – 63%, около 30% приходится на атмосферные выпадения, остальные факторы составляют менее 10% [1, 3].

Сбор материала для исследований современного радиоактивного состояния Карского моря проводился в 2011–2013 гг. в ходе высокоширотных экспедиций на научно-исследовательском судне «Дальние Зеленцы», атомном ледоколе «Ямал», и попутных транспортных судах. Отбор проб проводился стандартным оборудованием в соответствии с методиками, принятыми МАГАТЭ.

Пробоподготовка и измерения активности радионуклидов проведены в аккредитованной лаборатории ММБИ на сертифицированном оборудовании. Активность гамма-излучающих изотопов измерена на гамма-спектрометрической установке Canberra с германиевым детектором. Определение активности ^{90}Sr проведено радиохимическим оксалатным методом с измерением счетного образца на альфа-бета-сцин-

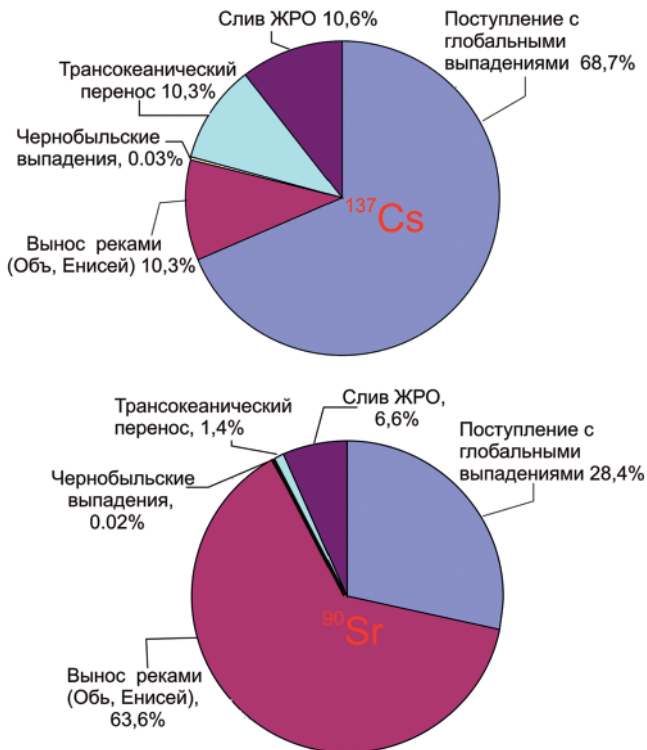


Рис. 1. Вклад источников техногенных радионуклидов в загрязнение среды Карского моря (1945–2000 гг.), рассчитан по данным А.И. Никитина [3]

тилляционным счетчике LS 6500 Beckman по излучению дочернего ^{90}Y (по Черенкову).

В ходе исследований в водах Карского моря не было обнаружено короткоживущих техногенных гамма-изотопов, которые могли свидетельствовать о недавних эмиссиях радионуклидов. Диапазон объемной активности ^{137}Cs узок, вписывается в интервал значений от следовой активности (мда $<1 \text{ Бк/м}^3$) до $2,5 \text{ Бк/м}^3$.

При незначительных пространственных различиях активности распределение ^{137}Cs имеет фрагментарный, «пятнистый» характер. Относительный рост концентрации отмечен в районе Восточно-Новоземельского желоба о ($1\text{--}2,5 \text{ Бк/м}^3$). Повышение активности в водах желоба вызвано притоком баренцевоморских вод через про-

лив Югорский Шар и материковым стоком с побережья Новой Земли. Понижение активности до следовых величин отмечено на мелководных участках моря. В центре замкнутой циркуляционной системы течений западной части моря концентрация ^{137}Cs изменяется в пределах 0,8–1,7 Бк/м³. Участок наименьших концентраций выделяется близ устьевой зоны Енисея и Оби. На характер распределения радионуклида ^{137}Cs в этом районе моря существенно влияет динамика речного стока и минеральной взвеси [1].

Диапазон объемной активности ^{90}Sr более широк – от 1 до 15 Бк/м³. Увеличение концентрации этого радионуклида (5–15 Бк/м³) отмечено в юго-восточной и центральной частях моря, подверженных воздействию стока Оби и Енисея. В водах Восточно-Новоземельского желоба и у противоположной, северо-восточной границы моря концентрации стронция-90 уменьшаются до 1,5–3,5 Бк/м³.

В многолетней динамике концентраций ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде [3, 4, 5, 6] отмечена нисходящая тенденция, которая описывается экспоненциальными кривыми (рис. 2). Период уменьшения объемной активности ^{137}Cs в 2 раза происходит за 9,5 лет, ^{90}Sr – за 17,5 лет. В Баренцевом море эти показатели составляют соответственно 6 и 12 лет [1].

В донных осадках, так же как и в водной среде, не обнаружено короткоживущих радионуклидов. Удельная активность ^{137}Cs в донных отложениях немногим выше, чем в водной среде, но в целом уровень активности низкий, варьируется в диапазоне от следовой активности (мдг <1 Бк/кг) до 11 Бк/кг сухой массы (рис. 3). В распределении активности хорошо выражена дифференциация поля концентраций, обусловленная главным образом морфологией дна, гидродинамикой, литотипом осадков.

Донные осадки Восточно-Новоземельского желоба представлены в основном глинистыми отложениями с различной долей примеси ила и песчаных фракций. Для осадков этого района характерен относительно повышенное содержание ^{137}Cs (2–12 Бк/кг). На мелководных участках морского дна концентрация ^{137}Cs ниже минимально детектируемой активности и лишь локально регистрируются значимые величины активности – 0,5–5 Бк/кг. Гидродинамический режим на мелководье создает условия интенсивного промывания осадков и определяет низкий уровень накопления радионуклидов в относительно промытых песчаных осадках.

Удельная активность ^{90}Sr в донных отложениях ниже, чем в водной среде, что обусловлено низкой сорбционной способностью изотопа. В основном он содержится в водной фазе и слабо накапливается взвесью.

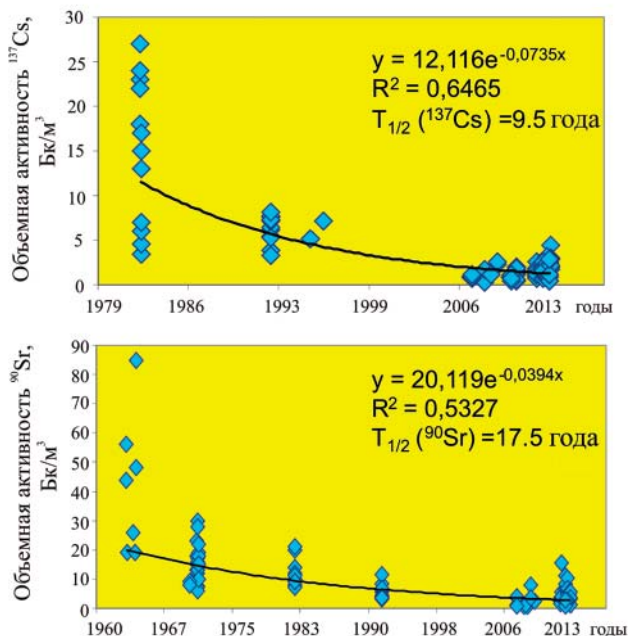


Рис. 2. Многолетняя динамика объемной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в верхнем слое вод Карского моря

Поэтому даже в зоне маргинального фильтра, где происходит осаждение многих радионуклидов, ^{90}Sr не концентрируется (рис. 4).

Анализ многолетней динамики концентраций радионуклидов в осадках Карского моря [2, 3, 4, 5, 6] выявил, что за последние 30 лет произошло снижение концентраций ^{90}Sr в 3 раза, ^{137}Cs – почти в 5 раз.

Таким образом, динамика активности техногенных радионуклидов в Карском море имеет тенденцию снижения до минимальных значений, возможных в «ядерную эпоху». Современный уровень радиоэкологического загрязнения отражает в основном объём глобальных выпадений ^{137}Cs и ^{90}Sr на акватории Арктики, Северной Атлантики и в водосборных бассейнах сибирских рек.

Влияние реально значимых в прошлом региональных источников – сбросов радиохимических комбинатов «Маяк» и «Томск-7», захоронений на полигонах Новой Земли, в настоящее время нивелируется в экосистеме Карского моря.



Рис. 3. Содержание ^{137}Cs (Бк/кг сухой массы) в донных отложениях Карского моря, 2011–2013 гг. (данные экспедиционных исследований ММБИ)

Литература

1. Ильин Г.В., Усягина И.С., Касаткина Н.Е. Геоэкологическое состояние среды морей российского сектора Арктики в условиях современных техногенных нагрузок // Вестник Кольского научного центра РАН. Апатиты, 2015. № 2/2015. С. 82–93.
2. Матишов Г. Г., Матишов Д. Г., Усягина И. С., Касаткина Н. Е. Многолетняя динамика радиоактивного загрязнения Баренцево-Карского региона (1960–2013 гг.) // Докл. РАН. 2014. Т. 458. № 4. С. 473–479.
3. Никитин А.И. Натурные исследования последствий сброса и захоронения радиоактивных отходов в моря Северного и Дальневосточного регионов Российской Федерации. Дис. на соискание ученой степени доктора географических наук. 25.00.02. Обнинск, 2009. 204 с.



Рис. 4. Содержание ^{90}Sr (Бк/кг сухой массы) в донных отложениях Карского моря, 2011–2013 гг. (данные экспедиционных исследований ММБИ)

4. Krosshavn M., Bjornstad H., Carroll J. et al. Environmental investigations in the Kara Sea and eastern Barents Sea / Norwegian Defence Research Establishment.- FFI/RAPPORT-98/04827. 1998. 55 p.

5. Strand P., Rudjord A.L., Salbu B. et al. Survey of artificial radionuclides in the Kara Sea // Environmental radioactivity in the Arctic and Antarctic-Edited by Per Strand and Elis Holm.-Osteras, 1993. P. 53–65.

6. Vakulovsky S., Nikitin A., Chumichev V., Katrich I. Yu. Radioactive Contamination of Russian Arctic Seas from results of observation during the years 1960–1962 // Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic / Ed. P. Strand, E. Holm. 1993. PP.177–179.

**VII. ФОТОМАТЕРИАЛЫ, ИЛЛЮСТРИРУЮЩИЕ
ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ РАБОТЫ В
КАРСКОМ МОРЕ**



НИС «Академик Мстислав Келдыш» у побережья Новой Земли



НИС «Профессор Штокман» в заливе Степового (Новая Земля)

НА СУДНЕ



Добро на работу гидрофизического зонда



Комплексная станция начинается с анализа гидрофизических профилей



*Лаборатория гидрофизики
– поиск гидрофизических
фронтов по данным скани-
рующего зонда*



*Отбор проб из батоме-
тров комплекса Rosett*



Чья проба лучше?



Сложный процесс фильтрации морской воды



*Идут к концу вторые
сутки безостановочной
работы*



*Пробы наддонной воды
дают новые представле-
ния о бактериальных и
геохимических процессах в
Карском море*



Подготовка проб для анализа органического углерода



Лаборатория биогидрохимии. Борт НИС «Академик Мстислав Келдыш»



В Карском море все лабораторные приборы должны быть закреплены



Молодежь не унывает даже после 30 суток в море

*Подготовка проб
фитопланктона*



*Работа планктонными
сетями*





Отбор живого зоопланктона для эксперимента



Фитопланктонологи улыбаются, несмотря на 12-ти часовой рабочий день



Обучение молодежи



Безопасность в море всегда важна – учебная тревога



*Донный трал Сигсби
перед уходом на
глубину*



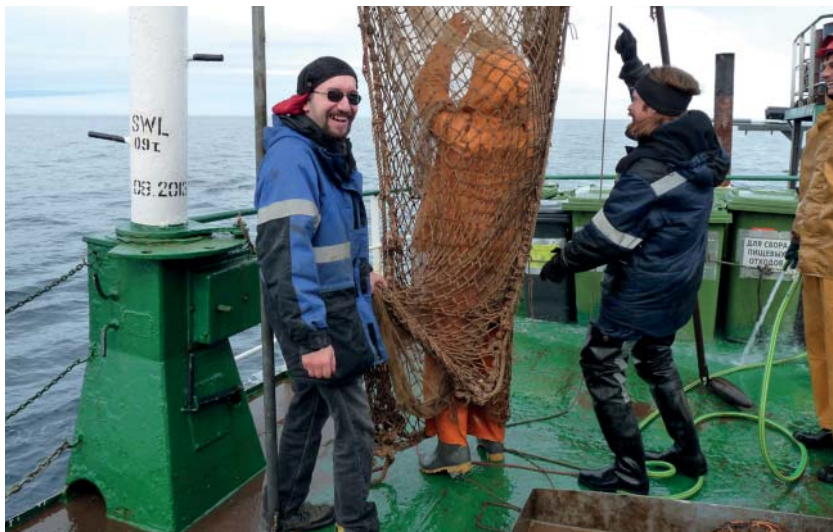
*Трубка Неймисто и
дночерпатель. Океан
– основные орудия от-
бора донных осадков*



Донный трал на борту. Первый взгляд на улов



Полевая океанология – чистая работа



*Самое ценное
может остаться
внутри трала*



*Донная фауна
Красноярского шельфа*



Разборка тралового улова



Работа дночерпателем



Лаборатория бентоса. Разборка материала



Проба, полученная большой геологической трубкой. Срез недавней геологической истории Арктического бассейна



*Шримс-медвежонок (креветка) *Sclerocrangon ferox**



*Крaб-стригун (*Chionoecetes orilio*), недавний вселенец в Карское море*



Морской паук Colossendeis proboscidea



Морские тараканы (Saduria entomon) густо населяют некоторые районы Обского эстуария



Морской зоопланктон – основа трофических сетей в арктических экосистемах



Морская звезда Crossaster papposus



Полухета Gattyana cirrhosa



Полухета Chone infundibuliformis

НОВАЯ ЗЕМЛЯ



Карское море может быть таким...



...а может быть и таким



В 30-е годы прошлого века столовые айсберги высотой до 40 м и диаметром до 300–400 м встречались по всему Карскому морю. Сегодняшние «крохи» живут в основном у берегов северного острова Новой Земли



*Снежницы на берегу залива Благополучия, северный остров Новой Земли.
Начало сентября*



Северный край ледника Розе (северный остров Новой Земли)



Отбор проб на леднике Розе. Возможность подхода с моря к леднику – редкое везение



*Снежники на южном берегу залива Благополучия
(северный остров Новой Земли)*



*Бухта Укромная, залив Благополучия. Начало сентября,
самое теплое время года*



Белый медведь на берегу бухты Укромной. Безнадежное ожидание тюленя



*Пресная вода при холодном северном ветре превращается
в красивые кристаллы*



Знаменитые новоземельские сланцы



Лишайники – основная жизнь на северном острове Новой Земли



Возвращение на судно. Залив Благополучия



Таким открывается ледник Серп и молот судам, входящим в залив Цивольки



Путь в леднику Серп и молот (залив Цивольки)



Подход к леднику. На расстоянии 200 метров чувствуется ледяное дыхание



Подходить к леднику ближе опасно



Готовые родиться айсберги



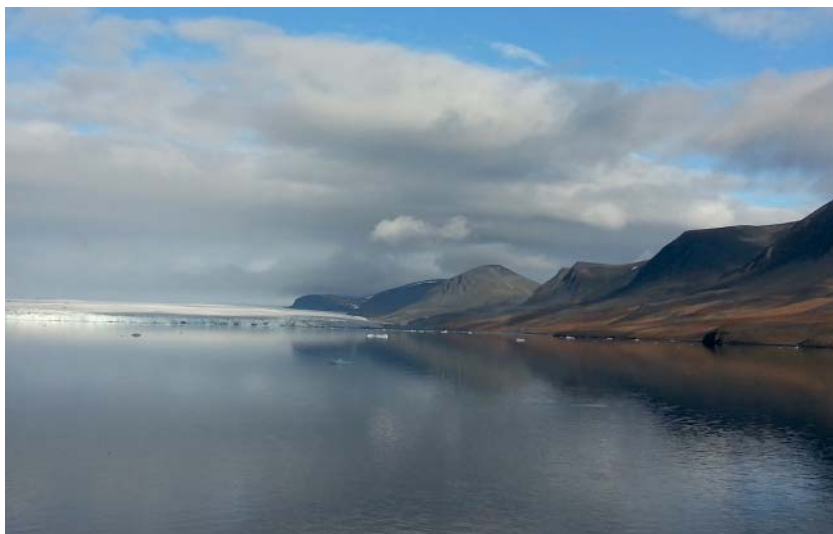
Измельченный сланец на пляже – следы работы ледника в прошлом



На срезе ледника видна его история



Ледник притягивает низкие тучи



Редкий солнечный день меняет краски арктической пустыни



Северный берег залива Цивольки



Ледник и человечки



*Скудная жизнь на
камнях северного
острова Новой
Земли*



*Закат над Новой
Землей*



Залив Степового. Дельта реки, питаемой ледником



Берег залива Степового

*Следы бывшего
присутствия человека
на Новой Земле*



Сентябрьский цветок



Первый этап высадки на берег



К неизведанным берегам Новой Земли



Высадка на берег в заливе Абросимова



Негостеприимный хозяин Новой Земли



Отбор проб почвы для анализа радиоактивности



Постоянные измерения радиоактивного фона на Новой Земле показали, что он ниже, чем в некоторых районах Подмоскovie



Отбор проб грунта в прибрежной полосе



Сбор проб мейобентоса на литорали Новой Земли



Отбор проб воды для анализа состава ледникового стока



Возвращение после удачного обследования ледника



Малое плавсредство, на котором велось обследование подводных потенциально опасных объектов в заливах Новой Земли



Погода не всегда благоприятствовала работам



Залив Благополучия встретил нас снежными берегами и безветренной погодой



Исследование химического состава берегового стока с Новой Земли – одна из задач экспедиций



Отбор дно-черпательных проб в заливе Благополучия



Пробы донных осадков иногда приходилось отбирать вручную, несмотря на ледяную воду



Научная группа на берегу бухты Укромная, залив Благополучия, северный остров Новой Земли. Отбор бентоса в заливе Новой Земли



Новая Земля еще долго останется таинственным архипелагом

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- | А | Д |
|----------------------------|--------------------------|
| Абызова Г.А. 146 | Дара О.М. 142 |
| Агатова А.И. 65 | Демидов А.Б. 90, 95, 111 |
| Арашкевич Е.Г. 134 | Дриц А.В. 134, 142, 214 |
| Артемьев В.А. 216 | Дроздова А.Н. 237 |
| Асадулин Э.Н.Э. 252 | Дружкова Е.И. 105, 111 |
| | Дубинина Е.О. 82 |
| Б | З |
| Беляев Н.А. 227 | |
| Большакова Я.Ю. 152 | Заботкина Е.А. 124 |
| Большаков Д.В. 152 | Завьялов П.О. 15 |
| Бурцева Л.В. 232 | Закусин С.В. 248 |
| В | Залота А.К. 179 |
| | Зацепин А.Г. 11 |
| Веденин А.А. 174, 179, 188 | Зими́на О.Л. 184 |
| Г | И |
| | Иванов Е.А. 206 |
| Галкин С.В. 188 | Ижицкий А.С. 15 |
| Гаранина С.А. 248 | Ильин Г.В. 267 |
| Гарлицкая Л.А. 166 | |
| Глазов Д.М. 194, 198 | К |
| Глуховец Д.И. 29, 46 | Казеннов А.Ю. 255, 258 |
| Голубева Н.И. 232 | Калинина О.Ю. 156 |
| Гольдин Ю.А. 29, 46 | Карандашев В.К. 214 |
| Гончаренко И.В. 29 | Касаткина Н.Е. 267 |
| Гордеев В.В. 142, 210 | Кикнадзе О.Е. 255 |
| Грабовский А.Б. 15 | Кобылянский С.Г. 152 |
| Громов С.А. 232 | Кокарев В.Н. 170 |

- Кондарь Д.В. 166
 Копейкин В.М. 225
 Копылов А.И. 124
 Корж А.О. 34, 39
 Кособокова К.Н. 137
 Коссова С.А. 82
 Кравчишина М.Д. 216
 Кременецкий В.В. 23, 34, 39, 111
 Крупская В.В. 248
 Кубряков А.А. 11
 Кузнецова Д.М. 198
- Л**
- Лапина Н.М. 65
 Лапин С.А. 53
 Леин А.Ю. 216
 Лобус Н.В. 214
- М**
- Макаревич П.Р. 98
 Маккавеев Е.П. 210
 Маккавеев П.Н. 50
 Максимова О.В. 162
 Мещерский И.Г. 194, 198
 Минин К.В. 188
 Мирошников А.Ю. 82, 243, 248, 252
 Мордвинцев И.Г. 206
 Мордвинцев И.Н. 198
 Морозов Е.Г. 19
 Мошарова И.В. 121
 Мошаров С.А. 90, 95, 111
- Н**
- Найденко С.В. 206
 Недоспасов А.А. 23, 34, 39, 70
- Немировская И.А. 221
 Никишина А.Б. 134, 142
 Новигатский А.Н. 216, 225
- О**
- Осадчиев А.А. 15
 Очередник В.В. 23
- П**
- Пастернак А.Ф. 134
 Пелевин В.В. 15
 Платонов Н.Г. 198, 206
 Полухин А.А. 58
 Полухин А.С. 111
 Поняев М.С. 227
 Портнова Д.А. 166
 Поярков С.Г. 129
 Проценко Е.А. 75
- Р**
- Римский-Корсаков Н.А. 258
 Рожнов В.В. 194, 198, 206
 Розман Б.Я. 258
 Романова Н.Д. 115, 124
- С**
- Сажин А.Ф. 111, 115, 124
 Сапожников Ф.В. 156
 Сафарова С.А. 240
 Семенков И.Н. 248
 Семенова Т.Н. 134
 Сёмин В.Л. 184
 Сергеева В.М. 105, 111, 134, 142
 Симаков М.И. 174

Соловьев Б.А. 194, 198
Соловьев К.А. 129, 142
Спиридонов В.А. 179
Станичный С.В. 11
Степанова С.В. 70, 86
Стунжас П.А. 62
Ступникова А.Н. 142, 146
Суханова И.Н. 105, 111, 216

Т

Торгунова Н.И. 65

У

Удалов А.А. 166, 174
Удовик Д.А. 194, 198
Усачева А.А. 248
Усягина Т.С. 267

Ф

Флинт М.В. 105, 129, 134
Фяйзуллина Р.В. 82

Х

Хирхе Ханс-Юрген 137
Хлебопашев П.В. 78

Ч

Чава А.И. 174

Ш

Шатравин А.В. 29, 46
Шевченко В.П. 225
Шпак О.В. 194, 198
Шульга Н.А. 237

Щ

Щука С.А. 23, 34, 39

Научное издание

**Экосистема Карского моря – новые данные
экспедиционных исследований**

Материалы научной конференции

Подписано в печать 17.06.2015

Формат 60x84/16. Усл. печ. л.

Тираж 200 экз. Заказ

ООО «АПР»

127083, Москва, ул. 8 Марта, стр.3

Тел. (495) 799-48-85