

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ



**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«МОРСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ ЗЕМЛИ
В МЕЖДУНАРОДНОМ ПОЛЯРНОМ ГОДУ 2007/08»**

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт
199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38
21–23 апреля 2010 года

ПРОГРАММА И ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Санкт-Петербург
ААНИИ
2010

СБОРНИК СТАТЕЙ
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«МОРСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ ЗЕМЛИ
В МЕЖДУНАРОДНОМ ПОЛЯРНОМ ГОДУ 2007/08»

ПРОГРАММА И ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Тезисы публикуются в авторской редакции

ISBN 978-5-98364-042-9

© Государственный научный центр РФ
Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Программа Международной научной конференции «Морские исследования полярных областей Земли в Международном полярном году 2007/08»	9
Program of International Scientific Conference «Marine researches of the polar regions of Earth during International polar year 2007/08»	17

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>И.Е.Фролов, В.Т.Соколов, И.М.Ашик.</i> Российские морские исследования ААНИИ в период МПГ 2007/08	25
<i>Г.Г.Матишов.</i> Климатические изменения морских экосистем	28
<i>А.В.Клепиков, Н.Н.Антипов, А.И.Данилов.</i> Российские океанографические исследования в Южном океане в период МПГ 2007/08.....	30
<i>Л.Ю.Васильев.</i> Участие Северного УГМС в выполнении мероприятий МПГ 2007/08	32
<i>Л.Н.Карлин, А.С.Аверкиев.</i> Совершенствование подготовки гидрометеорологов на океанологическом факультете в Российском государственном гидрометеорологическом университете	34

СЕКЦИЯ «ПОЛЯРНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ»

<i>Л.А.Тимохов, И.В.Поляков, И.М.Ашик, Х.Кассенс, С.А.Кириллов, А.Ю.Прошутинский, В.Т.Соколов, И.Е. Фролов.</i> Аномальные изменения термохалинной структуры Арктического бассейна и арктических морей	35
<i>А.И.Данилов, И.В.Бузин, Ю.П.Гудошников.</i> Влияние климатических изменений на деятельность по освоению арктического шельфа	37
<i>В.Д.Каминский, В.А.Поселов, П.В.Рекант.</i> Научные результаты комплексных геолого-геофизических исследований по проблеме внешней границы континентального шельфа в 2007–2008 гг.....	38
<i>Г.Л.Лейченко, Ю.Б.Гусева, В.В.Гандюхин.</i> Реконструкция изменения природной среды Восточной Антарктики по данным морских геофизических исследований.....	39
<i>Г.Б.Удинцев, Н.А.Куренцова, В.Г.Бахмутов, В.Д.Соловьев, С.П.Левашов, Х.В.Шенке, Н.Отт.</i> Пролив Дрейка и море Скоша – пояс реликтов палео-Земли Южная Патагония.....	41
<i>Н.М.Сущевская, А.В.Соболев, Б.В.Беляцкий.</i> Формирование магматизма в спрединговых зонах Полярной Атлантики	42
<i>В.Т.Соколов.</i> Комплексные исследования на дрейфующих станциях «Северный полюс» и дрейфующих базах в период МПГ 2007/08	44
<i>В.В.Иванов, И.М.Ашик, С.А.Кириллов, И.В.Поляков, Л.А.Тимохов.</i> Распространение атлантической воды вдоль евразийского континентального склона по данным квази-синхронных наблюдений.....	46
<i>И.А.Дмитренко, В.В.Иванов, С.А.Кириллов, Е.Л.Виноградова, Р.Э.Вудгейт, С.Торрес-Вальдес</i> О заимствовании Атлантикой халоклинных вод вдоль Сибирской континентальной окраины.....	47
<i>А.В.Попов, И.Д.Карелин, А.В.Рубчя.</i> Мезомасштабные аномалии солёности поверхностных вод Северного Ледовитого океана (по материалам наблюдений СП и буев ИТР)	48
<i>Е.А.Чернявская.</i> Изменчивость TS-структуры поверхностного слоя в Северном Ледовитом океане в летний период 2007–2008 гг.....	49
<i>А.Г.Трофимов, О.В.Титов, А.Л.Карсаков, Х. Лоонг, Р. Ингвальдсен, В.Льен.</i> Изучение термохалинной структуры и циркуляции вод на северо-восточной границе Баренцева моря (совместный российско-норвежский проект ВАС)	50
<i>Е.П.Бондарева, О.А.Морозова, А.П.Недашковский.</i> Гидрохимические исследования Арктического бассейна и арктических морей в рамках Международного полярного года 2007/08	52
<i>В.В.Сапожников, И.А.Гангнус, О.Н.Лукьянова, В.Л.Зубаревич.</i> Гидрохимические исследования в Арктике во время экстремального потепления на НЭС «Академик Федоров» в 2007–2008 гг.	54
<i>И.А.Гангнус, О.Н.Лукьянова, Н.В.Аржанова.</i> Пространственно-временная изменчивость гидрохимического режима Обской губы	55
<i>А.Г.Зацепин, П.О.Завьялов, В.В.Кременецкий, С.Г.Поярков, Д.М.Соловьев.</i> Особенности формирования и эволюции поверхностного опресненного слоя в Карском море	56
<i>Н.А.Дианский, А.В.Багно, А.В.Гусев, С.Н.Мошонкин.</i> Моделирование климатической эволюции содержания пресных вод в Северном ледовитом океане	58
<i>Е.Н.Голубева.</i> Исследование влияния атмосферной динамики на циркуляцию льда и водных масс Северного Ледовитого океана на основе численного моделирования.....	59
<i>Д.Духовской, М.Бурасса, П.Хьюз.</i> Спутниковые изображения высокого разрешения ветров на океанской поверхности в регионе северных морей и Баренцева моря в 2007–2008 гг.: приложения для модели океана	60

<i>И.М.Ашик, Е.Н.Дворкин.</i> Современные тенденции в изменении среднего уровня арктических морей.....	61
<i>Г.Н.Войнов.</i> Новые сведения о приливах Восточно-Сибирского моря в пунктах бухта Амбарчик и порт Певек	63
<i>И.М.Ашик, А.С.Макаров, Д.Ю.Большаинов.</i> Развитие берегов российской Арктики в связи с колебаниями уровня моря	65
<i>И.Е.Козлов, В.Н.Кудрявцев, С.Сандвен.</i> Наблюдение океанских внутренних волн в Баренцевом море на основе спутниковых РЛ-данных.....	67
<i>А.В.Зимин.</i> Наблюдения короткопериодных внутренних волн в Белом море.....	68
<i>А.Г.Зацепин, А.Г.Островский, В.Н.Иванов, В.А.Соловьев, Г.К.Тимашкевич, Д.А.Швоев, А.Л.Цибульский.</i> Заякоренный роботизированный профилограф для мониторинга арктических акваторий, охраны морской среды и научных исследований	69
<i>Ю.В.Артамонов, В.Н.Ващенко.</i> Результаты океанографических исследований Украины в Антарктике в рамках Международного полярного года 2007/08	70
<i>М.Н.Кошляков, Р.Ю.Тараканов.</i> Структура течений в проливе Дрейка по данным экспедиционных исследований 2003–2010 гг.	71
<i>В.В.Ионов, И.О.Шилов.</i> Изучение динамики термических фронтов Южного океана на основе натуральных прямых и дистанционных наблюдений.....	74
<i>А.Ю.Артамонов, Ю.В.Артамонов.</i> Исследования мезомасштабной изменчивости термической структуры вод верхнего слоя океана по данным многочасовых зондирований в районах антарктических станций	75
<i>К.В.Батрак, Л.А.Духова, В.Л.Зубаревич, В.В.Масленников, Т.Б.Семочкина, Н.И.Торгунова.</i> Морские гидрохимические исследования в Антарктике в период МПГ	76

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ СЕКЦИИ «ПОЛЯРНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ»

<i>Ю.В.Артамонов, В.П.Буныкин, С.П.Кислицин, Е.А.Скрипалева.</i> Особенности пространственной структуры температуры поверхности океана в 2007–2009 гг. (по данным попутных измерений на НЭС «Академик Федоров»).....	77
<i>Н.Е.Иванов, В.В.Иванов.</i> Распространение годовой волны температуры атлантической воды в Северном Ледовитом океане	78
<i>В.И.Дымов, Т.А.Пасечник, В.В.Алексеев, Н.П.Яковлева.</i> Ветро-волновые условия на акватории арктических морей России в период МПГ 2007/08	80
<i>И.А.Неелов, О.П.Савчук, А.В.Клепиков.</i> Моделирование изменчивости гидрофизических и химико-биологических полей в Северном Ледовитом океане	82
<i>Г.А.Тарасов, О.В.Кокин.</i> К вопросу об изучении потока осадочного вещества в заливе Грен-фьорд	84
<i>Д.О.Доронин, В.В.Ионов, А.К.Павлов.</i> Исследование пространственной изменчивости основных фронтальных зон Южного океана на разрезе Кейптаун – ст. Молодежная	86
<i>А.П.Недашковский, Н.И.Савельева, Е.П.Бондарева.</i> Гидрохимические показатели вентиляции глубинных вод котловины Нансена.....	87
<i>А.Н.Чаркин, О.В.Дударев, И.П.Семилетов.</i> Распределение взвеси над некоторыми подводными возвышенностями Восточно-Сибирского шельфа	88
<i>М.С.Махотин, Л.А.Тимохов.</i> Пространственная и временная изменчивость летних тихоокеанских вод в Арктическом бассейне СЛО	89
<i>А.Е.Новихин, Е.В.Блошкина, Ф.М.Мартынов, О.А.Морозова.</i> Гидрохимические исследования в море Лаптевых летом 2007–2008 гг.....	90
<i>Е.В.Блошкина, Л.А.Тимохов.</i> Расчет турбулентных характеристик под дрейфующим льдом на основе измеренных профилей течений и <i>k-L</i> модели турбулентности.....	91

СЕКЦИЯ «ПОЛЯРНЫЕ ОКЕАНЫ И КЛИМАТ, ПОСЛЕДСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЛЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

<i>Г.В.Алексеев, Н.Е.Иванов, А.В.Пнюшков, А.В.Балакин.</i> Изменения климата в морской Арктике в начале XXI столетия.....	92
<i>В.А.Белязо, А.А.Дмитриев.</i> Проявление космико-гелиогеофизических факторов в климатической изменчивости полярных регионов планеты.....	93
<i>Н.К.Кононова.</i> Флуктуации циркуляции атмосферы в Арктике в 1899–2008 гг.	95
<i>А.М.Полякова.</i> Циркуляция атмосферы в северной Пасифике	97
<i>О.М.Покровский.</i> Влияние Атлантического мультидекадного колебания на климатические ряды глобальных температур воздуха и площадей ледового покрова в российских арктических шельфовых морях за 100–150 лет.....	99
<i>В.И.Пономарев, Е.В.Дмитриева, В.А.Петрова, С.П.Шкорба.</i> Взаимосвязи между колебаниями климата в Арктике и Тихом океане.....	100

<i>А.А.Кораблев, А.В.Смирнов.</i> Климатология для северных морей основанная на нестационарных подходах: методология и результаты.....	102
<i>А.В.Попов, А.В.Рубчя.</i> Климатические последствия распространения аномалии солености поверхностных вод в Северной Атлантике	104
<i>Н.Г.Яковлев.</i> Оценка роли прилива в формировании климата вод и морского льда Северного Ледовитого океана	105
<i>В.Д.Бойцов.</i> Современное состояние климатической системы Баренцева моря	107
<i>Е.В.Иванова, И.О.Мурдмаа.</i> Фьорд Русская Гавань, северо-восточная часть Баренцева моря: уникальные морские архивы климатических изменений в течение малого ледникового периода и недавнего потепления.....	109
<i>И.В.Грищенко.</i> Температурный режим и его изменения на акватории юго-востока Баренцева моря.....	110
<i>А.Н.Кренке, М.Д.Ананичева, Д.В.Турков.</i> Влияние изменений ледового покрова Южного океана на накопление снега в Антарктиде: модельные эксперименты и статистический анализ	112
<i>Н.К.Кононова, В.Г.Захаров.</i> Связь гляциологических процессов в Антарктиде с глобальной циркуляцией атмосферы.....	113
<i>С.В.Бердников, А.Е.Цыганкова.</i> Разработка и применение геоинформационных технологий для изучения влияния изменений климата на экосистему Белого моря	115
<i>В.В.Иванов, М.В.Третьяков.</i> Развитие технологий оценки и прогнозирования интрузии морских вод в устьевые области рек Арктики в условиях регулирования стока и климатических изменений	117
<i>Л.А.Гайко.</i> Влияние изменения климата на молодь гидробионтов в северо-западной части Японского моря.....	118

**СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ
СЕКЦИИ «ПОЛЯРНЫЕ ОКЕАНЫ И КЛИМАТ,
ПОСЛЕДСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЛЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

<i>Н.Е.Иванов, А.П.Макитас, С.В.Шутилин, И.И.Большакова, О.В.Жукова, Р.М.Гун.</i> Изменчивость характеристик климата и припайного льда в районе Гидрометеорологической обсерватории Тикси	119
<i>С.П.Пугач, И.И.Пипко, И.П.Семилетов.</i> Распределение CDOM в Восточно-Сибирском море.....	121
<i>Ю.В.Артамонов, М.В.Бабий, А.Е.Букатов, Е.А.Скрипалева.</i> Климатическая изменчивость полей ветра, температуры поверхности океана и сплоченности морских льдов в антарктическом регионе по данным контактных и спутниковых измерений	123
<i>В.В.Коваленко, Е.В.Гайдукова, Н.В.Викторова, В.А.Хаустов, М.Н.Громова, В.С.Девятков, Е.В.Шевнина.</i> Методология оценки гидрологических последствий изменения климата для устьевых участков рек Арктического региона России.....	124

СЕКЦИЯ «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА»

<i>В.В.Иванов, Л.Ю.Рыжаков, А.Я.Коржиков, В.К.Куражов.</i> Оценка развития и перестроек крупномасштабных атмосферных процессов и характер их проявления в полярном районе Арктики	125
<i>Г.А.Власова, А.М.Полякова.</i> Влияние региональных атмосферных процессов на циркуляцию вод Берингова моря.....	126
<i>Н.А.Вязилова.</i> Особенности штормовой активности в Северной Атлантике в 2007–2008 гг.	128
<i>А.П.Макитас, С.В.Шутилин, В.Т.Соколов, Н.С.Зиновьев, В.Ю.Кустов.</i> Метеорологические исследования на дрейфующих станциях «Северный полюс-35» и «Северный полюс-36»	129
<i>А.В.Смирнов, А.А.Кораблев.</i> Взаимосвязь между характеристиками перемешанного слоя и потоками тепла на границе раздела океан–атмосфера в Северо-европейском бассейне	130
<i>Е.И.Климчук.</i> Сезонная изменчивость свердруповского переноса в Северной Атлантике.....	132
<i>М.В.Лунева, Э.Уилмотт, М.А.Македа.</i> Волны Россби на полярной плоскости и влияние батиметрии на геострофическую адаптацию в модели Северного Ледовитого океана	133
<i>И.А.Репина, А.С.Смирнов, Д.Г.Чечин.</i> Экспериментальные исследования взаимодействия атмосферы и океана в морях Восточной Арктики.....	134
<i>С.П.Поляков, О.М.Андреев, А.М.Безгрешнов, Б.В.Иванов.</i> Исследования радиационной и термической структуры торосов в высокоширотной области арктического бассейна	135
<i>Н.Н.Жильцов.</i> Оценка использования спутниковой дрейфтерной технологии в изучении взаимодействия океана и атмосферы, пути ее дальнейшего совершенствования	136
<i>А.И.Решетников, Н.Н.Парамонова, В.М.Ивахов.</i> Исследования концентрации парниковых газов в Северном Ледовитом океане в период МПГ 2007/08	137
<i>Х.Люан, А.Обжиров.</i> Поступление метана из океана в атмосферу	139
<i>В.Е.Лагун, Н.Е.Иванов, А.И.Коротков, А.В.Клепиков, С.В.Яговкина.</i> Изменения гидрологических условий в районе Антарктического полуострова в режиме регионального потепления.....	140

В.В.Полькин, Ю.В.Артамонов, В.П.Буныкин, С.П.Кислицин. Широтное распределение аэрозоля и гидрометеорологических параметров на трансатлантическом галсе по данным попутных измерений на НЭС «Академик Федоров» в ноябре 2009 г. 142

**СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ
СЕКЦИИ «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА»**

А.А.Речнов, А.А.Мишин, Е.Е.Сибир. Современное состояние актинометрических измерений на станциях «Северный полюс» (СП). Результаты измерений длинноволновых и коротковолновых составляющих радиационного баланса (СРБ) с использованием конструктивно интегрированного балансомера CNR 1 KIPP&ZONEN. Автоматизированные рабочие места (АРМ) для обработки актинометрической информации (MAWS v110 и SONE 7v02) 143

А.Ю.Артамонов. Исследования мезомасштабной изменчивости потоков тепла и гидрометеорологических условий на ст. Беллинсгаузен в летний сезон 2008–2009 гг. 144

В.Ю.Кустов, Н.С.Зиновьев, А.П.Макишас, С.В.Шутилин. Особенности радиационного энергообмена в Арктике по данным Российских научно-исследовательских дрейфующих станций «Северный полюс-35, 36» 145

Н.С.Зиновьев, В.Ю.Кустов, А.П.Макишас, С.В.Шутилин, К.Дэтлофф, А.Ринке, М.Милке. Комплексные исследования пограничного слоя атмосферы на дрейфующей станции «Северный полюс-36» (апрель 2009 г.) ... 146

Р.Е.Власенков, А.П.Макишас, А.Смирнов. Радиационные характеристики, CDOM и взвеси в российских шельфовых морях 147

А.П.Недашковский, А.П.Макишас. Общий неорганический углерод в однолетнем морском льду высокоширотной Арктики и оценка роли арктического льда в обмене CO₂ 148

СЕКЦИЯ «МОРСКОЙ ЛЕД»

И.Е.Фролов, З.М.Гудкович, В.П.Карклин, В.М.Смоляницкий, А.В.Юлин. Развитие ледовых условий в Арктическом бассейне и морях сибирского шельфа в период Международного полярного года 149

С.В.Фролов, В.Ю.Третьяков, А.Э.Клейн, Е.А.Гришин, Т.А.Алексеева, С.С.Пряхин. Толщина льда и ее изменчивость в Арктическом бассейне в период МПГ 2007/08 по данным судового цифрового телевизионного комплекса 150

В.Ю.Александров, С.Сандвен, Й.Валин, О.М.Йоханнессен, Л.П.Бобылев. Анализ данных о толщине снега и морского льда в Арктике по материалам экспедиций «Север» 151

А.Б.Тимофеева. Формирование ледовых условий в море Лаптевых в период Международного полярного года 152

Е.У.Миронов, В.С.Порубаев, В.В.Харитонов. Исследование торосов и стамух в Карском море и Арктическом бассейне в период Международного полярного года 154

Б.В.Иванов, О.М.Андреев, А.П.Павлов, П.Н.Священников, Д.М.Журавский. Исследования ледового режима в заливе Грен-фьорд, архипелаг Шпицберген (многолетний режим, экспериментальные данные, модельные расчеты) 155

В.Н.Смирнов, С.М.Ковалев, Л.В.Панов, И.Б.Шейкин. Динамические процессы в морских льдах (по результатам инструментальных наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс») 156

Л.В.Панов, С.М.Ковалев, К.В.Соболевский, А.А.Ньюбом. Технология мониторинга состояния ледяного поля дрейфующей станции «Северный полюс» 157

И.Б.Шейкин, В.Н.Смирнов. GPS-оценки кинематики и динамики ледяного покрова Северного Ледовитого океана 158

В.В.Асмус, В.А.Кровотынцев, О.Е.Милехин, И.С.Тренина. Действующие и перспективные российские спутниковые системы и их использование для оперативного мониторинга ледяного покрова полярных областей Земли и изучения климатических изменений 159

Е.В.Шалина, Л.П.Бобылев, С.Сандвен. Современное состояние ледяного покрова Арктики согласно спутниковым наблюдениям 162

Л.П.Бобылев, С.И.Кузьмина, О.М.Йоханнессен. Сравнение информации о ледяном покрове Арктики по данным наблюдений и моделирования 163

Н.Ю.Захваткина, В.Ю.Александров, В.Г.Смирнов. Использование и верификация метода нейронных сетей для классификации спутниковых изображений ледяного покрова Северного Ледовитого океана 164

В.Г.Смирнов, И.А.Бычкова, З.М.Гудкович, С.В.Клячкин, В.С.Лоцилов, В.В.Степанов. Методика слежения за ледяными образованиями с использованием данных дистанционного зондирования и динамико-термодинамической модели 165

И.О.Думанская, А.М.Котилевская. Методика долгосрочного прогноза ледовых условий на Белом море и юго-востоке Баренцева моря 168

В.В.Плотников. Изменчивость и сопряженность ледовых условий в системе морей восточной Арктики (Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) 171

<i>А.М.Полякова.</i> Сверхдолгосрочный прогноз месячной ледовитости Берингова моря.....	173
<i>А.Г.Петров, Е.И.Тринько.</i> Типизация элементов ледяного покрова Охотского моря.....	175
<i>С.П.Шкорба.</i> Дальние связи аномалий ледовитости Японского моря.....	176

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ СЕКЦИИ «МОРСКОЙ ЛЕД»

<i>А.Э.Клейн, А.Л.Румянцев, В.М.Смоляницкий, В.Т.Соколов.</i> Результаты использования беспилотного летательного аппарата «Элерон-23» на дрейфующих станциях «Северный полюс».....	179
<i>П.В.Богородский, А.В.Пнюшков, С.В.Шутилин.</i> Формирование и эволюция припайного льда в проливе Амундсена.....	180
<i>В.И.Бессонов.</i> Использование спутниковой информации для поиска ледяных образований, пригодных для длительного пребывания на них людей.....	181
<i>А.М.Котилевская, И.О.Думанская.</i> Ледовое обеспечение транспортных операций в Белом, на юго-востоке Баренцева и в Карском морях.....	182
<i>Ю.А.Романов, Н.А.Романова.</i> Средние размеры антарктических айсбергов по данным о географическом распределении и морфометрическим характеристикам айсбергов разных форм.....	184
<i>Н.М.Вакульская.</i> Параметрический анализ состояний ледяного покрова Берингова моря.....	186

СЕКЦИЯ «МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ»

<i>И.С.Смирнов, Е.П.Воронина, А.В.Неелов, А.Л.Лобанов.</i> Организация Центра сбора биологических данных в рамках проекта МПП.....	188
<i>С.Л.Дженюк.</i> Состояние и возможности развития экосистемного мониторинга морей Западной Арктики.....	190
<i>М.В.Гаврило, В.М.Смоляницкий.</i> Гнездовой ареал белой чайки <i>Pagophila eburnea</i> в России и морские ледовые условия.....	192
<i>К.Н.Кособокова, Х.-Ю.Хирхе, Р.Р.Хопкрофт.</i> Современные представления о структуре планктонных экосистем Арктического бассейна.....	194
<i>А.И.Агатова, Н.М.Лапина, Н.И.Торгунова.</i> Органическое вещество и скорости его трансформации в морских и ледовых экосистемах высоких широт Арктики.....	195
<i>И.А.Немировская, Н.Г.Чернявский, В.А.Артемов.</i> Органические соединения в снежно-ледяном покрове в Арктике и Антарктике.....	197
<i>А.Н.Новигатский, В.П.Шевченко, И.А.Мельников.</i> Состав осадочного вещества в снежно-ледовом покрове в околополюсном районе Арктики в апреле 2008 г.....	199
<i>Н.В.Горюнова, В.П.Шевченко.</i> Эоловый и ледовый перенос вещества в Арктике.....	201
<i>Г.В.Ильин.</i> Характерные черты распространения загрязняющих веществ в российских арктических морях.....	202
<i>И.А.Немировская.</i> Загрязнение арктических морей нефтяными углеводородами.....	204
<i>В.В.Становой, И.А.Неелов, М.Ю.Кулаков.</i> Моделирование внутриводного распространения нефтяных загрязнений.....	206
<i>Т.И.Ширококолобова, М.П.Венгер.</i> Гетеротрофный бактериопланктон прибрежных экосистем Баренцева моря.....	208
<i>Е.А.Фролова, О.С.Любина, О.Ю.Ахметчина, Е.А.Гарбуль, Д.Р.Дикаева, О.Л.Зимина, О.И.Нехаев, Н.Н.Пантелеева, А.А.Фролов.</i> Исследования бентоса в районе архипелага Земля Франца-Иосифа в 2006–2008 гг.....	209
<i>Е.И.Дружкова.</i> Особенности пространственного распределения нанофитопланктона в районе архипелага Земля Франца-Иосифа летом 2007 г.....	211
<i>Г.М.Воскобойников.</i> Адаптация водорослей-макрофитов к условиям Арктики.....	213
<i>А.С.Аверкиев, Д.В.Густов, И.П.Карпова.</i> Диагностика гидрофизических структур и промысловых объектов в Баренцевом море по спутниковым данным.....	214
<i>В.Д.Бойцов, Э.Л.Орлова, А.В.Долгов.</i> Особенности условий среды и формирование структуры планктонных и нектонных сообществ в северной части Баренцева моря в 2006–2008 гг.....	215
<i>Д.Р.Дикаева.</i> Влияние климатических изменений на распределение полихет вдоль разреза Кольский меридиан (Баренцево море).....	217
<i>Н.Н.Филатов, И.А.Неелов, О.П.Савчук.</i> Изменения экосистемы Белого моря и водосбора.....	219
<i>А.В.Толстиков, И.А.Неелов.</i> Модельные расчеты водо- и массообмена через Горло Белого моря.....	220
<i>Е.Виноградова, Е.Якушев.</i> Сезонная изменчивость биогенных элементов в Двинском заливе Белого моря.....	222
<i>А.Э.Овсепян.</i> Особенности распределения и накопления ртути в компонентах биогеохимического цикла барьерной зоны р. Северная Двина – Белое море.....	223
<i>А.К.Райский.</i> О ювенильных признаках у взрослых морских пауков в холодных и опресненных водах Карского моря (по материалам 54-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в сентябре 2007 г.).....	225

<i>О.С.Решетняк.</i> Трансформация компонентного состава устьевой области р. Енисей	226
<i>А.Ю.Гуков, А.А.Борзенков, А.А.Петрученко, С.А.Гуков.</i> Состояние экосистемы залива Булункан в море Лаптевых по гидробиологическим показателям.....	228
<i>М.Ю.Кондакова.</i> Трансформация компонентного состава водной среды устьевой области р. Колыма.....	230
<i>Н.В.Чернова.</i> Новые данные о рыбах Чукотского моря	232
<i>В.Б.Дарнитский, М.А.Ищенко.</i> Некоторые экологические процессы в восточных субарктических морях Беринга и Чукотском	233
<i>С.М.Игнатьев.</i> Многолетняя и сезонная изменчивость некоторых компонентов морских прибрежных экосистем в районе УАС Академик Вернадский.....	234
<i>Э.З.Самышев.</i> К вопросу о функционировании прибрежных антарктических экосистем	236
<i>Н.И.Минкина.</i> Оценка состояния популяций антарктической сальпы на основании определения пространственной вариабельности их энергетического метаболизма.....	237
<i>С.Г.Денисенко, Б.И.Сиренко, В.В.Петряшев.</i> Биоресурсы зообентоса в Чукотском море	239
<i>С.А.Серегин.</i> 1998–2007: многолетний тренд обилия бактериопланктона в прибрежье аргентинских островов, Антарктика.....	241
<i>О.С.Воскобойникова.</i> Прошлое, настоящее и будущее исследований ихтиопланктона Антарктики.....	243
<i>Б.И.Сиренко, С.Ю.Гагаев, В.Л.Джурицкий, Ф.В.Кобеков, В.В.Потин.</i> Современное состояние донных биоценозов залива Прюдс	245

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

СЕКЦИИ «МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ»

<i>М.В.Гаврило, В.А.Спиридонов, А.В.Попов.</i> Морское биоразнообразие и ледовые биотопы: материалы для природоохранного Атласа морей Российской Арктики.....	246
<i>И.М.Иванова.</i> Изменчивость абиотических экологических факторов в Обско-Енисейском устьевом регионе	248
<i>И.И.Пипко, С.П.Пугач, И.П.Семилетов, Л.Андерсон.</i> Эвазия CO ₂ на шельфе Восточно-Сибирского моря.....	250
<i>А.Панасюк-Чодника, М.И.Змиевска.</i> Сифонофоры в заливе Адмиралтейства (Антарктида) – некоторые аспекты биологии и экологии	252
<i>А.М.Никаноров, О.С.Решетняк, М.Ю.Кондакова.</i> Современное состояние устьевых областей рек бассейна моря Лаптевых.....	253
<i>О.В.Дударев, А.Н.Чаркин, И.П.Семилетов.</i> Современная морфоскульптура некоторых подводных возвышенностей на Восточно-Сибирском шельфе.....	255

**ПРОГРАММА МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«МОРСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ ЗЕМЛИ
В МЕЖДУНАРОДНОМ ПОЛЯРНОМ ГОДУ 2007/08»**

21 апреля 2010 г.

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Место проведения: Большой зал заседаний ААНИИ

Сопредседатели: И.Е.Фролов, А.И.Данилов

- 9:00–9:30 Регистрация участников
- 9:30–9:40 Приветствие директора ААНИИ *И.Е.Фролов*
Приветствие от Росгидромета и Минобрнауки.
- 9:40–10:10 Российские морские исследования ААНИИ в период МПГ 2007/08. *И.Е.Фролов, В.Т.Соколов, И.М.Ашик.*
- 10:10–10:40 Проблемы тектонического районирования Арктического бассейна и взаимоотношений океанических и континентальных структур. Академик *Ю.Г.Леонов.*
- 10:40–11:10 Климатические изменения морских экосистем. Академик *Г.Г.Матишов*
- 11:10–11:30 *Кофебрейк*
- 11:30–12:00 Российские океанографические исследования в Южном океане в период МПГ 2007/08 *А.В.Клепиков, Н.Н.Антипов, А.И.Данилов.*
- 12:00–12:30 Участие Северного УГМС в выполнении мероприятий МПГ 2007/08. *Л.Ю.Васильев.*
- 12:30–13:00 Совершенствование подготовки гидрометеорологов на океанологическом факультете в Российском государственном гидрометеорологическом университете. *Л.Н.Карлин, А.С.Аверкиев.*

13:00–14:00 *Обед*

Место проведения: фойе Конгресс-холла ААНИИ

18:30 Вечер, посвященный открытию конференции

Секция «ПОЛЯРНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ»

Место проведения: Большой зал заседаний ААНИИ

21 апреля 2010 г.

Сопредседатели: Л.А.Тимохов, С.А.Кириллов

- 14:00–14:20 Аномальные изменения термохалинной структуры Арктического бассейна и арктических морей. *Л.А.Тимохов, И.В.Поляков, И.М.Ашик, Х.Кассенс, С.А.Кириллов, А.Ю.Прошутинский, В.Т.Соколов, И.Е.Фролов.*
- 14:20–14:40 Влияние климатических изменений на деятельность по освоению арктического шельфа. *А.И.Данилов, И.В.Бузин, Ю.П.Гудошников.*
- 14:40–15:00 Научные результаты комплексных геолого-геофизических исследований по проблеме ВГКШ в 2007/2008 гг. *В.Д.Каминский, В.А.Поселов, П.В.Рекант.*
- 15:00–15:20 Реконструкция изменения природной среды Восточной Антарктики по данным морских геофизических исследований. *Г.Л.Лейченко, Ю.Б.Гусева, В.В.Гандюхин.*
- 15:20–15:40 Пролив Дрейка и море Скоша – пояс реликтов палео-Земли Южная Патагония. *Г.Б.Удинцев, Н.А.Куренцова, В.Г.Бахмутов, В.Д.Соловьев, С.П.Левашов, Х.В.Шенке, Н.Отт*
- 15:40–16:00 Формирование магматизма в спрединговых зонах Полярной Атлантики. *Н.М.Сущевская, А.В.Соболев, Б.В.Беляцкий.*
- 16:00–16:20 *Кофебрейк*
- 16:20–16:40 Комплексные исследования на дрейфующих станциях «Северный полюс» и дрейфующих базах в период МПГ 2007/08. *В.Т.Соколов.*
- 16:40–17:00 Распространение атлантических вод вдоль Евразийского континентального склона зафиксированное с помощью квазисинхронных измерений. *В.В.Иванов, И.М.Ашик, С.А.Кириллов, И.В.Поляков, Л.А.Тимохов*
- 17:00–17:20 О заимствовании Атлантикой халоклиновых вод вдоль Сибирской континентальной окраины. *И.А.Дмитренко, В.В.Иванов, С.А.Кириллов, Е.Л.Виноградова, Р.Э.Вудгейт, С.Торрес-Вальдес*

- 17:20–17:40 Мезомасштабные аномалии солёности поверхностных вод Северного Ледовитого океана (по материалам наблюдений СП и буев ИТР). *А.В. Попов, И.Д. Карелин, А.В. Рубчяня.*
- 17:40–18:00 Изменчивость *TS*-структуры поверхностного слоя в Северном Ледовитом океане в летний период 2007–2008 гг. *Е.А. Чернявская.*

22 апреля 2010 г.

Сопредседатели: И.М. Ашик, И.А. Дмитренко

- 9:00–9:20 Изучение термохалинной структуры и циркуляции вод на северо-восточной границе Баренцева моря (совместный российско-норвежский проект ВІАС). *А.Г. Трофимов, О.В. Титов, А.Л. Карсаков, Х. Лоонг, Р. Ингвальдсен, В. Льен.*
- 9:20–9:40 Гидрохимические исследования Арктического бассейна и арктических морей в рамках Международного полярного года 2007/08. *Е.П. Бондарева, О.А. Морозова, А.П. Недашковский.*
- 9:40–10:00 Гидрохимические исследования в Арктике во время экстремального потепления на НЭС «Академик Федоров» 2007–2008 гг. *В.В. Сапожников, И.А. Гангнус, О.Н. Лукьянова, В.Л. Зубаревич.*
- 10:00–10:20 Пространственно-временная изменчивость гидрохимического режима Обской губы. *И.А. Гангнус, О.Н. Лукьянова, Н.В. Аржанова.*
- 10:20–10:40 Особенности формирования и эволюции поверхностного опресненного слоя в Карском море. *А.Г. Зацепин, П.О. Завьялов, В.В. Кременецкий, С.Г. Поярков, Д.М. Соловьев.*
- 10:40–11:00 Моделирование климатической эволюции содержания пресных вод в Северном Ледовитом океане. *Н.А. Дианский, А.В. Багно, А.В. Гусев, С.Н. Мошонкин.*
- 11:00–11:20 *Кофебрейк*
- 11:20–11:40 Исследование влияния атмосферной динамики на циркуляцию льда и водных масс Северного Ледовитого океана на основе численного моделирования. *Е.Н. Голубева.*
- 11:40–12:00 Приповерхностные ветры в регионе северных морей и Баренцева моря в 2007–2008 гг. по спутниковым изображениям высокого разрешения: возможности модели океана. *Д. Духовской, М. Бурацца, П. Хьюз.*
- 12:00–12:20 Современные тенденции в изменении среднего уровня арктических морей. *И.М. Ашик, Е.Н. Дворкин.*
- 12:20–12:40 Новые сведения о приливах Восточно-Сибирского моря в пунктах бухта Амбарчик и порт Певек. *Г.Н. Войнов.*
- 12:40–13:00 Развитие берегов российской Арктики в связи с колебаниями уровня моря. *И.М. Ашик, А.С. Макаров, Д.Ю. Большаков.*

13:00–14:00 *Обед*

Сопредседатели: А.В. Клепиков, А.Г. Зацепин

- 14:00–14:20 Наблюдение океанских внутренних волн в Баренцевом море на основе спутниковых РЛ-данных. *И.Е. Козлов, В.Н. Кудрявцев, С. Сандвен.*
- 14:20–14:40 Наблюдения короткопериодных внутренних волн в Белом море. *А.В. Зимин.*
- 14:40–15:00 Заякоренный роботизированный профилограф для мониторинга арктических акваторий, охраны морской среды и научных морских исследований. *А.Г. Зацепин, А.Г. Островский, В.Н. Иванов, В.А. Соловьев, Г.К. Тимашкевич, Д.А. Швоев, А.Л. Цибульский.*
- 15:00–15:20 Результаты океанографических исследований Украины в Антарктике в рамках Международного полярного года 2007–2008 гг. *Ю.В. Артамонов, В.Н. Ващенко.*
- 15:20–15:40 Структура течений в проливе Дрейка по данным экспедиционных исследований 2003–2010 гг. *М.Н. Кошляков, Р.Ю. Тараканов.*
- 15:40–16:00 Изучение динамики термических фронтов Южного океана на основе натуральных прямых и дистанционных наблюдений. *В.В. Ионов, И.О. Шилов.*
- 16:00–16:20 *Кофебрейк*
- 16:20–16:40 Исследования мезомасштабной изменчивости термической структуры вод верхнего слоя океана по данным многочасовых зондирований в районах антарктических станций. *А.Ю. Артамонов, Ю.В. Артамонов.*
- 16:40–17:00 Морские гидрохимические исследования в Антарктике в период МПГ. *К.В. Батрак, Л.А. Духова, В.Л. Зубаревич, В.В. Масленников, Т.Б. Семочкина, Н.И. Торгунова.*

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Место проведения: Средний зал заседаний ААНИИ

Результаты океанографических исследований на дрейфующих станциях «Северный полюс» в период МПГ 2007/08. *В.Т.Соколов, А.Л.Гарманов, А.Ю.Ипатов, В.Ю.Карпий, С.Б.Кузьмин, Н.В.Лебедев, С.Б.Лесенков, В.Е.Соколова.*

Особенности пространственной структуры температуры поверхности океана в 2007–2009 гг. (по данным попутных измерений на НЭС «Академик Федоров»). *Ю.В.Артамонов, В.П.Буныкин, С.П.Кислицин, Е.А.Скрипалева.*

Распространение годовой волны температуры атлантической воды в Северном Ледовитом океане. *Н.Е.Иванов, В.В.Иванов.*

Ветро-волновые условия на акватории арктических морей России в период МПГ (2007/08). *В.И.Дымов, Т.А.Пасечник, В.В.Алексеев, Н.П.Яковлева.*

Моделирование изменчивости гидрофизических и химико-биологических полей в Северном Ледовитом океане. *И.А.Неелов, О.П.Савчук, А.В.Клепиков.*

К вопросу изучения потока осадочного вещества в заливе Грен-фьорд. *Г.А.Тарасов, О.В.Кокин.*

Исследование пространственной изменчивости основных фронтальных зон Южного океана на разрезе Кейптаун – ст. Молодежная. *Д.О.Доронин, В.В.Ионов, А.К.Павлов.*

Гидрохимические показатели вентиляции глубинных вод котловины Нансена. *А.П.Недашковский, Н.И.Савельева, Е.П.Бондарева.*

Распределение взвеси над некоторыми подводными возвышенностями Восточно-Сибирского шельфа. *А.Н.Чаркин, О.В.Дударев, И.П.Семилетов.*

Пространственная и временная изменчивость летних тихоокеанских вод в Арктическом бассейне СЛО. *М.С.Махотин, Л.А.Тимохов.*

Гидрохимические исследования в море Лаптевых летом 2007–2008 гг. *А.Е.Новихин, Е.В.Блошкина, Ф.М.Мартынов, О.А.Морозова.*

Расчет турбулентных характеристик под дрейфующим льдом на основе измеренных профилей течений и k - L модели турбулентности. *Е.В.Блошкина, Л.А.Тимохов.*

Секция «ПОЛЯРНЫЕ ОКЕАНЫ И КЛИМАТ, ПОСЛЕДСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЛЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

Место проведения: Большой зал заседаний ААНИИ

23 апреля 2010 г.

Сопредседатели: А.А.Кораблев, О.М.Покровский

- 9:00–9:20 Изменения климата в морской Арктике в начале XXI столетия. *Г.В.Алексеев, Н.Е.Иванов, А.В.Пнюшков, А.В.Балакин.*
- 9:20–9:40 Проявление космико-гелиогеофизических факторов в климатической изменчивости полярных регионов планеты. *В.А.Белязо, А.А.Дмитриев.*
- 9:40–10:00 Флуктуации циркуляции атмосферы в Арктике в 1899–2008 гг. *Н.К.Кононова.*
- 10:00–10:20 Циркуляция атмосферы в северной Пасифике. *А.М.Полякова.*
- 10:20–10:40 Влияние Атлантического мультидекадного колебания на климатические ряды глобальных температур воздуха и площадей ледового покрова в российских арктических шельфовых морях за 100–150 лет. *О.М.Покровский.*
- 10:40–11:00 Взаимосвязи между колебаниями климата в Арктике и Тихом океане. *В.И.Пономарев, Е.В.Дмитриева, В.А.Петрова, С.П.Шкорба.*
- 11:00–11:20 *Кофебрейк*
- 11:20–11:40 Климатология для северных морей основанная на нестационарных подходах: методология и результаты. *А.А.Кораблев, А.В.Смирнов*
- 11:40–12:00 Климатические последствия распространения аномалии солёности поверхностных вод в Северной Атлантике. *А.В.Попов, А.В.Рубчяня.*
- 12:00–12:20 Оценка роли прилива в формировании климата вод и морского льда Северного Ледовитого океана. *Н.Г.Яковлев.*
- 12:20–12:40 Современное состояние климатической системы Баренцева моря. *В.Д.Бойцов.*
- 12:40–13:00 Фьорд Русская Гавань, северо-восточная часть Баренцева моря: уникальные морские архивы климатических изменений в течение малого ледникового периода и недавнего потепления. *Е.В.Иванова, И.О.Мурдмаа*

13:00–14:00 *Обед*

Сопредседатели: *Г.В.Алексеев, Н.К.Кононова*

- 14:00–14:20 Температурный режим и его изменения на акватории юго-востока Баренцева моря. *И.В.Грищенко.*
- 14:20–14:40 Влияние изменений ледового покрова Южного океана на накопление снега в Антарктиде: модельные эксперименты и статистический анализ. *А.Н.Кренке, М.Д.Ананичева, Д.В.Турков.*
- 14:40–15:00 Связь гляциологических процессов в Антарктиде с глобальной циркуляцией атмосферы. *Н.К.Кононова, В.Г.Захаров.*
- 15:00–15:40 Разработка и применение геоинформационных технологий для изучения влияния изменений климата на экосистему Белого моря. *С.В.Бердников, А.Е.Цыганкова.*
- 15:40–16:00 Развитие технологий оценки и прогнозирования интрузии морских вод в устьевые области рек Арктики в условиях регулирования стока и климатических изменений. *В.В.Иванов, М.В.Третьяков.*
- 16:00–16:20 Влияние изменения климата на молодь гидробионтов в северо-западной части Японского моря. *Л.А.Гайко.*

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Место проведения: Средний зал заседаний ААНИИ

Изменчивость характеристик климата и припайного льда в районе гидрометеорологической обсерватории Тикси. *Н.Е.Иванов, А.П.Макишас, С.В.Шутилин, И.И.Большакова, О.В.Жукова, Р.М.Гун.*

Распределение CDOM в Восточно-Сибирском море. *С.П.Пугач, И.И.Пинко, И.П.Семилетов.*

Климатическая изменчивость полей ветра, температуры поверхности океана и сплоченности морских льдов в антарктическом регионе по данным контактных и спутниковых измерений. *Ю.В.Артамонов, М.В.Бабий, Ант.Е.Букатов, Е.А.Скрипалева.*

Методология оценки гидрологических последствий изменения климата для устьевых участков рек Арктического региона России. *В.В.Коваленко, Е.В.Гайдукова, Н.В.Викторова, В.А.Хаустов, М.Н.Громова, В.С.Девятков, Е.В.Шевнина.*

Секция «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА»

Место проведения: Малый зал заседаний ААНИИ

22 апреля 2010 г.

Сопредседатели: *А.П.Макишас, И.А.Репина*

- 10:00–10:20 Оценка развития и перестроек крупномасштабных атмосферных процессов и характер их проявления в полярном районе Арктики. *В.В.Иванов, Л.Ю.Рыжиков, А.Я.Коржиков, В.К.Куражов.*
- 10:20–10:40 Влияние региональных атмосферных процессов на циркуляцию вод Берингова моря. *Г.А.Власова, А.М.Полякова.*
- 10:40–11:00 Особенности штормовой активности в Северной Атлантике в 2007–2008 гг. *Н.А.Вязилова.*
- 11:00–11:20 *Кофебрейк*
- 11:20–11:40 Метеорологические исследования на дрейфующих станциях «Северный полюс-35» и «Северный полюс-36». *А.П.Макишас, С.В.Шутилин, В.Т.Соколов, Н.С.Зиновьев, В.Ю.Кустов.*
- 11:40–12:00 Взаимосвязь между характеристиками перемешанного слоя и потоками тепла на границе раздела океан–атмосфера в Северо-Европейском бассейне. *А.В.Смирнов, А.А.Кораблев.*
- 12:00–12:20 Сезонная изменчивость свердруповского переноса в Северной Атлантике. *Е.И.Климчук.*
- 12:20–12:40 Волны Россби на полярной плоскости и влияние батиметрии на геострофическую адаптацию в модели Северного Ледовитого океана. *М.В.Лунева, Э.Уилмотт, М.А.Македа*
- 12:40–13:00 Экспериментальные исследования взаимодействия атмосферы и океана в морях Восточной Арктики. *И.А.Репина, А.С.Смирнов, Д.Г.Чечин.*

13:00–14:00 *Обед*

Сопредседатели: А.И.Решетников, Б.В.Иванов

- 14:00–14:20 Исследования радиационной и термической структуры торосов в высокоширотной области арктического бассейна. *С.П.Поляков, О.М.Андреев, А.М.Безгрешнов, Б.В.Иванов.*
- 14:20–14:40 Оценка использования спутниковой дрейфтерной технологии в изучении взаимодействия океана и атмосферы, пути ее дальнейшего совершенствования. *Н.Н.Жильцов.*
- 14:40–15:00 Исследования концентрации парниковых газов в СЛО в период МПГ (2007–2008 гг.). *А.И.Решетников, Н.Н.Парамонова, В.М.Ивахов.*
- 15:00–15:20 Поступление метана из океана в атмосферу. *К.Люан, А.Обжиров*
- 15:20–15:40 Изменения гидрологических условий в районе Антарктического полуострова в режиме регионального потепления. *В.Е.Лагун, Н.Е.Иванов, А.И.Коротков, А.В.Клепиков, С.В.Яговкина.*
- 15:40–16:00 Широтное распределение аэрозоля и гидрометеорологических параметров на трансатлантическом галсе по данным попутных измерений на НЭС «Академик Федоров» в ноябре 2009 г. *В.В.Полькин, Ю.В.Артамонов, В.П.Бунякин, С.П.Кислицин.*

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Место проведения: Средний зал заседаний АНИИ

Современное состояние актинометрических измерений на станциях «Северный полюс». Результаты измерений длинноволновых и коротковолновых составляющих радиационного баланса (СРБ) с использованием конструктивно интегрированного балансомера CNR 1 KIPP&ZONEN. Автоматизированные рабочие места (АРМ) для обработки актинометрической информации (MAWS v110 и SONE 7v02). *А.А.Речнов, А.А.Мишин, Е.Е.Сибир.*

Исследования мезомасштабной изменчивости потоков тепла и гидрометеорологических условий на ст. Беллингаузен в летний сезон 2008–2009 гг. *А.Ю.Артамонов.*

Особенности радиационного энергообмена в Арктике по данным Российских научно-исследовательских дрейфующих станций «Северный полюс-35, 36». *В.Ю.Кустов, Н.С.Зиновьев, А.П.Макшас, С.В.Шутилин.*

Комплексные исследования пограничного слоя атмосферы на дрейфующей станции «Северный полюс-36» (апрель 2009 г.). *Н.С.Зиновьев, В.Ю.Кустов, А.П.Макшас, С.В.Шутилин, К.Дэтлофф, А.Ринке, М.Милке.*

Радиационные характеристики, CDOM и взвеси в российских шельфовых морях. *Р.Власенков, А.П.Макшас, А.Смирнов.*

Общий неорганический углерод в однолетнем морском льду высокоширотной Арктики и оценка роли арктического льда в обмене CO₂. *А.П.Недашковский, А.П.Макшас.*

Секция «МОРСКОЙ ЛЕД»

Место проведения: Средний зал заседаний АНИИ

23 апреля 2010 г.

Сопредседатели: Е.У.Миронов, В.Г.Смирнов

- 9:00–9:20 Развитие ледовых условий в Арктическом бассейне и морях сибирского шельфа в период Международного полярного года. *И.Е.Фролов, З.М.Гудкович, В.П.Карклин, В.М.Смоляницкий, А.В.Юлин.*
- 9:20–9:40 Толщина льда и ее изменчивость в Арктическом бассейне в период МПГ 2007/08 по данным судового цифрового телевизионного комплекса. *С.Фролов, В.Третьяков, А.Клейн, Е.Гришин, Т.Алексеева, С.Пряхин.*
- 9:40–10:00 Анализ данных о толщине снега и морского льда в Арктике по материалам экспедиций «Север». *В.Ю.Александров, С.Сандвен, Й.Валин, О.М.Йоханнессен, Л.П.Бобылев.*
- 10:00–10:20 Формирование ледовых условий в море Лаптевых в период Международного полярного года. *А.Б.Тимофеева.*
- 10:20–10:40 Исследование торосов и стамух в Карском море и Арктическом бассейне в период Международного полярного года. *Е.У.Миронов, В.С.Порубаев, В.В.Харитонов.*
- 10:40–11:00 Исследования ледового режима в заливе Грен-фьорд, архипелаг Шпицберген (многолетний режим, экспериментальные данные, модельные расчеты). *Б.В.Иванов, О.М.Андреев, А.П.Павлов, П.Н.Священников, Д.М.Журавский.*
- 11:00–11:20 *Кофебрейк*

- 11:20–11:40 Динамические процессы в морских льдах (по результатам инструментальных наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс»). *В.Н.Смирнов, С.М.Ковалев, Л.В.Панов, И.Б.Шейкин.*
- 11:40–12:00 Технология мониторинга состояния ледяного поля дрейфующей станции «Северный полюс». *Л.В.Панов, С.М.Ковалев, К.В.Соболевский, А.А.Ньюбом.*
- 12:00–12:20 GPS-оценки кинематики и динамики ледяного покрова Северного Ледовитого океана. *И.Б.Шейкин, В.Н.Смирнов.*
- 12:20–12:40 Действующие и перспективные российские спутниковые системы и их использование для оперативного мониторинга ледяного покрова полярных областей Земли и изучения климатических изменений. *В.В.Асмус, В.А.Кровотынцев, О.Е.Милехин, И.С.Тренина.*
- 12:40–13:00 Современное состояние ледяного покрова Арктики согласно спутниковым наблюдениям. *Е.В.Шалина, Л.П.Бобылев, С.Сандвен.*
- 13:00–14:00 *Обед*
- Сопредседатели: А.В.Юлин, В.М.Смоляницкий**
- 14:00–14:20 Сравнение данных наблюдений и результатов моделирования морского льда в Арктике. *Л.П.Боблев, С.И.Кузьмина, О.М.Йоханнессен.*
- 14:20–14:40 Использование и верификация метода нейронных сетей для классификации спутниковых изображений ледяного покрова Северного Ледовитого океана. *Н.Ю.Захваткина, В.Ю.Александров, В.Г.Смирнов.*
- 14:40–15:00 Методика слежения за ледяными образованиями с использованием данных дистанционного зондирования и динамико-термодинамической модели. *В.Г.Смирнов, И.А.Бычкова, В.С., З.М.Гудкович, С.В.Клячкин, В.С.Лоцилов, В.В.Степанов.*
- 15:00–15:20 Методика долгосрочного прогноза ледовых условий на Белом море и юго-востоке Баренцева моря. *И.О.Думанская, А.М.Котилевская.*
- 15:20–15:40 Изменчивость и сопряженность ледовых условий в системе морей восточной Арктики (Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское). *В.В.Плотников.*
- 15:40–16:00 Сверхдолгосрочный прогноз месячной ледовитости Берингова моря. *А.М.Полякова.*
- 16:00–16:20 *Кофебрейк*
- 16:20–16:40 Типизация элементов ледяного покрова Охотского моря. *А.Г.Петров, Е.И.Тринько.*
- 16:40–17:00 Дальние связи аномалий ледовитости Японского моря. *С.П.Шкорба.*

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Место проведения: Средний зал заседаний ААНИИ

Изменчивость характеристик ледяного покрова на дрейфующих станциях «Северный полюс» в период МПГ 2007/08 (по материалам полигонных наблюдений). *В.Т.Соколов, Т.В.Петровский, Н.М.Кузнецов, А.В.Юлин, А.Э.Клейн.*

Результаты использования беспилотного летательного аппарата «Элерон-23» на дрейфующих станциях «Северный полюс». *А.Э.Клейн, А.Л.Румянцев, В.М.Смоляницкий, В.Т.Соколов.*

Формирование и эволюция припайного льда в проливе Амундсена. *П.В.Богородский, А.В.Пнюшков, С.В.Шутилин.*

Использование спутниковой информации для поиска ледяных образований, пригодных для длительного пребывания на них людей. *В.И.Бессонов.*

Ледовое обеспечение транспортных операций в Белом, на юго-востоке Баренцева и в Карском морях. *А.М.Котилевская, И.О.Думанская.*

Средние размеры антарктических айсбергов по данным о географическом распределении и морфометрическим характеристикам айсбергов разных форм. *Ю.А.Романов, Н.А.Романова.*

Параметрический анализ состояний ледяного покрова Берингова моря. *Н.М.Вакульская.*

Секция «МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ»

Место проведения: Средний зал заседаний ААНИИ

21 апреля 2010 г.

Сопредседатели: М.В.Гаврило, И.А.Немировская

14:00–14:20 Организация Центра сбора биологических данных в рамках проекта МПГ. *И.С.Смирнов, Е.П.Воронина, А.В.Неелов, А.Л.Лобанов.*

- 14:20–14:40 Состояние и возможности развития экосистемного мониторинга морей Западной Арктики. *С.Л.Дженюк.*
- 14:40–15:00 Гнездовой ареал белой чайки *Pagophila eburnea* в России и морские ледовые условия *В.М.Гаверило, В.М.Смоляницкий.*
- 15:00–15:20 Современные представления о структуре планктонных экосистем Арктического бассейна. *К.Н.Кособокова, Х.-Ю.Хирхе, Р.Р.Хопкрофт.*
- 15:20–15:40 Органическое вещество и скорости его трансформации в морских и ледовых экосистемах высоких широт Арктики. *А.И.Агатова, Н.М.Лапина, Н.И.Торгунова.*
- 15:40–16:00 Органические соединения в снежно-ледяном покрове в Арктике и Антарктике. *И.А.Немировская, Н.Г.Чернявский, В.А.Артемов.*
- 16:00–16:20 *Кофебрейк*
- 16:20–16:40 Состав осадочного вещества в снежно-ледовом покрове в околополюсном районе Арктики в апреле 2008 г. *А.Н.Новигатский, В.П.Шевченко, И.А.Мельников.*
- 16:40–17:00 Эоловый и ледовый перенос вещества в Арктике. *Н.В.Горюнова, В.П.Шевченко.*
- 17:00–17:20 Характерные черты распространения загрязняющих веществ в российских арктических морях. *Г.В.Ильин.*
- 17:20–17:40 Загрязнение арктических морей нефтяными углеводородами. *И.А.Немировская.*
- 17:40–18:00 Моделирование внутриводного распространения нефтяных загрязнений. *В.В.Становой, И.А.Неелов, М.Ю.Кулаков.*
- 18:00–18:20 Гетеротрофный бактериопланктон прибрежных экосистем Баренцева моря. *Т.И.Широколобова, М.П.Венгер.*

22 апреля 2010 г.

Сопредседатели: Н.Н.Филатов, А.С.Аверкиев

- 9:00–9:20 Исследования бентоса в районе архипелага Земля Франца-Иосифа в 2006–2008 гг. *Е.А.Фролова, О.С.Любина, О.Ю.Ахметчина, Е.А.Гарбуль, Д.Р.Дикаева, О.Л.Зимица, О.И.Нехаев, Н.Н.Пантелеева, А.А.Фролов.*
- 9:20–9:40 Особенности пространственного распределения нанофитопланктона в районе архипелага Земля Франца-Иосифа летом 2007 г. *Е.И.Дружкова.*
- 9:40–10:00 Адаптация водорослей-макрофитов к условиям Арктики. *Г.М.Воскобойников.*
- 10:00–10:20 Диагностика гидрофизических структур и промысловых объектов в Баренцевом море по спутниковым данным. *А.С.Аверкиев, Д.В.Густоев, И.П.Карпова.*
- 10:20–10:40 Особенности условий среды и формирование структуры планктонных и нектонных сообществ в северной части Баренцева моря в 2006–2008 гг. *В.Д.Бойцов, Э.Л.Орлова, А.В.Долгов.*
- 10:40–11:00 Влияние климатических изменений на распределение полихет вдоль разреза Кольский меридиан (Баренцево море). *Д.Р.Дикаева.*
- 11:00–11:20 *Кофебрейк*
- 11:20–11:40 Изменения экосистемы Белого моря и водосбора. *Н.Н.Филатов, И.А.Неелов, О.П.Савчук.*
- 11:40–12:00 Модельные расчеты водо- и массообмена через Горло Белого моря. *А.В.Толстиков, И.А.Неелов.*
- 12:00–12:20 Сезонная изменчивость биогенных элементов в Двинском заливе Белого моря. *Е.Виноградова, Е.Якушев.*
- 12:20–12:40 Особенности распределения и накопления ртути в компонентах биогеохимического цикла барьерной зоны р. Северная Двина – Белое море. *А.Э.Овсеян.*
- 12:40–13:00 О ювенильных признаках у взрослых морских пауков в холодных и опресненных водах Карского моря (по материалам 54-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в сентябре 2007 г.). *А.К.Райский.*
- 13:00–14:00 *Обед*

Сопредседатели: Б.И.Сиренко, Н.В.Чернова

- 14:00–14:20 Состояние экосистемы залива Булункан в море Лаптевых по гидробиологическим показателям. *А.Ю.Луков, А.А.Борзенков, А.А.Петрученко, С.А.Луков.*

- 14:20–14:40 Трансформация компонентного состава водной среды устьевой области р. Колыма. *М.Ю.Кондакова.*
- 14:40–15:00 Новые данные о рыбах Чукотского моря. *Н.В.Чернова.*
- 15:00–15:20 Некоторые экологические процессы в восточных субарктических морях Беринга и Чукотском. *В.Б.Дарнитский, М.А.Ищенко.*
- 15:20–15:40 Многолетняя и сезонная изменчивость некоторых компонентов морских прибрежных экосистем в районе УАС «Академик Вернадский». *С.М.Игнатьев.*
- 15:40–16:00 К вопросу о функционировании прибрежных Антарктических экосистем *Э.З.Самышев.*
- 16:00–16:20 *Кофебрейк*
- 16:20–16:40 Оценка состояния популяций антарктической сальпы на основании определения пространственной вариабельности их энергетического метаболизма. *Н.И.Минкина.*
- 16:40–17:00 Биоресурсы зообентоса в Чукотском море. *С.Г.Денисенко, Б.И.Сиренко, В.В.Петряшев.*
- 17:00–17:20 1998–2007: многолетний тренд обилия бактериопланктона в прибрежье Аргентинских островов, Антарктика. *С.А.Серегин.*
- 17:20–17:40 Прошлое, настоящее и будущее исследований ихтиопланктона Антарктики. *О.С.Воскобойникова.*
- 17:40–18:00 Современное состояние донных биоценозов залива Прюдс. *Б.И.Сиренко, С.Ю.Гагаев, В.Л.Джуруинский, Ф.В.Кобеков, В.В.Потин.*
- 18:00–18:20 Трансформация компонентного состава устьевой области р. Енисей. *О.С.Решетняк.*

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Место проведения: Средний зал заседаний ААНИИ

Морское биоразнообразие и ледовые биотопы: материалы для природоохранного Атласа морей Российской Арктики. *М.В.Гаврило, В.А.Спиридонов, А.В.Попов.*

Эвазия CO₂ на шельфе Восточно-Сибирского моря. *И.И.Пипко, С.П.Пугач, И.П.Семилетов, Л.Андерсон.*

Сифонофоры в заливе Адмиралтейства (Антарктида) – некоторые аспекты биологии и экологии. *А.Панасюк-Ходника, М.И.Змиевска*

Современное состояние устьевых областей рек бассейна моря Лаптевых. *А.М.Никаноров, О.С.Решетняк, М.Ю.Кондакова.*

Современная морфоскульптура некоторых подводных возвышенностей на Восточно-Сибирском шельфе. *О.В.Дударев, А.Н.Чаркин, И.П.Семилетов.*

Изменчивость абиотических экологических факторов в Обско-Енисейском устьевом регионе. *И.М.Иванова.*

23 апреля 2010 г. 17.00

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Место проведения: Большой зал заседаний ААНИИ

Сопредседатели: И.М.Ашик, И.Н.Сократова

- 17:00 Заключительное слово сопредседателей секций
 Подведение итогов конкурса молодых специалистов, награждение

**PROGRAM OF INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
«MARINE RESEARCHES OF THE POLAR REGIONS OF EARTH DURING
INTERNATIONAL POLAR YEAR 2007/08»**

April 21, 2010

PLENARY SESSION

Main hall of AARI

Co-charirmen I.E.Frolov, A.I.Danilov

- 9:00–9:30 Registration
- 9:30–9:40 Welcome address by acting director of AARI *I.Ye.Frolov*
Welcome address from Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring and Ministry for Education and Science
- 9:40–10:10 Russian marine studies performed by AARI during the IPY 2007/08. *I.Ye.Frolov, V.T.Sokolov, I.M.Ashik*
- 10:10–10:40 Problems of tectonic zoning of the Arctic basin and interactions between oceanic and continental structures. *Yu.G.Leonov, member of Academy of Sciences*
- 10:40–11:10 Climatic changes of the marine ecosystems. *G.G.Matishov, member of Academy of Sciences.*
- 11:10–11:30 *Coffee-break*
- 11:30–12:00 Russian oceanographic studies in the Antarctic Ocean during the IPY 2007/08. *A.V.Klepikov, N.N.Antipov, A.I.Danilov*
- 12:00–12:30 Participation of Northern Territorial Administration for Hydrometeorological and Environmental Monitoring in the IPY 2007/08 activities. *L.Yu.Vasiliev*
- 12:30–13:00 Measures to improve the training course for specialists in hydrometeorology at the faculty of Oceanology at the Russian State University of Hydrometeorology. *L.N.Karlin, A.S.Averkiev*
- 13:00–14:00 *Lunch*

Lounge of the AARI congress hall

- 18:30 *Conference banquet*

POLAR OCEANOLOGY SESSION

Main Hall of AARI

April 21, 2010

Co-charirmen: L.A.Timokhov, S.A.Kirillov

- 14:00–14:20 Anomalous changes of thermohaline structure in the Arctic Ocean. *L.A.Timokhov, I.V.Polyakov, I.M.Ashik, H.Kassens, S.A.Kirillov, A.Yu.Proshutinsky, V.T.Sokolov, I.Ye.Frolov.*
- 14:20–14:40 Impact of climatic changes on the activities aimed at the Arctic shelf development. *A.I.Danilov, I.V.Buzin, Yu.P.Gudoshnikov*
- 14:40–15:00 Scientific results of 2007/08 year geological and geophysical research on the UNCLOS problem. *V.Kaminsky, V.Poselov, P.Rekant.*
- 15:00–15:20 Reconstruction of the environmental changes in the Eastern Arctic by data of marine geophysical researches. *G.L.Leychenkov, Yu.B.Guseva, V.V.Gandyukhin.*
- 15:20–15:40 The Drake Passage and the Skotia Sea – relict zone of the palaeo-land Southern Patagonia. *G.B.Udintsev, N.A. Kurentsova, V.G.Bakhmutov, V.D.Soloviev, S.P.Levashov, H.W.Schenke, N.Ott.*
- 15:40–16:00 Origins of magnetism within spreading zones of the Polar Atlantic. *N.M.Sushchevskaya, A.V.Sobolev, B.V.Belyatsky.*
- 16:00–16:20 *Coffee-break*
- 16:20–16:40 Comprehensive studies performed at «North Pole» drifting stations and drifting complexes during the IPY 2007/08. *V.T.Sokolov*
- 16:40–17:00 Propagation of Atlantic Water along the Eurasian continental slope captured by quasi-synchronous measurements. *V.V.Ivanov, I.M.Ashik, S.A.Kirillov, I.V.Polyakov, L.A.Timokhov.*
- 17:00–17:20 The Atlantic derived halocline waters over the Siberian continental margin. *I.A.Dmitrenko, V.V.Ivanov, S.A.Kirillov, E.L.Vinogradova, R.A.Woodgate, S.Torres-Valdes*

- 17:20–17:40 Mesoscale anomalies of the surface waters salinity in the Arctic Ocean (by observation data of «North Pole» drifting stations and ITP buoys). *A.V.Popov, I.D.Karelin, A.V.Rubchenya.*
- 17:40–18:00 Variability of the TS-structure of the surface layer in the Arctic Ocean in summer period in 2007–2008. *E.A.Chernyavskaya.*

April 22, 2010

Co-charirmen: I.M.Ashik, I.A.Dmitrenko

- 9:00–9:20 Study of the thermohaline structure and circulation of water masses near the northeastern boundary of the Barents Sea (joint Russian-Norwegian Project BIAC). *A.G.Trofimov, O.V.Titov, A.L.Karsakov, H.Loeng, R.Ingvaldsen, V.Lien*
- 9:20–9:40 Hydrochemical studies in the Arctic basin and the Arctic seas in the scope of IPY 2007/08 program. *E.P.Bondareva, O.A.Morozova, A.P.Nedashkovsky.*
- 9:40–10:00 Hydrochemical studies in the Arctic during the extraordinary warming on board the RV «Akademik Fyodorov» in 2007–2008. *V.V.Sapozhnikov, I.A.Gangnus, O.N.Lukyanova, V.L.Zubarevich*
- 10:00–10:20 Spatial-temporal variability of the hydrochemical regime of the Ob' Bay. *I.A.Gangnus, O.N.Lukyanova, N.V.Arzhanova*
- 10:20–10:40 Features of formation and evolution of the surface desalinated layer in the Kara Sea. *A.G.Zacepin, P.O.Zaviyalov, V.V.Kremenetsky, S.G.Poyarkov, D.M.Soloviyov*
- 10:40–11:00 Model simulation of the fresh water content climatic evolution in the Arctic Ocean. *N.A.Diansky, A.V. Bagno, A.V.Gusev, S.N.Moshonkin*
- 11:00–11:20 *Coffee-break*
- 11:20–11:40 Study of the atmosphere dynamics influence on the ice and water masses circulation in the Arctic Ocean on the basis of numeric simulation *E.N.Golubeva*
- 11:40–12:00 High-resolution satellite-derived ocean surface winds in the Nordic-Barents seas region in 2007–2008: Implications for ocean modeling *D.Dukhovskoy, M.Bourassa, P.Hughes*
- 12:00–12:20 Contemporary trends of change of the average level of the Arctic seas. *I.M.Ashik, Ye.N.Dvorkin*
- 12:20–12:40 New facts on tidal regime of the East-Siberian Sea in the Abramchik Bay and port Pevek. *G.N.Voinov*
- 12:40–13:00 Evolution of coasts of the Russian Arctic induced by the sea level oscillations. *I.M.Ashik, A.S.Makarov, D.Yu.Bolshiyarov*
- 13:00–14:00 *Lunch*

Co-charirmen: A.V.Klepikov, A.G.Zatsepin

- 14:00–14:20 Observations of the internal waves of the ocean origin in the Barent Sea based on the radiolocation satellite data. *I.Ye.Kozlov, V.N.Kudryavtsev, S.Sandsven.*
- 14:20–14:40 Observations of the short-period internal waves in the White Sea. *A.V.Zimin*
- 14:40–15:00 Anchored robot-based surface analyzer for monitoring of the arctic areas, protection of the sea environment and scientific marine researches. *A.G.Zatsepin. A.G.Ostrovsky, V.N.Ivanov, V.A.Soloviev, G.K.Timashkevich, D.A.Shvoev, A.L.Tsibulsky*
- 15:00–15:20 Results of the Ukrainian oceanographic researches in the Antarctic in the scope of the IPY 2007/08. *Yu.V.Artamonov, V.N.Vashchenko*
- 15:20–15:40 Structure of currents in the Drake Passage by data of expedition studies performed in 2003–2010. *M.N.Koshlyakov, R.Yu.Tarakanov*
- 15:40–16:00 Study of dynamics of the thermal fronts in the Southern Ocean on the basis of direct and remote field observations. *V.V.Ionov, I.O.Shilov*
- 16:00–16:20 *Coffee-break*
- 16:20–16:40 Studies of the mesoscale variability of the thermal structure of waters in the upper layer of the ocean by data of the many-hours-long sounding in the region of Arctic stations. *A.Yu. Artamonov, Yu.V.Artamonov*
- 16:40–17:00 Marine hydrochemical researches in the Arctic during the IPY period. *K.V.Batrak, L.A.Dukhova, V.L.Zubrevich, V.V.Maslennikov, T.B.Semochkina, N.I.Torgunova*

POSTER SESSION

Minor hall of AARI

Results of oceanographic studies at the «North Pole» drifting stations during IPY 2007/08. *V.T.Sokolov, A.L.Garmanov, A.Yu.Ipatov, V.Yu.Karpiy, S.B.Kuzmin, N.V.Lebedev, S.B.Lesenko, V.E.Sokolova.*

Features of the spatial structure of the ocean surface temperature in 2007–2009 (based on data of the en-route measurements on board the RV «Akademik Fyodorov»). *Yu.V.Artamonov, V.P.Bunyakin, S.P.Kislitsyn, E.A.Skripaleva*

Propagation of the annual wave of the Atlantic waters temperature in the Arctic Ocean. *N.Ye.Ivanov, V.V.Ivanov*

Wind and waves in the area of the Arctic seas of Russia during the IPY 2007/08. *V.I.Dymov, T.A.Pasechnik, V.V.Alexeev, N.P.Yakovleva.*

Simulation of the variability of the hydrophysical and chemical and biological fields in the Arctic Ocean. *I.A.Neelov, O.P.Savchuk, A.V.Klepikov*

On studying the flow of sediments in the Gronfjorden Bay. *G.A.Tarasov, O.V.Kokin*

Investigation into the spatial variability of the main frontal zones of the Southern Ocean along the section Capetown – station Molodyozhnaya. *D.O.Doronin, V.V.Ionov, A.K.Pavlov*

Hydrochemical indices of ventilation of deep waters of the Nansen Basin. *A.P.Nedashkovsky, N.I.Savelieva, E.P.Bondareva*

Distribution of suspension above the particular submarine rises of the East-Siberian Sea shelf. *A.N.Charkin, O.V.Dudarev, I.P.Semiletov*

Spatial and temporal variability of the summer Pacific waters in the Arctic Basin of the Arctic Ocean. *M.S.Makhotin, L.A.Timokhov.*

Hydrochemical studies in the Laptev Sea in summer 2007/08. *A.Ye.Novikhin, E.V.Bloshkina F.M.Martynov, O.A.Morozova.*

Calculation of turbulent parameters under the drifting ice on the base of studied profiles of currents and k-L turbulence model. *E.V.Bloshkina, L.A Timokhov.*

POLAR OCEANS AND CLIMATE, CONSEQUENCES OF CLIMATIC CHANGES INFLUENCING THE MARINE ACTIVITIES

Main Hall of AARI

April 23, 2010

Co-charirmen: A.A.Korablev, O.M.Pokrovsky

9:00–9:20 Climate changes in the marine Arctic in the beginning of the XXI century. *G.V.Alexeev, N.Ye.Ivanov, A.V.Pnyushkov, A.V.Balakin*

9:20–9:40 On space and heliogeophysical factors influencing the climatic changes of the polar regions of the planet. *V.A.Belyazo, A.A.Dmitriev.*

9:40–10:00 Fluctuation of the atmosphere circulation in the Arctic in 1899–2008. *N.K.Kononova.*

10:00–10:20 Atmosphere circulation in the Northern Pacific. *A.M.Polyakova*

10:20–10:40 Influence of the Atlantic multi-ten-day oscillation on the climatic variations of the air temperatures and areas of the ice cover in the seas of the Russian Arctic shelf during 100–150 years. *O.M.Pokrovsky*

10:40–11:00 Mutual correlation between the climate oscillations in the Arctic and the Pacific ocean. *V.I.Ponomarev, E.V.Dmitrieva, V.A.Petrova, S.P.Shkorba.*

11:00–11:20 *Coffee-break*

11:20–11:40 Climatology for the Nordic Seas based on non-stationary approach: methodology and results. *A.Korablev, A.Smirnov*

11:40–12:00 Climatic consequences of propagation of anomaly of the surface waters salinity in the North Atlantic. *A.V.Popov, A.V.Rubchenya.*

12:00–12:20 Assessment of the tide role in formation of the water and the sea ice climate in the Arctic Ocean. *N.G.Yakovlev.*

12:20–12:40 Contemporary state of the climatic system of the Barents Sea. *V.D.Boytsov.*

12:40–13:00 Russian Gavan' Fjord, NE Barents Sea: an unique marine archive of the climate change in the Arctic during the Little Ice Age and recent warming. *E.V.Ivanova, I.O.Murdmaa*

13:00–14:00 *Lunch*

Co-charirmen: G.V.Alexeev, N.K.Kononova

- 14:00–14:20 Temperature regime and its changes over the area of the southeastern Barents Sea. *I.V.Grishchenko*
- 14:20–14:40 Influence of the ice cover changes of the Southern Ocean on the snow accretion in the Antarctic: model simulations and statistical analysis. *A.N.Krenke, M.D.Ananicheva, D.V.Turkov.*
- 14:40–15:00 Correlation between glaciological processes in the Antarctic with global circulation of the atmosphere. *N.K.Kononova, V.G.Zakharov*
- 15:00–15:40 Development and application of the geoinformation technologies for studying the influence of climatic changes on the White Sea ecosystem. *S.V.Berdnikov, A.Ye.Tsugankova*
- 15:40–16:00 Development of technologies for assessing and forecasting of the sea waters intrusion into the mouth regions of the Arctic rivers under condition of regulated discharge and climatic changes. *V.V.Ivanov, M.V.Trejjakov.*
- 16:00–16:20 Influence of climate on the juvenile biological forms in the northwestern part of the Sea of Japan. *L.A.Gayko*

POSTER SESSION

Minor hall of AARI

Variability of characteristics of the climate and the fast ice in the region of hydrometeorological observatory of Tiksi. *N.Ye.Ivanov, A.P.Makshtas, S.V.Shutilin, I.I.Bolshakova, O.V.Zhukova, R.M.Gun*

CDOM propagation in the East-Siberian Sea. *S.P.Pugach I.I.Pipko, I.P.Semiletov.*

Climatic variability of wind fields, ocean surface temperature and sea ice concentration in the Antarctic region from data of direct and satellite measurements. *Yu.V.Artamonov M.V.Babiy, A.Ye.Bukatov, E.A.Skripaleva*

Methodology of assessment of the hydrological consequences of the climate changes for mouth regions of rivers in the Arctic regions of Russia. *V.V.Kovalenko, E.V.Gaidukova, N.V.Viktorova, V.A.Khaustov, M.N.Gromova, V.S.Devyotov, E.V.Shevnina*

ATMOSPHERE–OCEAN INTERACTION

Minor hall of AARI

April 22, 2010

Co-charirmen: A.P.Makshtas, I.A.Repina

- 10:00–10:20 Assessment of development and reorganization of the large-scale atmospheric processes; character of their manifestation in the polar region of the Arctic. *V.V.Ivanov, L.Yu.Ryzhakov, A.Ya.Korzhhikov, V.K.Kurazhkov*
- 10:20–10:40 Influence of the regional atmosphere processes on the circulation of the Bering Sea waters. *G.A.Vlasova, A.M.Polyakova*
- 10:40–11:00 Features of the storm activity in the North Atlantic in 2007/08. *N.A.Vyazilova*
- 11:00–11:20 *Coffee-break*
- 11:20–11:40 Meteorological studies at «North Pole-35» and «North Pole-36» drifting stations. *A.P.Makshtas, S.V.Shutilin, V.T.Sokolov, N.S.Zinoviev, V.Yu.Kustov*
- 11:40–12:00 Correlation between characteristics of the mixed layer and heat flows at the ocean–atmosphere interface in the North-European Basin. *A.V.Smirnov, A.A.Korablev*
- 12:00–12:20 Seasonal variability of the Sverdrup transport in the North Atlantic. *Ye.I.Klimchuk*
- 12:20–12:40 Rossby waves on a polar plane and the effects of bathymetry on the geostrophic adjustment in an Arctic Ocean model. *M.V.Luneva, A.Willmott, M.A.Maqueda*
- 12:40–13:00 Experimental studies of the interaction between atmosphere and ocean in the seas of the Eastern Arctic. *I.A.Repina, A.S.Smirnov, D.G.Chechin.*
- 13:00–14:00 *Lunch*

Co-charirmen: A.I.Reshetnikov, B.V.Ivanov

- 14:00–14:20 Study of the radiation and thermal structures of ridges in the high-latitude region of the Arctic basin. *S.P.Polyakov, O.M.Andreev, A.M.Bezgreshnov B.V.Ivanov*

- 14:20–14:40 Assessment of usage of the satellite drift technology in study of the atmosphere–ocean interaction and ways to improve it. *N.N.Zhiltsov*.
- 14:40–15:00 Studies of the greenhouse gases in the Arctic Ocean during the IPY 2007/08. *A.I.Reshetnikov, N.N.Paramonova, V.M.Ivahov*.
- 15:00–15:20 Methane contribution from ocean to atmosphere. *Xiwu LUAN, A.Obzhirov*
- 15:20–15:40 Change of the hydrological conditions in the region of the Antarctic peninsula at regional warming. *V.Ye.Lagun., N.Ye.Ivanov, A.I.Korotkov, A.V.Klepikov, S.V.Yagovkina*.
- 15:40–16:00 Latitudinal distribution of aerosol and hydrometeorological parameters along the transatlantic traverse by data of the en-route measurements on board the RV «Akademik Fyodorov» in November 2009. *V.V.Polkin, Yu.V.Artamonov, V.P.Bunyakin, S.P.Kislitsyn*

POSTER SESSION

Minor hall of AARI

Contemporary state of the actinometric measurements at «North Pole» drifting stations. Results of measuring short-wave and long-wave components of radiation balance by means of integrated radiation balance gauge CNR 1 KIPP&ZONEN. Automated worksites for processing of the actinometrical information (MAWS v110 и SONE 7v02). *A.A.Rechnov, A.A.Mishin, E.E.Sibir*

Studies of the mesoscale variability of the heat flows and hydrometeorological conditions at the Bellingshausen station in summer in 2008–2009. *A.Yu.Artamonov*

Features of the radiation energy exchange in the Arctic by data of Russian scientific «North Pole-35» and «North Pole-36» drifting stations. *V.Yu.Kustov, N.S.Zinoviev, A.P.Makshtas, S.V.Shutilin*

Comprehensive studies of the interface layer of the atmosphere at «North Pole-36» drifting station (April 2009). *N.S.Zinoviev, V.Yu.Kustov, A.P.Makshtas, S.V.Shutilin, C.Detloff, A.Rinke, M.Milke*

Radiation characteristics, CDOM and suspensions in the shelf seas of Russia. *R.Vlasenkov., A.P.Makshtas, A.Smirnov*

Total inorganic carbon in the first-year sea ice in the high-latitude regions of the Arctic and assessment of the Arctic ice role in the CO₂ exchange. *A.S.Nedashkovsky, A.P.Makshtas*

SEA ICE

Minor hall of AARI

April 23, 2010

Co-charirmen: Ye.U.Mironov, V.G.Smirnov

- 9:00–9:20 Development of the ice conditions in the Arctic basin and the seas of the Siberian shelf during the IPY. *I.Ye.Frolov, Z.M.Gudkovch., V.P.Karklin, V.M.Smolyanitsky, A.V.Yulin*
- 9:20–9:40 Ice thickness and its variability in the Arctic basin during the IPY 2007/08 by data of the ship TV-complex. *S.V.Frolov, V.Yu.Tretiyakov, A.E.Klein, Ye.A.Grishin, T.A.Alexeeva, S.S.Pryakhin*
- 9:40–10:00 Analysis of sea ice and snow thickness data in the Arctic from «Sever» expeditions. *V.Yu.Alexandrov, S.Sandven, J.Wahlin, O.M.Johannessen, L.P.Bobylev*
- 10:00–10:20 Formation of ice conditions in the Laptev Sea during the IPY. *A.B.Timofeeva*
- 10:20–10:40 Study of ice ridges and stamukhas in the Kara sea and in the Arctic basin during the IPY. *Ye.U.Mironov, V.S.Porubaev, V.V.Kharitonov*
- 10:40–11:00 Study of the ice regime in the Gronfjorden Bay, Spitsbergen archipelago (multiyear regime, experimental data, model simulation). *B.V.Ivanov, O.M.Andreev, A.P.Pavlov, P.N.Svyashchennikov, D.M.Zhuravsky*
- 11:00–11:20 *Coffee-break*
- 11:20–11:40 Dynamic processes in the sea ice (from results of the instrumental measurements at «North Pole» drifting station). *V.N.Smirnov, S.M.Kovalev, L.V.Panov, I.B.Sheikin*
- 11:40–12:00 Technology of monitoring of condition of the ice floe on which «North Pole» drifting station is based on. *L.V.Panov, S.M.Kovalev, K.V.Sobolevsky, A.A.Nyubom*
- 12:00–12:20 GPS assessments of kinematics and dynamics of the Arctic Ocean cover. *I.B.Sheikin, V.N.Smirnov*
- 12:20–12:40 Operating and prospective Russian satellite systems and their usage for monitoring of the ice cover of the polar regions of the Earth and study of climatic changes. *V.V.Asmus, V.A.Krovotyntsev, O.Ye.Milekhin, I.S.Trenina*
- 12:40–13:00 Contemporary state of the ice cover in the Arctic according to satellite observations. *E.V.Shalina, L.P.Bobylev, S.Sandsven*

13:00–14:00 *Lunch*

Co-charirmen: A.V.Yulin, V.M.Smolyanitsky

14:00–14:20 Comparison of observational data and modelling results for the Arctic sea ice. *L.P.Bobylev, S.I.Kuzmina, O.M.Johannessen*

14:20–14:40 Usage and verification of the neural network method for classification of satellite images of the ice cover of the Arctic Ocean. *N.Yu.Zakhvatkina V.Yu.Alexandrov, V.G.Smirnov*

14:40–15:00 Method of tracking of the ice features by means of remote sounding data and dynamic-thermodynamical model. *V.G.Smirnov, I.A.Bychkova, Z.M.Gudkovich, S.V.Klychkin, V.S.Loshchilov, V.V.Stepanov*

15:00–15:20 Method of the long-term forecasting of the ice conditions in the White Sea and in the southeastern Barents Sea. *I.O.Dumanskaya, A.M.Kotilevskaya*

15:20–15:40 Variability and correlation between ice conditions in the system of seas in the eastern Arctic (Laptev Sea, East-Siberian Sea, Chukchee Sea). *V.V.Plotnikov*

15:40–16:00 Extra long-term forecast of ice concentration in the Bering sea. *A.M.Polyakova*

16:00–16:20 *Coffee-break*

16:20–16:40 Typical elements of the ice cover in the Sea of Okhotsk. *A.G.Petrov, Ye.I.Trinko*

16:40–17:00 Distant relationship of anomalies of the sea ice concentration in the Sea of Japan. *S.P.Shkorba*

POSTER SESSION

Minor hall of AARI

Variability of characteristics of the ice cover at «North Pole» drifting stations during the IPY 2007/08 (according to data of the field observations). *V.T.Sokolov, T.V.Petrovsky, N.M.Kuznetsov, A.V.Yulin, A.E.Klein*

Results of using the unmanned aircraft «Eleron-23» at «North Pole» drifting stations. *A.E.Klein, A.L.Rumyantsev, V.M.Smolyanitsky, V.T.Sokolov*

Formation and development of the fast ice in the Amundsen Strait. *P.V.Bogorodsky, A.V.Pnyushkov, S.V.Shutilin*

Usage of the satellite data for detecting ice formations suitable for people staying on them during the long period of time. *V.I.Bessonov*

Support of transportation operations in the White Sea, the southeastern Barents Sea and the Kara sea. *A.M.Kotilevskaya, I.O.Dumanskaya*

Average sizes of icebergs in the Antarctic according to data on the geographical propagation and morphometric characteristics of icebergs of different shapes. *Yu.A.Romanov, N.A.Romanova*

Parametric analysis of the ice cover state in the Bering Sea. *N.M.Vakulskeya*

MARINE ECOSYSTEMS, POLLUTION OF THE SEA ENVIRONMENT

Minor hall of AARI

April 21, 2010

Co-charirmen: M.V.Gavrilo, I.A.Nemirovskaya

14:00–14:20 Establishment of the Center for collecting biological data in the scope of the IPY project. *I.S.Smirnov, E.P.Voronina, A.V.Neelov, A.L.Lobanov*

14:20–14:40 State and possibilities of development of the ecosystem monitoring in the seas of the Western Arctic. *S.L.Dzhenyuk*

14:40–15:00 Breeding area of the ivory gull *Pagophila eburnea* in Russia and the sea ice conditions. *M.V.Gavrilo, V.M.Smolyanitsky*

15:00–15:20 Contemporary view on the structure of the plankton ecosystems of the Arctic basin. *K.N.Kosobokova, H.-Yu.Khirkhe, R.R.Khoproft*

15:20–15:40 Organic substrates and speed of its transformation in the marine and the ice ecosystems of the high latitudes of the Arctic. *A.I.Agatova, N.M.Lapina, N.I.Torgunova*

15:40–16:00 Organic substrates in the ice-snow cover of the Arctic and the Antarctic. *I.A.Nemirovskaya, N.G.Chernyavsky, V.A.Artemiev*

16:00–16:20 *Coffee-break*

16:20–16:40 Content of sediments of the snow-ice cover in the near-pole region in April 2008. *A.N.Novigatsky, V.P.Shevchenko, I.A.Melnikov*

- 16:40–17:00 Windborne and iceborne substrate transport in the Arctic. *N.V.Goryunova, V.P.Shevchenko*
- 17:00–17:20 Typical characteristics of distribution of the substrate polluting the Arctic seas of Russia. *G.V.Ilin*
- 17:20–17:40 Pollution of the Arctic seas caused by oil hydrocarbonates. *I.A.Nemirovskaya*
- 17:40–18:00 Simulation of the in-water propagation of the oil pollutions. *V.V.Stanovoy, I.A.Neelov, M.Yu.Kulakov*
- 18:00–18:20 Heterotrophous bacterial plankton of the coastal ecosystems of the Barents Sea. *T.I.Shirokolobova, M.P.Venger*

April 22, 2010

Co-charirmen: N.N.Filatov, A.S.Averkiev

- 9:00–9:20 Study of benthos in the region of the Franz Josef Land archipelago in 2006–2008. *E.A.Frolova, O.S.Lyubina, O.Yu.Akhmetchina, E.A.Garbul, D.R.Dikaeva, O.L.Zimina, O.I.Nekhaev, N.N.Panteleeva, A.A.Frolov*
- 9:20–9:40 Features of the spatial distribution of nano-phytoplankton in the region of the Franz Josef Land archipelago in summer 2007. *E.I.Druzhkova*
- 9:40–10:00 Adaptation of macrophyte weeds to the conditions of the Arctic. *G.M.Voskoboynkov*
- 10:00–10:20 Diagnostics of hydrophysical structures and field facilities in the Barents Sea according to satellite data. *A.S.Averkiev, D.V.Gustoev, I.P.Karpova*
- 10:20–10:40 Features of environment and formation of structure of the plankton and nonplankton communities in the northern part of the Barents Sea in 2006–2008. *V.D.Boitsov, E.L.Orlova, A.V.Dolgov*
- 10:40–11:00 Influence of the climatic changes on the distribution of polychaete along the Kola meridian traverse (the Barents Sea). *D.R.Dikaeva*
- 11:00–11:20 *Coffee-break*
- 11:20–11:40 Changes of the White Sea ecosystem and the water catchment. *N.N.Filatov, I.A.Neelov, O.P.Savchuk*
- 11:40–12:00 Model calculations of the water- and the mass-exchange via the narrow entrance to the White Sea. *A.V.Tostikov, I.A.Neelov*
- 12:00–12:20 Seasonal variability of nutrient in the Dvinskiy Bay, White Sea. *E.Vinogradova, E.Yakushev*
- 12:20–12:40 Features of distribution and accretion of mercury in the components of biogeochemical cycle of the boundary zone of the Severnaya Dvina River – the White Sea. *A.E.Ovsepyan*
- 12:40–13:00 On juvenile characteristics of amateur sea spiders in cold and desalinated waters of the Kara Sea (from data obtained through 54th voyage of the RV «Akademik Mstislav Keldysh» in September 2007). *A.K.Rayskiy*

13:00–14:00 *Lunch*

Co-charirmen: B.I.Sirenko, N.V.Chernova

- 14:00–14:20 State of ecosystem in the Bulukan Gulf in the Laptev Sea according to hydrobiochemical parameters. *A.Yu.Gukov, A.A.Borzenkov, A.A.Petruchenko, S.A.Gukov*
- 14:20–14:40 Transformation of the content of the water components in the mouth region of the Kolyma River. *M.Yu.Kondakova*
- 14:40–15:00 New data about fish species of the Chukchee Sea. *N.V.Chernova*
- 15:00–15:20 Some ecological processes in the meridian paired eastern Subarctic seas: Bering-Chukchi. *V.B.Darnitskiy, M.A.Ishchenko*
- 15:20–15:40 Multiyear and seasonal variability of particular components of the coastal ecosystems in the area of the Ukrainian Antarctic Station «Akademic Vernadsky». *S.M.Ignatiev*
- 15:40–16:00 On the issue of functioning of the coastal ecosystems in the Antarctic. *E.Z.Samyshev*
- 16:00–16:20 *Coffee-break*
- 16:20–16:40 Assessment of state of the Antarctic salps population according to spatial variability of their metabolism. *N.I.Minkina*
- 16:40–17:00 Biological sources of zoobenthos in the Chukchee Sea. *S.G.Denisenko, B.I.Sirenko, V.V.Petryashyov*

- 17:00–17:20 1998–2007: Multiyear trend of the bacterial plankton diversity in the coastal zone of the Argentine Islands in Antarctica. *S.A.Seregin*
- 17:20–17:40 The past, the present and the future of studies on ichthyoplankton in the Antarctic. *O.S.Voskoboinikova*
- 17:40–18:00 Contemporary state of the bottom biocenose in the Prydz Bay. *B.I.Sirenko, S.Yu.Gagaev, V.L.Dzhurinsky, F.V.Kobekov, V.V.Potin*
- 18:00–18:20 Transformation of the components content in the mouth region of the Yenisey River. *O.S.Reshetnyak*

POSTER SESSION

Medium hall of AARI

- Marine biological diversity and ice biotopes: materials for nature-protection Atlas of the Russian Arctic. *M.V.Gavrilo, V.A.Spiridonov, A.V.Popov*
- CO₂ evasion in the shelf area of the East-Siberian Sea. *I.I.Pipko, S.P.Pugach, I.P.Semiletov, L.Anderson*
- Siphonophores of the Admiralty Bay (Antarctica) – some aspects of biology and ecology. *A.Panasiuk-Chodnicka, M.I.Mijewska*
- Contemporary state of the mouth regions of rivers in the Laptev Sea basin. *A.M.Nikanorov, O.S.Reshetnyak, M.Yu.Kondakova*
- Contemporary morphology of some submarine rises in the East-Siberian Sea shelf. *O.V.Dudarev, A.N.Cahrkin, I.P.Semiletov*
- Variability of abiotical ecological characteristics in the Ob'-Yenisey mouth region. *I.M.Ivanova*

FINAL SESSION

Main hall of AARI

April 23, 2010 17.00

Co-charirmen: I.M.Ashik, I.N.Sokratova

- 17:00 Closing speech of sessions co-chairmen
Results of the competition among young specialists, awards

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

РОССИЙСКИЕ МОРСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ААНИИ В ПЕРИОД МПГ 2007/08

И.Е.ФРОЛОВ, В.Т.СОКОЛОВ, И.М.АШИК

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: svf@aari.ru

Комплексные экспедиционные исследования природной среды Арктического региона в период МПГ 2007/08 осуществлялись в морских, воздушных и островных экспедициях. Основной целью этих работ было получение максимально полного ансамбля данных и представлений о состоянии и динамике атмосферы, океана, ледяного покрова, биоты и загрязняющих веществ в наиболее труднодоступных и малоисследованных районах Арктики в период меняющегося климата, возобновления прерванного в российском секторе Арктики мониторинга морских акваторий высокоширотных районов Северного Ледовитого океана, оценки состояния здоровья коренного населения арктических районов и оценки влияния на него экологических и природных факторов, достижения понимания процессов трансформации арктической климатической системы в период ее наивысшей динамики. Основной приоритет в программе российских исследований был дан труднодоступным регионам российской Арктики, где в последние годы происходили наиболее заметные изменения, и где развитие природных комплекса процессов невозможно оценить только дистанционными методами. Для этих целей в период МПГ 2007/08 в рамках международных и национальных проектов и программ были выполнены обширные экспедиционные исследования (рис. 1 и 2).

Наиболее значимые российские национальные экспедиционные программы в северной полярной области были выполнены при ведущей роли Арктического и антарктического научно-исследовательского института Росгидромета (Санкт-Петербург). В период 2007–2008 гг. в рамках деятельности Высокоширотной Арктической экспедиции были организованы и работали в кру-

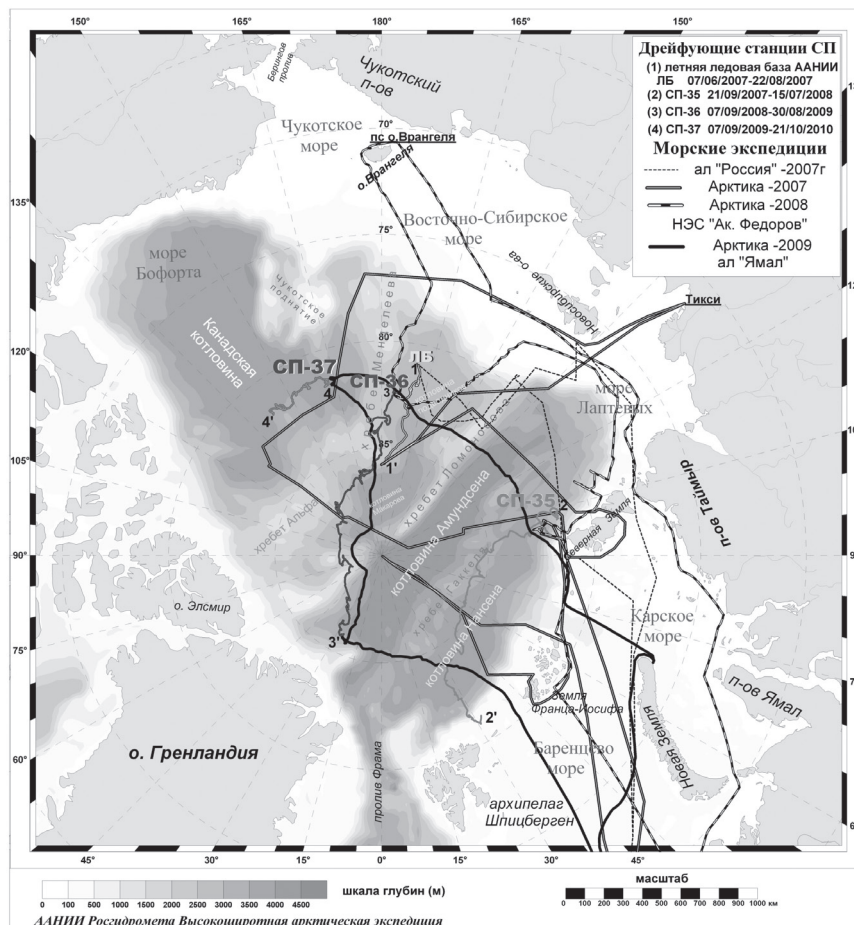


Рис. 1. Экспедиционная активность ААНИИ в высокоширотной Арктике в период МПГ 2007/08

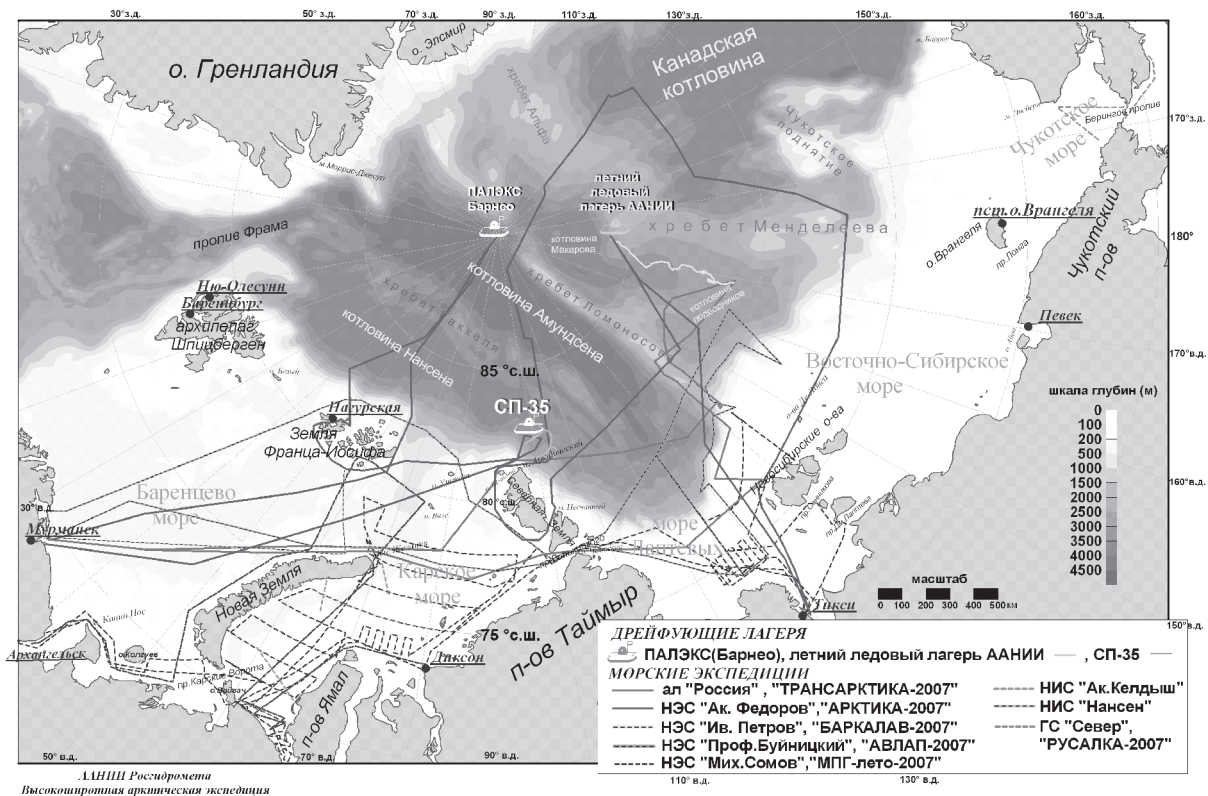


Рис. 2. Экспедиционная деятельность ААНИИ в 2007г на акватории Арктического бассейна и арктических морей

гологодичном цикле две научно-исследовательские дрейфующие станции «Северный полюс-35» и «Северный полюс-36», выполнявших комплексные исследования атмосферных, ледовых, океанических процессов в круглогодичном цикле; осуществлены две большие экспедиционные программы «Арктика-2007» и «Арктика-2008» на борту научно-экспедиционного судна «Академик Федоров» по комплексному исследованию процессов в северной полярной области. В летний период 2007 г. работала дрейфующая «Ледовая база», выполнены две комплексные экспедиционные программы «Баркалав-2007» и «Баркалав-2008» на НИС «Иван Петров» по исследованию морей Баренцева, Карского и Лаптевых. Осуществлены исследования в рамках морских и прибрежных работ летних океанографических отрядов с борта НЭС «Академик Федоров», сезонных экспедиций в весенний период на двух дрейфующих ледовых базах «Барнео», выполнены попутные наблюдения за состоянием и динамикой ледников в западном секторе Арктики в арктическом рейсе НЭС «Михаил Сомов». Выполнены важные исследования в высокоширотных экспедиционных рейсах атомных ледоколов «Ямал» и «Россия».

Осуществлены комплексные международные морские экспедиции при участии специалистов Росгидромета на ледоколе «Капитан Драницин» по программе «АВЛАП» и на НИС «Академик М. Лаврентьев» по программе «РУСАЛКА». Выполнены работы по обследованию окружающей среды, оказывающей влияние на качество жизни населения арктического региона. Выполнены комплексные морские исследования на ледоколе «Капитан Николаев» в Баренцевом море в районе Штокмановского месторождения.

Комплексный подход, позволивший объединить в едином цикле работы дрейфующих станций и лагерей, морские и сухопутные экспедиционные исследования и работы летних отрядов, обеспечил наиболее эффективное решение задач, поставленных Оргкомитетом МПГ 2007/08 перед национальными морскими экспедиционными программами, дал обширный комплекс данных о состоянии природной среды значительных районов Арктики и арктических морей (Баренцева, Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского).

В настоящее время для изучения вод Северного Ледовитого океана с большим успехом стал использоваться автоматический измерительный комплекс типа ИТР.

В 2007–2008 гг. с борта НЭС «Академик Федоров» было установлено около 20 автоматических дрейфующих буев различного класса. В данном докладе представлены основные результаты работ в двух наиболее крупных и комплексных экспедициях по программам «Арктика-2007» и «Арктика-2008», внесших наиболее значимый вклад в комплексные исследования природной среды высокоширотной Арктики в период Международного полярного года 2007/08.

В 2007 г. с борта НЭС «Академик Федоров» впервые в мировой практике были выполнены спуски глубоководных обитаемых аппаратов «Мир-1» и «Мир-2» под дрейфующими льдами Арктического бассейна, один из комплексных спусков и выполненных в этот период исследований был произведен в географической точке Северного полюса. С борта а/л «Россия» в том же году осуществлены экспериментальные спуски глубоководного необитаемого аппарата.

Следует особо отметить, что исследования 2007 г. (период наибольшего сокращения площади ледяного покрова в Арктическом бассейне), проведенные в рамках программ «Арктика-2007», и ледовая база ААНИИ позволили получить контактные данные в районах Арктического бассейна, где разрушения ледяного покрова, впервые в истории наблюдений, носили лавинообразный характер, что привело к существенным изменениям в ледяном покрове и гидросфере региона, следы этих процессов наблюдаются в Арктическом бассейне в поверхностном слое океана и в настоящее время. В итоге проведенных работ получены массивы метеорологических, ледовых и океанографических наблюдений, собраны данные о состоянии и динамике атмосферы, льдов и вод Северного Ледовитого океана, характеризующие климатические изменения в Арктике в текущий период, осуществлены работы по мониторингу загрязнения природных сред труднодоступных областей региона, получены данные по биологическому состоянию и биопродуктивности региона, выполнены комплексы специальных и попутных геологических исследований.

При анализе этих материалов получены характеристики компонент арктической климатической системы – атмосферы, гидросферы и ледяного покрова. Выявлены значимые аномалии в атмосфере и водах океана, вызванные современными процессами атмосферной и океанической циркуляции. Получены количественные оценки скорости связанного с развитием этих процессов дрейфа льдов в Арктическом бассейне СЛО.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ

Г.Г.МАТИШОВ

*Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия. e-mail: matishov@mmbi.info
Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия.*

Одним из приоритетных направлений Международного полярного года является оценка современного состояния морских экосистем Арктики. Среди внешних факторов воздействия ведущее место занимают климатические аномалии, которым в последние годы уделяется повышенное внимание. Они непосредственно влияют на биологическую продуктивность и биоресурсы морей, а связанная с ними изменчивость ледяного покрова определяет условия жизнедеятельности морских организмов на всех трофических уровнях.

Мурманский морской биологический институт занимается исследованиями морей Западной Арктики на основе экосистемных подходов, уже более 25 лет Экспедиционный мониторинг в Арктике проводится на акватории от Исландии до Северной Земли. Созданы электронные базы данных о морской среде и биоценозах, по ряду показателей, охватывающие период с начала XIX века по настоящее время и представляющие собой уникальный материал для анализа вековых изменений климата. Обосновано новое научное направление – радиационная экологическая океанология, что позволило впервые определить вклад глобальных, региональных и локальных источников в радиоактивное загрязнение морских экосистем. Разработаны численные модели циркуляции вод, балансов загрязняющих веществ и трофодинамики для арктических морей России.

С начала 1980-х гг. по настоящее время ММБИ выполнил большой объем экспедиционных работ в морях Западной Арктики на НИС «Дальние Зеленцы», НТС «Помор», на атомных ледоколах и в российско-германских экспедициях на ледоколе «Полярштерн». Среди важнейших научных результатов этих экспедиций следует отметить новые данные о формировании продуктивных зон в эстуариях арктических морей. Выявлены области повышенной концентрации бактерио-, фито- и зоопланктона, показано, что процессы продуцирования начинаются задолго до весенне-летнего таяния льда. Наблюдения с ледоколов позволили уточнить пути весенних миграций морских птиц и ареалы их зимовок, что имеет большое значение для оценки экологических последствий морской деятельности в Арктике.

Возвращаясь к иерархии факторов, подчеркнем, что климат – ведущий природный фактор динамики морских экосистем и формирования биопродуктивности. В фокусе климатических работ закономерно находятся аномальные явления, размах и повторяемость которых возрастает. Современные данные об изменениях температуры и солености в Баренцевом море свидетельствуют не о монотонном потеплении, а о ритмичности климатических колебаний.

Термохалинные условия в Баренцевом море определяются взаимодействием 3-х основных водных масс: атлантических, арктических и прибрежных. Важнейшую часть водного баланса моря составляет поступление атлантических вод по гляциальным желобам с запада, со стороны Норвежского моря. Мощность потока и его пространственно-временные изменения лучше всего определяются в ходе анализа данных измерений температуры и солености на стандартных (вековых) разрезах. Это связано с трудоемкостью измерений скорости и направления течений *in situ* и с тем, что для вековых разрезов собрана наибольшая база данных именно по температуре и солености. В этой связи весьма актуальным представляется анализ термохалинных характеристик водных масс на стандартных разрезах. Анализ полученных данных наблюдений, расчет и оценка аномалий температуры и солености вод на этом разрезе «Кольский меридиан» позволяют констатировать продолжение начавшегося в конце 1980-х гг. «теплого» периода в климатическом состоянии водной среды, соответственно и «теплого» периода в функционировании баренцевоморской экосистемы. Непрерывность потепления нарушалась кратковременным похолоданием 1997–1999 гг. Аналогичная теплая климатическая фаза в Баренцевом море наблюдалась в 1930–1940-е гг.

Вместе с тем, поток тепла в Баренцево море с атлантическими водами, активно возраставший в период с 2001 по 2006 г., устойчиво уменьшался летом 2007–2009 гг. В эти годы отмечено значительное снижение аномалий термохалинного состояния вод в слое 0–200 м. Аномалии температуры воды снизились с 1,39 °С в 2006 г. до 0,13 °С в 2009 г., а солености соответственно – с 0,06 до –0,05 ‰. Таким образом, можно утверждать, что в многолетней динамике аномалий направленность тренда после 2006 г. реализуется как устойчивая нисходящая тенденция. Уже начиная с 2010 г., ожидается возвращение режима функционирования экосистемы Баренцева моря к «нормальному» тепловому состоянию с последующим переходом к периоду похолодания.

Очевидно, что вариации биопродуктивности морей определяются внутривековыми колебаниями климата. В свою очередь, от этих вариаций зависит урожайность поколений рыб, их смерт-

ность, пути миграций. Например, в холодные годы треска не совершает протяженных миграций, ее промысловые скопления локализованы в южной и юго-западной частях Баренцева моря. В теплые годы треска широко распространяется по акватории моря и достигает предельных участков своего нагульного ареала вплоть до прибрежных вод Новой Земли на востоке и Возвышенности Персея на севере.

Баренцево море признается хорошо изученным в биологическом аспекте. Однако, как показывают данные, обобщенные в работах ММБИ и других институтов, оценки первичной продукции, полученные разными авторами, сильно варьируют. Суммарная годовая продукция по акватории моря может составлять от 80 до 150 млн тС/год, что в пересчете на единицу площади дает от 50 до 100 гС/м². Однако эта оценка усреднена по площади, в пределах которой высокопродуктивные промысловые районы составляют меньшую часть. В юго-западных и центральных районах моря этот показатель достигает 200 гС/м² год, что позволяет отнести ее к умеренно продуктивным БМЭ.

Для понимания климатической динамики необходимо проводить реконструкцию палеоклимата. Как известно, относительно недавно (18–20 тыс. лет назад) Северная Европа и шельф Баренцева моря были покрыты материковым ледником, что аналогично нынешнему состоянию Антарктиды. Процесс деградации скандинавского ледника длился около 5 тыс. лет. Это означает, что даже при однонаправленных изменениях климата в ближайшее десятилетие арктические льды не тают. Между тем в последние годы отмечены и противоположные тенденции. Климат южных морей, вопреки декларациям о глобальном потеплении, развивался в противофазе с потеплением Баренцева моря. Так, январь 2006 г. оказался одним из самых суровых за 100 лет наблюдений.

Есть основания полагать, что климатическая система Баренцева моря испытывает колебания с периодом 25–30 лет. Это, в частности, подтверждается фактами замерзания Кольского залива. Выявленную закономерность необходимо учитывать в прогнозах и сценариях состояния морских экосистем.

РОССИЙСКИЕ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ В ПЕРИОД МПГ 2007/08

А.В.КЛЕПИКОВ, Н.Н.АНТИПОВ, А.И.ДАНИЛОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: klep@aari.ru

Российские океанографические исследования в Южном океане по программам МПГ 2007/08 начались в начале 2007 г. и завершились в 2010 г. (рис. 1). Основные исследования проводились с борта научно-экспедиционного судна ААНИИ «Академик Федоров», специалисты института океанологии РАН проводили экспедиционные исследования на судах «Академик Иоффе» и «Академик Сергей Вавилов».

В соответствии с задачами кластерного проекта МПГ 2007/08 № 8 «Взаимодействие вод антарктического склона и шельфа» (Synoptic Antarctic Shelf Slope Interaction Study – SASSI) с борта НЭС «Академик Федоров» были выполнены разрезы через шельф и материковый склон в морях Содружества, Рисер-Ларсена, Амундсена и Беллинсгаузена. Наблюдения выполнялись зондирующим комплексом CTD SBE 911plus, в большинстве случаев проводился отбор проб для определения содержания растворенного кислорода, кремния, фосфатов, нитратов, нитритов и аммиака.

В январе 2007 г. выполнено 3 меридиональных океанографических разреза в восточной части моря Содружества, включая залив Прюдс (по 62, 64 и 70° в.д., всего 29 зондирований от поверхности до дна океана), в феврале 2007 г. – разрез в море Рисер-Ларсена по 15° в.д., 13 зондирований), в феврале 2008 г. – разрез в море Амундсена (15 зондирований), в феврале 2010 г. – разрез в море Беллинсгаузена (16 зондирований). Все перечисленные разрезы отличаются высоким пространственным разрешением, особенно в области материкового склона. Расстояние между станциями на склоне уменьшалось до 2 км, что дало возможность получить подробную картину структуры вод этого района.

Проведенные исследования показали принципиальные различия в структуре и характеристиках вод шельфа и материкового склона между восточной (моря Рисер-Ларсена и Содружества) и западной (моря Амундсена и Беллинсгаузена) Антарктидой.

Для морей восточной Антарктиды характерно присутствие *антарктической шельфовой воды*, формирующейся за счет конвективных процессов при ледообразовании и играющей важную роль в процессах вентиляции глубинных и формировании *антарктических донных вод* в районе Антарктического склонового фронта, приуроченного к верхней части материкового склона. Эти процессы ярко выражены в области материкового склона моря Содружества, где обнаружены признаки формирования донных вод западнее 72° в.д., и отсутствие таких признаков восточнее указанной долготы. Установлено, что донные воды являются результатом смешения *циркумполяр-*



Рис. 1. Российские океанографические исследования в Южном океане по программам МПГ 2007/08

ной глубинной воды с холодными шельфовыми водами, образующимися вблизи шельфового ледника Эймери. Открытая нами донная вода залива Прюдс далее движется вдоль по склону на запад и вниз по каньонам и депрессиям. Температура обнаруженных донных вод составляет $-0,3$ до $-1,6$ °С, соленость 34,54 – 34,62 ‰. Интенсивность опускания образующихся донных вод вниз по склону возрастает в западном направлении, по мере сужения шельфа и увеличения уклона его дна. В районе моря Рисер-Ларсена объемы и характеристики шельфовых вод таковы, что процессы, связанные с опусканием холодных плотных вод по материковому склону, не наблюдаются.

В морях Амундсена и Беллинсгаузена не обнаружено признаков формирования шельфовых вод, здесь всю толщу вод на шельфе ниже слоя поверхностных вод занимает слабо модифицированная, относительно теплая и соленая циркумполярная глубинная вода, которая может быть причиной активного таяния выводных и шельфовых ледников. Так, в море Амундсена распространение талых вод от ледников существенно влияет на структуру и циркуляцию вод, и на разрезе проявляется, в частности, в существовании пространственно однородного поверхностного слоя толщиной около 20 м, температурой от $-1,4$ до $-1,7$ °С, и аномально низкой соленостью, не превосходящей 32,8 ‰.

Значительный объем наблюдений в этот период был выполнен с помощью обрывных батитермографов ХВТ. Для исследования термической структуры и фронтов Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) в районе между Африкой и Антарктидой и в соответствии с задачами кластерного проекта МПГ 2007/08 № 132 «Климат Антарктики и Южного океана» (Climate of the Antarctic and Southern Ocean – CASO) в период с 2007 по 2010 г. ежегодно выполнялся ХВТ-разрез в диапазоне широт $68-35^{\circ}$ ю.ш. по траектории разреза SR2 программы CLIVAR. В феврале 2007 г. на разрез было выполнено 108 зондирований, в феврале 2008 г. – 111 зондирований, в феврале 2009 г. – 111 зондирований и в феврале 2010 г. – 80 зондирований.

Достаточно плотное расположение точек зондирования на разрезе позволило как определить положение и основные характеристики основных фронтов АЦТ, так и проследить некоторые особенности их межгодовой изменчивости, как на поверхности, так и на более глубоких горизонтах.

В январе 2008 г. был выполнен разрез ХВТ в районе между Австралией и Антарктидой, состоявший из 69 зондирований, и в период с декабря 2008 г. по февраль 2009 г. выполнены пять разрезов ХВТ в районе морей Космонавтов и Содружества (залив Прюдс), всего 113 зондирований. Разрезы в области морей Космонавтов и Содружества позволили оценить характеристики мезомасштабных особенностей термической структуры вод в области регулярного формирования одной из наиболее устойчивых полыней Южного океана – полыни Космонавтов, свидетельствующие об интенсивном поступлении тепла глубинных вод в поверхностный слой, показать, что формирование достаточно сложной мезомасштабной термической структуры в основном является следствием взаимодействия течений с донной топографией.

Силами ученых института океанологии РАН в ноябре 2007 г. был выполнен разрез вдоль разлома Шеклтона в районе пролива Дрейка (всего 53 STD-станции), и в октябре – ноябре 2008 г. выполнена гидрологическая съемка, содержащая 66 станций STD в районе глубоководных проходов в разломе Шеклтона. Разрезы выполнялись зондом *SBE 911plus* с дискретностью 6–15 миль.

Разрезы в проливе Дрейка показали, что термохалинные фронты АЦТ слабо выражены в поле горизонтальных градиентов термохалинных свойств. На южной границе АЦТ наблюдается хорошо выраженное течение западного направления, которое переносит модифицированные глубинные воды моря Уэдделла в Тихий океан. Интегральный геострофический транспорт над порогом, разделяющим Тихий и Атлантический океаны в проливе Дрейка, составляет только 93 Св. Это может означать, что рециркуляция атлантических и тихоокеанских придонных вод, не перетекающих этот порог, может составлять 10–15 Св. Максимальный геострофический перенос вод наблюдается в районе Субантарктического фронта и составляет более 50 % всего переноса АЦТ.

Данные наблюдений показали, что на увеличение содержания хлорофилла на поверхности оказал влияние только субантарктический фронт. Интегральные величины хлорофилла в слое фотосинтеза и в слое 0–200 м возросли и на Субантарктическом, и на Полярном фронте. Холодные циклонические вихри в полярной фронтальной зоне могут на порядок снижать содержание хлорофилла в поверхностном слое пролива Дрейка. Низкое содержание растворенного кремния способно лимитировать развитие фитопланктона в Субантарктике и северной части Полярной фронтальной зоны. Другим лимитирующим фактором могли быть невысокие значения температуры поверхностного слоя в антарктической зоне. Небольшая в целом толщина верхнего перемешанного слоя могла способствовать отсутствию угнетения роста фитопланктона из-за светового голодания.

Авторы выражают благодарность С.В.Гладышеву за предоставленную информацию. Работа выполнена в рамках подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики».

УЧАСТИЕ СЕВЕРНОГО УГМС В ВЫПОЛНЕНИИ МЕРОПРИЯТИЙ МПП 2007/08

Л.Ю.ВАСИЛЬЕВ

Северное УГМС, г. Архангельск, Россия. e-mail: bossygm@arh.ru

1 марта 2007 г. стартовал Международный полярный год 2007/08 – глобальный проект с участием нескольких тысяч ученых, представляющих более 30 стран мира.

Северное УГМС, в силу географического положения своей территории ответственности, принимает активное участие в реализации мероприятий МПП по трем направлениям: «Развитие систем наблюдений в полярных областях», «Экспедиционные программы», «Издательская деятельность».

Для полярных станций Северного УГМС приобретены и установлены приборы и оборудование: осадкомеры, мачты М-82, будки, гелиографы, термографы, гигрографы, плювиографы, снегомеры, анеморумбометры, барометры БРС-1, БОП, термометры, ареометры. Значительный объем работ выполнен на ОГМС им. Э.Т.Кренкеля (архипелаг Земля Франца-Иосифа). Приобретены и введены в эксплуатацию аэрологический комплекс МАРЛ-А, с 10.10.2007 г. восстановлено температурно-ветровое зондирование атмосферы в срок 00 ВСВ. С 1 января 2009 г. станция перешла на двухразовое зондирование атмосферы. На станции выполнен ремонт служебно-жилого дома. Проведена реконструкция дизельгенераторной, введены в эксплуатацию два новых дизельгенератора.

В 2007 г. специалистами ЦАО на ОГМС им. Э.Т.Кренкеля была выполнена расконсервация и энергообеспечение пускового комплекса ракетного зондирования атмосферы «Кама» и радиолокационных средств приема телеметрической информации «Метеорит». Пробный выпуск метеорологической ракеты М-110В выполнен 23 сентября. В 2008 г. работы по запуску метеорологических ракет были продолжены. 11 и 12 сентября были проведены выпуски ракет. На ОГМС им. Э.Т.Кренкеля в 2008 г. установлен ультрафиолетовый озонный спектрометр (УФОС) и восстановлены озонметрические наблюдения.

В 2007 г. приобретены, установлены и введены в эксплуатацию две автоматические метеорологические станции в местах ранее закрытых полярных станций – Андрея (море Лаптевых) и о.Русский (Карское море).

В 2007 г. построено и введено в эксплуатацию новое модульное служебно-жилое здание МГ-2 Марресалья. В навигацию 2009 г. завершено строительство и сданы в эксплуатацию три новых служебно-жилых модуля на станциях Белый Нос, им. Е.К.Федорова (м. Челюскин) и Известий ЦИК.

В 2008 г. приобретены и введены в эксплуатацию аэрологические локаторы МАРЛ-А на МГ-2 Малые Кармакулы, АЭ Шойна и ОГМС им. Е.К.Федорова. Для восстановления геофизических наблюдений на ГФ Колба построено модульное служебно-жилое здание, проведены отделочные работы. Построены новые геомагнитные павильоны на МГ-2 Белый Нос, ОГМС им. Э.Т.Кренкеля, ГФ Колба.

На полярные станции в 2007–2009 гг. доставлены на НЭС «Михаил Сомов» и введены в эксплуатацию 17 дизельгенераторов.

Для выполнения круглосуточных наблюдений за уровнем моря на ОГМС Диксон и МГ-2 Визе установлены гидростатические уровнемеры «Прилив-2Д». В 2009 г. приобретены еще 2 комплекта гидростатических уровнемеров «Прилив-2Д» для установки на станциях Марресалья и Усть-Кара.

Для восстановления полной программы актинометрических наблюдений приобретены два комплекта автоматизированных актинометрических комплексов (ААК) для станций Белый Нос и Диксон.

В 2009 году в рамках программы МПП на станциях Визе, Известий ЦИК, им.Е.К.Федорова, Стерлегова, Сопочная Карга доставлены и установлены спутниковые средства связи – специализированные комплексы подготовки и приема-передачи гидрометеорологической информации АПК-метео-К. Для учащенной передачи данных геофизических наблюдений установлена спутниковая система связи на ГФ Колба.

В соответствии с планом мероприятий МПП Северному УГМС поручалось обеспечение выполнения морских экспедиционных исследований на научно-экспедиционных судах управления «Михаил Сомов» и «Иван Петров». Было обеспечено проведение комплексных пространственно-распределенных исследований с дрейфующих льдов Арктики на базе дрейфующих ледовых лагерей с привлечением организаций, имеющих соответствующие научные кадры и опыт проведения аналогичных работ. Морские экспедиционные исследования на НИС «Иван Петров» проводились по программе ААНИИ «Баркалав-2007» и «Баркалав-2008» на акваториях Баренцева и

Карского морей и моря Лаптевых в основном силами специалистов института. В экспедиционных исследованиях кроме ААНИИ принимали участие специалисты из Германии и ряда Российских научных организаций. Северное УГМС полностью выполнило поставленные Росгидрометом задачи, обеспечив работу экспедиционного состава на борту судна. В результате экспедиционных исследований по программе «Баркалав» получена комплексная количественная информация о состоянии природной системы морей Сибирского шельфа, взаимодействии ее основных компонентов, влиянии на формирование климатических изменений в северных полярных районах.

Морские экспедиционные работы на НЭС «Михаил Сомов» проводились по программам «Сомов-МПП-2007» и «Сомов-МПП-2008» и заключались в комплексных исследованиях айсбергов и ледников в северо-восточной части Баренцева и северо-западной части Карского морей.

В навигацию 2008 г. на НИС «Иван Петров» специалистами Северного УГМС после продолжительного перерыва выполнены океанографические работы на стандартных гидрологических разрезах и станциях, мониторинг загрязнения вод Белого моря. В июне 2008 г. НЭС «Михаил Сомов» участвовало в экспедиции по снятию полярников с дрейфующей станции «Северный полюс-35» (продолжительность рейса 20 суток).

В навигацию 2009 г. на борту НЭС «Михаил Сомов» работала сводная экспедиция Северного УГМС, Морская арктическая комплексная экспедиция Российского НИИ культурного и природного наследия им. Д.С.Лихачева, ученые из Института геохимии РАН, съемочная группа Первого канала. Экспедиции выполняли научную программу в рамках МПП, общегосударственную программу наблюдения и контроля состояния окружающей среды, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы Росгидромета. Проводился мониторинг загрязнения вод Белого, Баренцева, Карского морей солями тяжелых металлов, отбор проб лишайников для изучения накопления ими загрязняющих веществ, поступающих из атмосферы, документирование состояния берегов, их трансформации. Собраны материалы по истории исследований Арктики, на арктических островах установлены памятные знаки и кресты.

По поручению Росгидромета Северным УГМС проведены мероприятия по изданию фото-книги «Арктическая Россия». Книга аннотирована руководителем Росгидромета А.И.Бедрицким и заместителем Государственной Думы Российской Федерации А.Н.Чилингаровым. Формат книги 300 страниц, более 500 цветных фотоиллюстраций, тираж 3000 экз. В качестве первичного материала использованы фотографии и видеоматериалы из архивов арктических управлений Росгидромета, Государственных архивов субъектов РФ, музеев и работников гидрометслужбы.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГОВ
НА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ
В РОССИЙСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

Л.Н.КАРЛИН, А.С.АВЕРКИЕВ

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: rector@rshu.ru, asav@rshu.ru

Современные проблемы, стоящие перед высшим образованием в России и изменения, происходящие в РГГМУ, в частности состоят в следующем:

- во-первых, существенное снижение количества выпускников школ, поступающих в ВУЗы (причина – демографический спад 1990-х годов);
- во-вторых, снижающийся культурно-образовательный уровень выпускников школ;
- в-третьих, включение России в так называемый «Болонский процесс», и переход на двухуровневую систему подготовки специалистов уже с 2010 г.;
- в-четвертых, существенное снижение количества выпускников, работающих по специальности.

Чтобы смягчить действие хотя бы третьей и четвертой проблем, необходимы совместные усилия высших учебных заведений и представителей отрасли, присутствующих на Конференции. Это потребует существенной корректировки учебного процесса в РГГМУ (как и в других ВУЗах) и формирования новых взглядов в научных и производственных организациях по отношению к бакалаврам и магистрам, так как через пять лет в нашей отрасли выпуск «специалистов-инженеров» прекратится.

Некоторые направления и шаги, которые выполняются или должны быть выполнены в ближайшее время:

- полное признание со стороны общества, работодателей и выпускников понятия высшего образования за квалификацией бакалавр и четкое определение спектра работ, которые ими могут выполняться;
- формирование нового направления подготовки – прикладная гидрометеорология – именно так называется новое направление в Федеральном образовательном стандарте (ФГОС), уже заявленном РГГМУ в Министерстве образования и науки, который будет утвержден в ближайшие месяцы;
- расширение выпуска магистров гидрометеорологии по разным специализациям (профилям) под конкретные запросы работодателей;
- вопросы дополнительного (индивидуального) стимулирования (финансирования) во время обучения магистров и первых лет работы молодых ученых, аспирантов, преподавателей-ассистентов.

СЕКЦИЯ «ПОЛЯРНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ»

АНОМАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА И АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Л.А.ТИМОХОВ¹, И.В.ПОЛЯКОВ³, И.М.АШИК¹, Х.КАССЕНС², С.А.КИРИЛЛОВ¹,
А.Ю.ПРОШУТИНСКИЙ⁴, В.Т.СОКОЛОВ¹, И.Е.ФРОЛОВ¹

¹ – ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: tim@aari.nw.ru, ashik@aari.nw.ru, svf@aari.nw.ru

² – Leibniz Institute of Marine Sciences, IFM-GEOMAR, Kiel, Germany. e-mail: hkassens@ifm-geomar.de

³ – International Arctic Research Center, Fairbanks, USA. e-mail: igor@iarc.uaf.edu

⁴ – Woods Hole Oceanographic Institute, USA. e-mail: aproshutinsky@whoi.edu

В последние два десятилетия произошли значительные изменения в Северном Ледовитом океане (СЛО), а также как и Арктике в целом. В той связи организация и проведение Международного полярного года (МПГ 2007/08) позволили объединить усилия ученых многих стран и получить обширную информацию о текущих изменениях климата в природных комплексах Арктики и Антарктики. Важно подчеркнуть, что период выполнения программы МПГ 2007/08 совпал с неординарными климатическими событиями в Арктике. В 2007 г. аномально развивались атмосферные процессы, и летом 2007 г. в тихоокеанской части СЛО ото льда освободилась огромная акватория, ранее всегда покрытая дрейфующим льдом.

Наблюдения экспедиций ААНИИ, российско-американской (АВЛАП/NABOS) и российско-германской (БАРКАЛАВ/TRANSDRIFT) экспедиций и дрейфующих океанографических буев ИТР и др. дали возможность собрать огромный массив океанографических данных, который позволяет составить достаточно полное представление об уникальных океанологических процессах 2007 г. и последующих годы.

Анализ данных наблюдений показал следующее. В поверхностном слое Американо-Северного суббассейна летом 2007 г. наблюдались экстремально высокие температуры воды и сформировались большие положительные аномалии, достигавшие +3 °С. Одновременно было зафиксировано аномальное распреснение поверхностного слоя. При этом выделялись две обширные области больших отрицательных аномалий (распреснение поверхностного слоя) от –4 до –6 ‰. Первая область располагалась в южной части котловины Подводников и прилегающей части сибирского шельфа с центром 80° с.ш. и 160° в.д., а вторая располагалась в Канадской котловине.

В центральной части Евразийского суббассейна температура воды в поверхностном слое была близка к средней климатической, аномалии были в пределах от –0,5 до +0,5 °С, но наблюдалось значительное осолонение, причем положительные аномалии достигали 2 ‰, а в центральной части моря Лаптевых – до +6 ‰. В то же время на севере Баренцева и Карского морей наблюдалось небольшое распреснение с аномалиями порядка –1 ‰.

Одной из основных причин такой структуры поверхностных термохалинных полей явилось воздействие атмосферной циркуляции. Потоки тепла и воздействие ветров вызвали интенсивное таяние, разрушение льда и быстрое отступление кромки льдов на север. Образование огромной акватории, свободной от льда, способствовало значительному прогреву поверхностного слоя воды. Атмосферное воздействие было главным, но не единственным фактором. На интенсификацию выноса льдов из морей Чукотского, Восточно-Сибирского и Бофорта оказало влияние положение антициклонического круговорота вод, который в последние годы сместился к югу от центра Канадской котловины, а интенсивность его выросла, что способствовало ускорению выноса льда по периферии антициклонического круговорота в сторону островов Канадского архипелага. Температуры воды поверхностного слоя летом 2008 г. на большей части акватории Арктического бассейна была ниже, чем летом 2007 г. Структура поля аномалий температуры была подобна лету 2007 г., но величины аномалий летом 2008 г. были значительно меньше. Структура поля аномалий солености летом 2008 г. подобна таковой летом 2007 г., но величины аномалий были меньше. Соленость поверхностного слоя в Американо-Северном суббассейне в 2008 г. была больше солености поверхностного слоя летом 2007 г. на 1–2 ‰.

Изменения коснулись и более глубоких слоев. В 2007–2008 гг. на большей части акватории Арктического бассейна максимальная температура атлантических вод была больше средней климатической, а верхняя граница вод поднялась на 50–100 м над ее климатическим положением. Нижележащие донные воды стали несколько теплее и менее солеными.

Для получения оценок изменений, происшедших в толще океана, был выполнен объемный анализ водных масс по всем имеющимся в нашем распоряжении глубоководным океанографическим данным летних сезонов 2007 г. и 1970–1979 гг.

Путем расчетов были получены средневзвешенные значения температуры и солёности для всего анализируемого объема СЛО: для лета 2007 г. соответственно $+1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $34,06\text{ }‰$ и для сезона, осредненного за 1970–1979 гг. $+0,82\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $34,25\text{ }‰$. Из этих оценок следует, что от 70-х годов прошлого века до начала текущего столетия воды Арктического бассейна и прилегающих арктических морей потеплели на $0,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ и солёность уменьшилась на $0,19\text{ }‰$. Дискретные функции распределения объемов вод (по оси ординат величина объема вод в метрах на единицу площади) в зависимости от температуры и солёности для лета 2007 г. и летнего сезона 1970–1979 гг., существенно отличаются. Аномальные процессы в поверхностном слое нашли отражение в том, что в интервалах температур от $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и солёности воды меньше $30,00\text{ }‰$ функция распределения аномалий имеет положительные значения. Значительная трансформация объемов вод произошла для градаций температур и солёности ($0,0/+1,50\text{ }^{\circ}\text{C}$; $31,00/32,00\text{ }‰$) и ($0,0/+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $32,00/33,00\text{ }‰$). Объем вод первой градации в 2007 г. увеличился по отношению к среднему значению величины объема вод с рассматриваемыми характеристиками для десятилетия 1970–1979 гг. в 5 раз. Общий объем атлантических вод с температурой выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и солёностью более $34,6\text{ }‰$ в 2007 г. вырос на 22 % по сравнению с 1970–1979 гг. Объем нижних промежуточных вод с температурой от $-0,4$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и солёностью более $34,6\text{ }‰$ в 2007 г. уменьшился на 30 %.

Выполненный анализ показывает, что за последние 30 лет в СЛО произошла существенная перестройка термохалинной структуры. Сезонные изменения в СЛО летом 2007 г. были столь экстремальными, а изменения в промежуточных слоях и в слое атлантических вод настолько значительными, что встает вопрос о пределах изменения внутренних параметров океанической системы Арктики и оценке вероятности возникновения необратимых изменений термохалинной структуры и циркуляции вод и льдов СЛО.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ОСВОЕНИЮ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

А.И.ДАНИЛОВ, И.В.БУЗИН, Ю.П.ГУДОШНИКОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: aid@aari.nw.ru

Для России энергетические ресурсы Арктики имеют особое значение. Освоение арктического шельфа призвано компенсировать неизбежный спад добычи нефти и газа на истощающихся континентальных месторождениях с 2015 по 2030 г. Деятельность по освоению арктического шельфа включает проектирование, строительство и эксплуатацию морских терминалов, платформ, подводных трубопроводов, буровых сооружений, а также необходимых транспортных систем. Безусловно, сложные природно-климатические условия Арктики закладываются в проектные решения, учитываются при эксплуатации сооружений, срок жизни которых составляет несколько десятков лет. Также на таких временных периодах необходимо оценивать и учитывать климатические изменения в отдельных компонентах природной среды (морские льды, штормовая активность и т.п.).

Сценарии климатических изменений в Арктике с учетом антропогенных факторов указывают на высокую вероятность дальнейшего развития потепления в масштабе нескольких десятков лет вплоть до конца столетия, что определяет актуальность оценки происходящих изменений в климатической системе Арктики и возможных последствиях для природопользования в арктических регионах России.

Изменения климата существенно повлияют на ледовые условия, особенно в мелководных морях арктического шельфа, где проходят трассы Северного морского пути. Смещение ледовых массивов, появление айсбергов являются факторами риска для морских перевозок, добычи углеводородов, рыбного промысла. Возможны осложнения для прибрежной инфраструктуры (порты, хранилища, терминалы) вследствие более активной деградации вечномёрзлых пород, разрушения арктических берегов и т.п. Вероятно, более штормовым станет безледный период.

С другой стороны, изменения в морском ледяном покрове меняют условия доступа к морским месторождениям. В случае потепления Арктики, следует ожидать, что группа северных месторождений Баренцева моря, морские месторождения Карского моря станут более доступными для освоения вследствие увеличения безледного периода, а в целом упростятся условия плавания на трассах Северного морского пути. Большая доступность морских месторождений расширит число стран, заинтересованных в их использовании. В этой связи возможна актуализация проблемы определения положения внешней границы континентального шельфа. Такого рода проблемы будут усиливаться по мере истощения невозобновляемых источников энергии, способствуя дестабилизации геополитического пространства в Арктике.

Несмотря на более благоприятные «в среднем» условия плавания, в ряде районов будет сохраняться вероятность возникновения очень сложных ледовых условий вследствие подвижек ледовых массивов. Это, прежде всего, проливы и, в первую очередь, пролив Вилькицкого. Возможность таких ситуаций, а также необходимость обеспечения в будущем различных морских операций в более высоких широтах Северного Ледовитого океана (добыча углеводородов, перевозки) будет сохранять и в будущем потребность в мощном ледокольном флоте.

Экстремальные явления редкой повторяемости при улучшении средних ледовых условий будут представлять главную опасность для шельфовой деятельности. Примером может служить экстремальная ледовая ситуация в Баренцевом море зимой 2003 г., когда в границах Штокмановского газоконденсатного месторождения было обнаружено более сотни айсбергов, вес самого большого из них превосходил 3,5 млн т. До этого, по историческим данным, вес максимального айсберга оценивался в 1,4 млн т. Обнаруженный экстремальный сброс айсбергов привел к изменению проектного решения добычного комплекса Штокмановского ГКМ, который сейчас реализуется.

В тот же период наблюдались исключительно сложные ледовые условия в мелководной юго-восточной части Баренцева моря (в Печорском море). Вследствие длительных сильных сжатий и торошения льда возникли серьезные затруднения по отгрузке и транспортировке нефти от Варандейского подводного терминала. Подобная ситуация в этом районе повторялась и в последующие годы.

В наименее ледовитом 2007 г., когда летняя площадь арктического ледяного покрова достигла своего минимума за весь период спутниковых наблюдений, лед сохранялся в проливе Вилькицкого практически в течение всего навигационного периода.

В рамках работ по программе МПГ 2007/08 выполнены исследования выводных ледников архипелагов Земля Франца-Иосифа и Новая Земля, в которых получены данные для создания концепции управления ледовой обстановкой в районе Штокмановского ГКМ, назначение которой предотвращение ледовых угроз редкой повторяемости (айсберги, многолетние льды из высоких широт).

**НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМЕ ВНЕШНЕЙ ГРАНИЦЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА
В 2007–2008 ГГ.**

В.Д.КАМИНСКИЙ, В.А.ПОСЕЛОВ, П.В.РЕКАНТ

*Всероссийский научный исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С.Грамберга,
Санкт-Петербург, Россия. e-mail: okeangeo@vniio.ru*

Геолого-геофизические исследования, выполненные Роснедра –ВНИИОкеангеология в составе экспедиции «Арктика-2007» в Арктическом бассейне, в первую очередь были направлены на решение задач, связанных с геологическим обеспечением геополитических интересов Российской Федерации на основе уточнения положения границы расширенного континентального шельфа Российской Федерации в этом регионе, в частности в районе хребта Ломоносова и в зоне его сопряжения с прилегающим шельфом. На основе данных исследований, с привлечением материалов ранее выполненных работ, создана геодинамическая модель литосферы исследуемого района, обосновывающая Концепцию Российской заявки внешней границы континентального шельфа в Северном Ледовитом океане. Анализ геолого-геофизических материалов по профилю «Арктика-2007» в совокупности с геодинамической моделью позволил сделать ряд существенных новых выводов о формировании Северного Ледовитого океана. В том числе вывод о том, что область Центрально-Арктических поднятий и Восточно-Арктический шельф России представляют единый ансамбль континентальных геологических структур с общей историей геологического развития и синокеанических структурно-вещественных преобразований континентальной коры.

мик Александр Карпинский» с размещением на его борту нового регистрирующего сейсмического комплекса, в состав которого входит цифровая, 352-канальная приемная расстановка длиной 4,5 км и две линии пневмоисточников общим объемом 47 л. Внедрение нового оборудования позволило существенно улучшить качество получаемых материалов и выйти на новый уровень изучения окраинных морей.

В 2007 г. в антарктической части Индийского океана были выполнены совместные российско-германские геофизические исследования по проекту Международного полярного года (МПП 2007/08) «История геодинамического развития, осадконакопления и изменений природной среды района южной части плато Кергелен, Восточная Антарктика». В осуществлении проекта с российской стороны принимали участие специалисты ПМГРЭ и ВНИИОкеангеология, а со стороны немецких партнеров – ученые из Института Альфреда Вегенера (AWI) и Института геонаук и природных ресурсов Германии (BGR). Работы проводились с использованием двух научно-исследовательских судов НИС «Академик Александр Карпинский» (ПМГРЭ) и НИС «Поларштерн» (AWI). Площадь исследований охватывала акватории моря Содружества и юго-западную часть плато Кергелен. В состав исследований входили: сейсмическое профилирование, сопровождаемое измерениями гравитационного и магнитного поля (выполнялось российскими специалистами); глубинные сейсмические зондирования (ГСЗ) с использованием подводных трехкомпонентных сейсмостанций (выполнялись немецкими специалистами); широкоугольное сейсмическое профилирование с одновременным использованием двух судов и аэромагнитные съемки с вертолета, размещавшегося на НИС «Поларштерн». В начале 2009 г. российские ученые продолжили исследования по проекту МПП, изучив акваторию, расположенную к востоку от района совместных российско-немецких работ, которая включала юго-восточную часть плато Кергелен, море Дейвиса и глубоководную котловину Лабуан. В рамках проекта МПП также выполнено обобщение и интерпретация всех геофизических данных, полученных в индоокеанском секторе Южного океана российскими и зарубежными экспедициями (более 130 000 км сейсмических данных, около 300 зондирований МПВ и более 200 000 км магнито- и гравиметрических данных (рис. 1).

В результате исследований индоокеанского сектора Южного океана и детальных геофизических работ в районе плато Кергелен получены следующие основные научные результаты.

1. Составлен комплект структурных и геофизических карт (карты полной мощности осадочного чехла и мощностей индивидуальных сейсмических комплексов, карты глубины залегания кристаллического фундамента и региональных горизонтов осадочного чехла, карты аномального магнитного поля и поля силы тяжести и др.) и разрезов земной коры.

2. Выявлена структура и определены физические свойства земной коры.

3. Охарактеризовано строение земной коры континентальной окраины и история ее геологического развития от ранних этапов рифтогенной деструкции до настоящего времени.

4. Реконструированы основные этапы распада Гондваны на ранней стадии разделения литосферных плит и особенности геодинамической эволюции литосферы южной части Индийского океана в районе плато Кергелен.

5. Выявлены основные границы региональных несогласий осадочного чехла и установлена природа (условия формирования, состав и возраст) сейсмических комплексов.

6. Предложена концептуальная модель ранней (поздний эоцен – олигоцен) стадии развития ледникового щита Восточной Антарктиды; установлена корреляция истории развития ледового щита Восточной Антарктиды с процессами осадконакопления на континентальной окраине.

7. Определено влияние донных течений на процессы осадконакопления.

8. Выполнена оценка перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов Антарктики.

ПРОЛИВ ДРЕЙКА И МОРЕ СКОША – ПОЯС РЕЛИКТОВ ПАЛЕО-ЗЕМЛИ ЮЖНАЯ ПАТАГОНИЯ

Г.Б.УДИНЦЕВ¹, Н.А.КУРЕНЦОВА¹, В.Г.БАХМУТОВ², В.Д.СОЛОВЬЕВ², С.П.ЛЕВАШОВ²,
Х.В.ШЕНКЕ³, Н.ОТТ³

¹ – Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН, г. Москва, Россия. e-mail: glebudintsev@mail.ru

² – Институт геофизики НАН Украины. e-mail: bakhm@igph.kiev.ua

³ – Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung. e-mail: hans-werner-schenke@awi.de

Рельеф дна и геофизические параметры ложа пролива Дрейка и моря Скоша изучены, в общем, неплохо, и рассматривались во многих публикациях. Однако тектоника и геодинамика этого пояса, важные для понимания истории Циркум-Антарктического течения и его влияния на климат, до сих пор во многом неясны и находят противоречивые объяснения. Формирование морских впадин пролива Дрейка и моря Скоша большинство авторов видит в результате горизонтальных движений литосферных плит Южной Америки и Западной Антарктиды с отставанием последней от первой на значительное удаление. Ложе пролива Дрейка и моря Скоша рассматривается, как коллаж небольших реликтовых фрагментов коры континентального моста и крупных по размерам реликтовых или новообразованных массивов океанической коры. Авторы заявленного доклада предложили альтернативное объяснение происхождения морских котловин пролива Дрейка и моря Скоша вертикальным обрушением палео-Земли Южная Патагония в условиях умеренного по масштабам горизонтального раздвижения литосферных плит. Рифтогенез и спрединг были при этом недолговечными и ограниченными по пространственным масштабам корообразования, тогда как реликтовые фрагменты структур Андийской и вне-Андийской Патагонии значительны по размерам и определяют общий облик пояса от пролива Дрейка до Южно-Сандвичевой островной дуги. Эти альтернативные представления опираются на материалы выполненных авторами морских геофизических и геологических исследований.

ФОРМИРОВАНИЕ МАГМАТИЗМА В СПРЕДИНГОВЫХ ЗОНАХ ПОЛЯРНОЙ АТЛАНТИКИ

Н.М.СУЩЕВСКАЯ¹, А.В.СОБОЛЕВ¹, Б.В.БЕЛЯЦКИЙ²

¹ – Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН, г. Москва, Россия. e-mail: nadyas@geokhi.ru

² – Всероссийский научный исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С.Грамберга, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: bbelyatsky@mail.ru

Океанические хребты Колбенсей, Мона, Книповича и Гаккеля являются естественным продолжением Срединно-Атлантического хребта в Полярной Атлантике и относятся к медленно-спрединговым рифтам. Несмотря на то, что в современной рифтовой системе Атлантики они представляют собой единую структуру, их происхождение и эволюция имеет собственную специфику, расшифровка которой до сегодняшнего времени остается актуальной. Так, хребты Колбенсей и Мона, разделенные Ян-Майенским разломом, имеющим асимметричное строение, относятся к Ян-Майенской магматической и геохимической провинции. Хребты отличает относительная приподнятость рифтовой долины, особенно малоглубинной для хребта Колбенсей, где она менее 2 км. Хребет Книповича отделяется от хребта Мона Гренландской разломной зоной, которая, как полагают, является естественной границей разновозрастной литосферы, более древней в южной части. По данным магнитных аномалий разница в возрасте может достигать 15–20 млн лет. Для хребта Книповича типичны многочисленные косые разломы, пересекающие рифтовую долину и ее борта, и отсутствие трансформных разломов. Хребет Гаккеля относится к ультра-медленным спрединговым зонам: от полюса к югу в его пределах скорость спрединга изменяется от 12,7 мм/г до 6 мм/г. Хребет характеризуется глубокой хорошо выраженной рифтовой долиной с расположенными в ней небольшими вулканическими постройками. Особенностью хребта Гаккеля является наличие в его центральной части нетрансформного смещения рифтовой долины протяженностью около 1 км, в пределах которого распространены преимущественно гипербазиты.

Исследование магматизма спрединговых зон Полярной Атлантики, проведенное в рамках Мирового полярного года (ОНЗ №14 и программы Президиума РАН №16), стало возможно благодаря изучению нового каменного материала, драгированного в ходе геолого-геофизических 24 и 25-го рейсов НИС «Академик Николай Страхов» в районе хребта Книповича, магматизм которого оставался слабо изученным. По химическому составу толеитовый магматизм большей части хребтов Колбенсей и Мона отвечает всем характеристикам ТОР-2, типичным для большинства рифтовых зон Мирового океана. В тоже время для хребтов Книповича и Гаккеля наибольшее распространение имеют толеиты наименее глубинного типа – Na-ТОР, формирующиеся в наиболее холодных участках спрединговых зон мирового океана.

В отличие от хребта Колбенсей сугубо деплетированный характер магм хребта Мона отражает генерацию первичных магм в ходе подъема деплетированной океанической мантии, протекавшую без существенных осложнений с ранних этапов формирования хребта Мона. Толеиты хребтов Книповича и Гаккеля относятся к слабообогаченным литофильными элементами и радиогенными изотопами разностям с близкими геохимическими характеристиками.

На основании изучения базальтов Шпицбергена и лав хребта Книповича установлено, что в формировании источника, как континентальных базальтов, так и рифтовых толеитов, принимал участие близкий обогащенный мантийный компонент (пироксентиовая мантия). Его доля при плавлении уменьшается: от трапповых излияний неогенового возраста через щелочные четвертичные лавы до незначительной примеси в деплетированных и слабообогаченных толеитах хребта Книповича. Неогеновые базальты острова Шпицберген характеризуются повышенными отношениями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и пониженными отношениями $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ и, вероятно, образовались в результате плавления пироксенита – продукта реакции вещества рециклированной древней океанической, нижней континентальной коры и мантийного перидотита без существенного вклада чисто перидотитового мантийного источника. С омоложением возраста магматизма фиксируется повышение доли перидотитового компонента с параллельным закономерным изменением изотопного состава Sr и Nd. Эту тенденцию можно объяснить уменьшением глубины плавления за счет утонения (эрозии) или обрушения континентальной литосферы. К этому этапу относятся щелочные четвертичные лавы острова Шпицберген развитые на континентальной литосфере и толеиты флангов хребта Книпович на вновь образованной океанической литосфере. Современные проявления магматизма осевой части хребта Книповича по составу ближе к типичным базальтам СОХ, однако, присутствие корового компонента в этих расплавах вполне различимо. Главным источником этих магм являлся мантийный перидотит, преобладание которого над пироксенитом, связано, вероятно, с малой глубиной плавления. Несмотря на геохимическую близость обогащенного компонента проявленного в толеитах, образующихся в спрединговых зонах Полярной Атлантики, а также в базальтах Исландии, отмечаются и небольшие различия. Так, при

генерации магм хребта Колбенсей и лав Исландии принимает участие мантийное вещество обогащенного источника установленного для магм острова Ян-Майен. Тогда, как при образовании обогащенных толеитов хребтов Книповича и Гаккеля основную роль играл обогащенный компонент с повышенными отношениями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и пониженными отношениями $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, что является также типичным для неогеновых магм острова Шпицберген.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЯХ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС» И ДРЕЙФУЮЩИХ БАЗАХ В ПЕРИОД МПГ 2007/08

В. Т. СОКОЛОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: svf@aari.ru

В период МПГ в 2007–2009 гг. на акваториях Арктического бассейна Северного Ледовитого океана (СЛО) и его морей в соответствии с национальной программой участия России в МПГ 2007/08 были выполнены уникальные долговременные (в годичном цикле) комплексные многоплановые программы исследований на научно-исследовательских дрейфующих станциях «Северный полюс-35» и «Северный полюс-36» в центральной части Арктического бассейна, ледовых базах ААНИИ (май–август 2007 г.) и «Барнео» (апрель 2007 и 2008 гг.), выполнены работы летних сезонных отрядов ВАЭ по развитию комплекса наблюдений на дрейфующих станциях.

Их работа осуществлялись в рамках реализации задач, направленных на развитие отечественных исследований и современных технологий в высоких широтах Арктики в целях совершенствования системы гидрометеорологического обеспечения морской деятельности, исследования современного состояния арктической климатической системы в условиях меняющегося климата.

Главными направлениями работ и исследований, выполненных на дрейфующих станциях, является:

- проведение круглогодичных стандартных и специальных метеорологических, ледовых и океанографических наблюдений;
- осуществление комплексного мониторинга современного состояния и загрязнения окружающей среды в районе дрейфа;
- исследование газообмена в системе атмосфера–лед–океан;
- постановка специальных экспериментальных работ, направленных на исследование процессов, определяющих климатические изменения в центральной Арктике и оценку их влияния на природную среду и экосистему арктического региона России.

Основными целями работ являлись:

- продолжение и развитие гидрометеорологического и экологического мониторинга центральной части Арктического бассейна;
- проведение комплекса натурных исследований, необходимых для совершенствования методов гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в арктическом регионе;
- исследование физических процессов, обуславливающих или обусловленных глобальным и региональным изменением климата.

Исследования, проведенные на дрейфующих льдах, продолжили цикл работ, направленных на изучение и освоение высокоширотной Арктики, в особенности, в связи с происходящими климатическими изменениями, необходимостью слежения за экологическим состоянием Арктического бассейна, организации и осуществления мониторинга системы атмосфера – ледяной покров – океан в реальном масштабе времени по всему комплексу метеорологических, ледовых, гидрофизических, геохимических, биологических и других параметров. Результаты таких исследований и мониторинга природной среды являются основой для совершенствования технологии слежения за состоянием СЛО, развития и информационного обеспечения методов прогноза погоды и моделей климата Арктики.

Основной вопрос, который практически всегда возникает при предложениях провести те или иные крупномасштабные натурные исследования в Арктике, формулируется так: «Стоит ли тратить значительные силы и средства на организацию дрейфующих станций и осуществление океанографических съемок покрытых льдом акваторий СЛО?» Ответ может быть только положительным. Климатическое и океанографическое значение этого океана, отличающегося уникальными характеристиками, выходит далеко за пределы его границ. Ледяной покров СЛО обладает термодинамической устойчивостью, сохраняется вот уже несколько миллионов лет, распространяясь временами на Северную Атлантику, и оказывает воздействие на глобальный тепловой баланс и, стало быть, на климатическую систему всего земного шара. В процессе взаимодействия с ледяным покровом и атмосферой образующихся и поступающих извне водных масс, их переноса и трансформации, формируются прямые и обратные термодинамические связи. Они обуславливают колебания климатического режима в Северной полярной области, распространяющиеся затем к югу.

Технология создания и поддержания работ дрейфующих станций «Северный полюс» является уникальной и в настоящее время в мировых научных исследовательских кругах считается российским «НОУ ХАУ».

Значительный интерес к созданию совместной программы исследований с использованием дрейфующих станций продемонстрировали ученые германского института Полярных и морских исследований им. А. Вегенера, в коллективе СП-35 в течение 7 месяцев работал германский специалист.

Существенным отличием программы исследований современных дрейфующих станций от предшествующих является использование современных высокоточных многопараметрических измерительных комплексов, новых технических средств, данных дистанционного зондирования, новых технологий обработки и анализа данных наблюдений.

Основные направления работ включали: стандартную метеорологию; двухразовое в сутки аэрологическое зондирование; морскую гидрологию и гидрохимию; гидрографический (маршрутный) промер; работы в области исследования мониторинг загрязнения (океан, лед, снег, атмосфера); исследования морского льда, исследования газового состава приледной атмосферы, гидросферы и морского льда; геохимические исследования; гидробиологические и криологические исследования; исследование волновых процессов в морском льду; медикобиологические исследования; озонметрические наблюдения в атмосфере (совместный проект ААНИИ – AWI, Германия).

Принятые меры по оснащению станций современными измерительными приборами и комплексами создали предпосылки к получению высококачественной информации. Существенно важным является то обстоятельство, что после длительного перерыва в центральной Арктике велись двухразовое в сутки аэрологическое зондирование. Впервые в практике дрейфующих станций был применен современный эхолот. Профессионально выполнен гидрографический промер. Высокому качеству промера в значительной мере способствуют специфические для дрейфующей льдины относительно стабильные условия работы эхолота. Существенному уточнению подверглись сведения о распределении глубин в зоне материкового склона и юго-западной периферии океанического хребта Гаккеля.

Выводы, полученные учеными ААНИИ из результатов комплексных наблюдений в Северном Ледовитом океане в период 2007–2008 гг., имеют научно-стратегический характер, и могут быть использованы в оценках перспектив развития экономики в Арктике в ближайшие годы.

С возобновлением регулярных работ на дрейфующих станциях в Северном Ледовитом океане мировая система гидрометеорологической информации пополнилась важнейшей научной обсерваторией, продолжающей и развивающей комплекс исследований природной среды высокоширотной Арктики в наши дни.

Имеющаяся в настоящее время информация о состоянии природной среды Арктики подтверждает существование значительных изменений в природном комплексе региона, последствия которых в ближайшие годы могут оказать заметное воздействие на природу, на социально-экономическую деятельность населения планеты.

PROPAGATION OF ATLANTIC WATER ALONG THE EURASIAN CONTINENTAL SLOPE CAPTURED BY QUASI-SYNCHRONOUS MEASUREMENTS

V.V.IVANOV¹, I.M.ASHIK, ¹, S.A.KIRILLOV¹, I.V.POLYAKOV², L.A.TIMOKHOV¹

¹ – ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: vladimir.ivanov@aari.nw.ru, ashik@aari.nw.ru, ltim@aari.nw.ru

² – International Arctic Research Center, Fairbanks, USA. e-mail: igor@iarc.uaf.edu

Intensive field campaigns during the IPY (2007–2009) allowed unprecedented coverage of Eurasian continental slope by CTD measurements. These data allowed detailed mapping of the warm Atlantic water on its way from Fram Strait to the East Siberian Sea. Fourteen cross-slope sections, carried out by Russian, US and German scientists in August-September 2007 were used to determine position and properties of the warm Atlantic water core. Temperature and salinity data were examined against traditional concept of warm intermediate layer in the Arctic Ocean and in the view of recently introduced new ideas (e.g. seasonal oscillations in AW layer far from Fram Strait). Joined analysis of CTD data with long-term mooring observations demonstrated complex nature of warming-cooling pulses, which enter Arctic Ocean through Fram Strait and effect thermal conditions in the Eurasian sector of the Arctic Ocean. The sign and the rate of along-slope variation of Atlantic Water properties depend on geographical location and do not fit well with simplified theoretical concepts. This finding may be attributed to spatial and temporal variation of advection and local mixing (vertical and lateral) – major agents of Atlantic Water transformation

THE ATLANTIC DERIVED HALOCLINE WATERS OVER THE SIBERIAN CONTINENTAL MARGIN

*I.A.DMITRENKO¹, V.V.IVANOV², S.A.KIRILLOV², E.L.VINOGRADOVA³, R.A.WOODGATE⁴,
S.TORRES-VALDES⁵*

¹ – *Leibniz Institute of Marine Sciences, University of Kiel, Kiel, Germany. e-mail: idmitrenko@ifm-geomar*

² – *SSC RF Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia*

³ – *P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Moscow, Russia*

⁴ – *Polar Science Center, Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle, Washington, USA*

⁵ – *National Oceanography Centre, Southampton, UK*

The cross-slope transect carried out in August–October 2002–2009 across the Laptev Sea continental margin following $\sim 126^\circ\text{E}$ indicate distinct branching of the cold halocline layer (CHL). At stations nearer to the shelf (those shallower than 2000 m), the CHL in the mean is warmer and saltier by $0,38\pm 0,17^\circ\text{C}$ and $0,15\pm 0,21$ psu, respectively, comparing with off-slope CHL. The on-slope Atlantic water (AW) layer demonstrates opposite patterns. This result suggests that the heat and salt lost from the AW are gained by the overlying CHL explicitly over the continental slope area, implying the role of the enhanced vertical mixing over the sloping topography and resulting in the difference between the on- and off-slope CHL properties. Our estimations show that about 1/3 of the AW heat loss between the St. Anna Trough and central Laptev Sea may be attributed to enhanced mixing over the continental slope. The chemical tracers (dissolved oxygen and nutrients) are consistent with local modification of the CHL by the enhanced vertical mixing.

МЕЗОМАСШТАБНЫЕ АНОМАЛИИ СОЛЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА (ПО МАТЕРИАЛАМ НАБЛЮДЕНИЙ СП И БУЕВ ИТР)

А.В. ПОПОВ¹, И.Д. КАРЕЛИН¹, А.В. РУБЧЕНЯ²

¹ – ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: a_porov@aari.nw.ru

² – Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

В последние годы в Арктике начали применять новые технологии наблюдения за термохалинной структурой вод. Анализ результатов этих наблюдений позволил получить качественно новую картину термохалинной структуры поверхностных вод. В докладе представлены результаты обработки данных наблюдений, выполненных в период с 2004 по 2009 г. на дрейфующих станциях СП-33, СП-34 и СП-36, и данных профилографа на автономных буях ИТР-24, ИТР-25, ИТР-26 и ИТР-27 (<http://www.who.edu/itp>). Анализ пространственно-временной изменчивости солёности вод поверхностной структурной зоны выявил наличие во всех исследуемых рядах периодов, когда отмечалось как резкое падение солёности, так и не менее резкое возрастание солёности. Величина распреснения составила от 0,24 до 2,62 psu. Области распреснения представляют собой изолированные подповерхностные параболические линзы, пространственный и временной масштаб которых соответствует мезомасштабным образованиям. Все выделенные аномалии наблюдались в холодный период года, поэтому нельзя связывать их с процессами распреснения при таянии льда в области наблюдений. Единственным объяснением появления изолированных областей распреснения поверхностных вод в холодный период года может быть адвекция этих вод из других районов СЛО. Сохранение в течение длительного времени изолированного объема вод с пониженной солёностью возможно лишь при появлении антициклонической вихревой структуры.

Как следует из анализа литературы, такого рода образования наблюдаются в Арктическом бассейне впервые. Тот факт, что подобные образования ранее не наблюдались, может быть связан с одной стороны, с климатическими условиями последних лет – в летний период граница дрейфующих льдов отодвинута далеко на север. С другой стороны, появление новых технологий наблюдений обеспечило дискретность наблюдений, соответствующую данному феномену. Получены оценки времени жизни и оценки предельных размеров антициклонического осесимметричного вихря, связанного с аномалией солёности.

В докладе показано, что одповерхностные линзы пресных вод, обладающие собственной вихревой динамикой, способны оказывать влияние на дрейф наблюдательских платформ и формируют петли в траекториях движения этих платформ. Рассмотрено формирование петли в траектории дрейфа СП-36.

В холодный сезон 2008/09 гг. пресноводные аномалии отмечались значительно чаще, чем в холодные сезоны 2004–2006 гг. Кроме того, можно отметить существенные изменения фоновой солёности – распреснение поверхностных вод в приполюсном районе составило 1,14–1,31 psu.

В работе автора, опубликованной в первом номере журнала «Лед и снег», предложена гипотеза, согласно которой заприпайные полыньи генерируют значимые аномалии солёности поверхностных вод СЛО. Для обоснования этой гипотезы была разработана феноменологическая схема и одномерная балансовая модель, соответствующая указанной схеме.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ TS-СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2007–2008 ГГ.

Е.А. ЧЕРНЯВСКАЯ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: cherni_ka@mail.ru

За время МПГ 2007/08 в СЛО были проведены масштабные полевые исследования и собран большой массив океанографических данных, что позволило получить достаточно полное представление о состоянии поверхностного слоя в этот период.

Анализ состояния поверхностного слоя для лета 2007 и 2008 гг. осуществлялся по данным STD-наблюдений, полученным в ходе экспедиций «Арктика-2007», «АВЛАП/НАБОС-2007», «БАРКАЛАВ-2007/ ТРАНСДРИФТ-ХII», «Арктика-2008», «БАРКАЛАВ-2008/ТРАНСДРИФТ-ХIV» в августе–сентябре 2007 и 2008 гг., а также по данным ИТР-буев. Для описания состояния поверхностного слоя использовались характеристики: тип вертикальных профилей, толщина слоя и средние значения температуры и солёности. Поскольку в Арктическом бассейне изменчивость плотности воды определяется в значительной степени изменчивостью солёности, то вместо вертикального профиля плотности для анализа использовался профиль солёности. Дополнительно рассчитывались частоты Вьяйсяля-Брента и глубина залегания максимального градиента солёности воды. Для того, чтобы составить представление не только о верхнем перемешанном слое, но и его подложке – верхнем халоклине, анализировался слой толщиной от поверхности до 50 м.

Были построены карты пространственного распределения этих характеристик и произведен их сравнительный анализ. Было установлено, что летом 2007 г. термохалинные характеристики поверхностного слоя Арктического бассейна (АБ) были таковы, что его состояние можно было назвать аномальным. Территории арктических морей были полностью свободны ото льда. Температура поверхности воды в некоторых районах достигала +5 °С. Поверхностный слой был сильно распреснен и внутри него отмечалась довольно высокая устойчивость. Значения частот Вьяйсяля-Брента достигали 0,11–0,14 с⁻¹.

Летом 2008 г. аномалии были несколько меньше, но температура воды поверхностного слоя все еще была значительно выше нормы и также наблюдалось распреснение поверхностного слоя на большей части АБ, но устойчивость вод поверхностного слоя ослабла, что способствовало развитию конвекции и увеличению толщины перемешанного слоя.

Анализ вертикального распределения температуры и солёности в верхнем 50-метровом слое позволил выделить три преобладающих типа профилей для летнего периода и построить карты районов их распространения в АБ в 2007 и 2008 гг.

Феномен лета 2007 г. ставит ряд задач, прежде всего, продолжения мониторинга дальнейшей эволюции термохалинных полей в АБ и исследование влияния летнего состояния океана на развитие последующих зимних океанологических и метеорологических процессов.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ И ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ГРАНИЦЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (СОВМЕСТНЫЙ РОССИЙСКО-НОРВЕЖСКИЙ ПРОЕКТ VIAC)

А.Г.ТРОФИМОВ¹, О.В.ТИТОВ¹, А.Л.КАРСАКОВ¹, Х.ЛООНГ², Р.ИНГВАЛЬДСЕН², В.ЛЬЕН²

¹ – Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М.Книповича (ПИНРО), г. Мурманск, Россия. e-mail: trofimov@pinro.ru

² – Institute of Marine Research (IMR), Bergen, Norway

Изучение термохалинной структуры и циркуляции вод в районе пролива между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа, направленное на исследование водообмена Баренцева моря с Арктическим бассейном, имеет важное значение для прогресса в научном обеспечении рациональной эксплуатации биоресурсов Баренцева моря и расширения научного сотрудничества России и Норвегии в области промыслово-океанографических исследований.

В 2007–2008 гг. ПИНРО совместно с Институтом морских исследований (Берген, Норвегия) выполнял в рамках проекта VIAC – Bipolar Atlantic Thermohaline Circulation (по программе Международного полярного года 2007/08) морские научные исследования по изучению водообмена Баренцева моря с Арктическим бассейном, которые продолжили исследования, начатые в 1991–1992 гг. Их основная цель – получение данных о термохалинной структуре и циркуляции вод в районе пролива между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа для изучения водообмена Баренцева моря с Арктическим бассейном, в том числе для оценки объемного переноса плотных донных вод из Баренцева моря в Арктический бассейн, его сезонных и межгодовых изменений и их влияния на короткопериодные изменения климата в регионе.

Натурные исследования представляли собой комплекс наблюдений за направлением и скоростью течений, осуществляемых с помощью автоматических измерителей, а также за распределением температуры и солёности воды в районе пролива между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа. В сентябре 2007 г. в соответствии с «Программой совместных морских научных исследований Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М.Книповича (Мурманск, Россия) и Института морских исследований (Берген, Норвегия) по изучению водообмена Баренцева моря с Арктическим бассейном» и на основании Разрешения Федерального агентства по науке и инновациям № 108 от 22 августа 2007 г. в проливе между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа были установлены сроком на один год пять автономных буйковых станций с измерителями течений и выполнен океанографический разрез (26 станций). Места установки буйковых станций были выбраны таким образом, чтобы проследить направление и скорость основных потоков в проливе, а также с учетом результатов эксперимента 1991–1992 гг. В сентябре 2008 г. были успешно подняты установленные в 2007 г. буйковые станции и выполнена океанографическая съемка (86 станций) в северо-восточной части Баренцева моря. В состав каждой буйковой станции входили измерители течений (от двух до трех регистраторов течений RCM-7 и один акустический доплеровский профилограф течений ADCP Continental 190 кГц), акустический размыкатель OCEANO 2500 Universal и передатчик SMM-500 системы ARGOS. Всего было установлено одиннадцать регистраторов течения RCM-7 и два акустических доплеровских профилографа течений ADCP Continental 190 кГц.

Выполнен обзор результатов наблюдений за течениями и термохалинной структурой вод северо-восточной части Баренцева моря, проводившихся в период с сентября 1991 г. по сентябрь 1992 г. За период наблюдений 1991–1992 гг. не отмечалось какого-либо значительного оттока плотных донных вод из Баренцева моря. Океанографические условия сентября 1991 и сентября 1992 гг. отличались незначительно. Результаты, полученные с помощью измерителей течений, свидетельствуют о том, что наибольшая изменчивость имела место в течение периода выхода из зимы, в начале зимы. На некоторых буйковых станциях течения были очень устойчивыми, и в нескольких местах устойчивость течений превышала 90 %. Результирующий объемный перенос воды был направлен из Баренцева моря. Расход воды изменялся от 0,8 до 3,1 Св с максимумом в конце осени – начале зимы. Это подтвердило гипотезу о том, что в Баренцевом море пролив между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа является районом основного оттока воды. Остаточные течения в районе исследований были довольно сильные. Основной движущей силой, по-видимому, является поле плотности. Тогда как приливная составляющая была гораздо слабее, чем в других частях Баренцева моря.

В результате исследований 2007–2008 гг. были получены 13 уникальных годовых серий, отражающих изменения скорости и направления течений, температуры и солёности воды в проливе между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа. В северо-восточной части Баренцева моря выявлена сложная термохалинная структура взаимодействующих вод арктического и атлантического

ского происхождения. Характерными особенностями вертикального распределения температуры воды явились наличие подповерхностного минимума температуры в слое 50–100 м в северной части акватории исследований и ядра теплых вод в слое 75–150 м в районе желоба Святой Анны. Практически на всей акватории исследований в слое 30–50 м отмечались значительные вертикальные градиенты температуры и солености воды. Отмечено, что в сентябре 2008 г. теплые атлантические трансформированные воды были холоднее, а холодные арктические, наоборот, — теплее, чем в аналогичный период 2007 г. Воды верхнего 20-метрового слоя на северной половине разреза, вдоль которого устанавливались буйковые станции, в сентябре 2008 г. оказались значительно более солеными (разница солености достигала 3,0), чем в сентябре 2007 г. Анализ данных измерителей течений за 2007–2008 гг. не выполнялся, так как они до сих пор проходят предусмотренную Разрешением Федерального агентства по науке и инновациям экспертизу в соответствующих организациях, и ПИПРО доступа к этим данным не имеет.

Результаты исследований в дальнейшем предполагается использовать для изучения водообмена Баренцева моря с Арктическим бассейном, в том числе для оценки объемного переноса плотных донных вод из Баренцева моря в Арктический бассейн, его сезонных и межгодовых изменений и их влияния на короткопериодные изменения климата в регионе.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА И АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОГО ПОЛЯРНОГО ГОДА 2007/08

Е.П.БОНДАРЕВА¹, О.А.МОРОЗОВА¹, А.П.НЕДАШКОВСКИЙ²

¹— ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: lena_kirillova@mail.ru, mozolya@mail.ru

²— Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: nedal@poi.dvo.ru

В рамках Международного полярного года 2007/08 были проведены комплексные экспедиционные исследования в Северном Ледовитом океане в августе 2007 г. — сентябре 2008 г. на борту НЭС «Академик Федоров». В результате гидрохимических исследований были получены современные данные о распределении гидрохимических характеристик в районах материкового склона Арктического бассейна и арктических морей, что позволило исследовать процессы взаимодействия и трансформации водных масс в исследуемых районах.

Гидрохимические исследования в районе материкового склона к северо-востоку от архипелага Северная Земля наглядно показали, что в данном районе наблюдается процесс каскадинга. В районе материкового шельфа образуется сильно охлажденная водная масса, которая имеет максимальную плотность воды для данного района. Холодная плотная водная масса опускается с материкового склона в глубоководные слои воды, таким образом, осуществляя вентиляцию промежуточного слоя воды. В промежуточном слое воды на глубине 500–1200 м наблюдается повышенное содержание растворенного кислорода и относительно низкое содержание биогенных элементов (фосфатов и силикатов). Абсолютное содержание кислорода на глубине проникновения вод каскадинга составляет 7,10–7,65 мл/л, относительное содержание кислорода — 90–95 %, содержание фосфатов — 0,70–0,85 мкмоль/л, содержание силикатов — 4,10–8,05 мкмоль/л. Распределения гидрохимических характеристик в данном районе, наблюдаемые в 2007 и 2008 гг., хорошо согласуются между собой.

Теплые воды атлантического происхождения поступают в Арктический бассейн через пролив Фрама, в Карское море по желобу Св. Анны — на западе и желобу Воронина — на востоке, в море Лаптевых — по глубоководной впадине, вдоль восточных берегов Северной Земли. Атлантические воды, поступающие в желоба Карского моря, испытывают незначительную трансформацию — содержание растворенного кислорода здесь слегка понижено и составляет 92–93 %. По

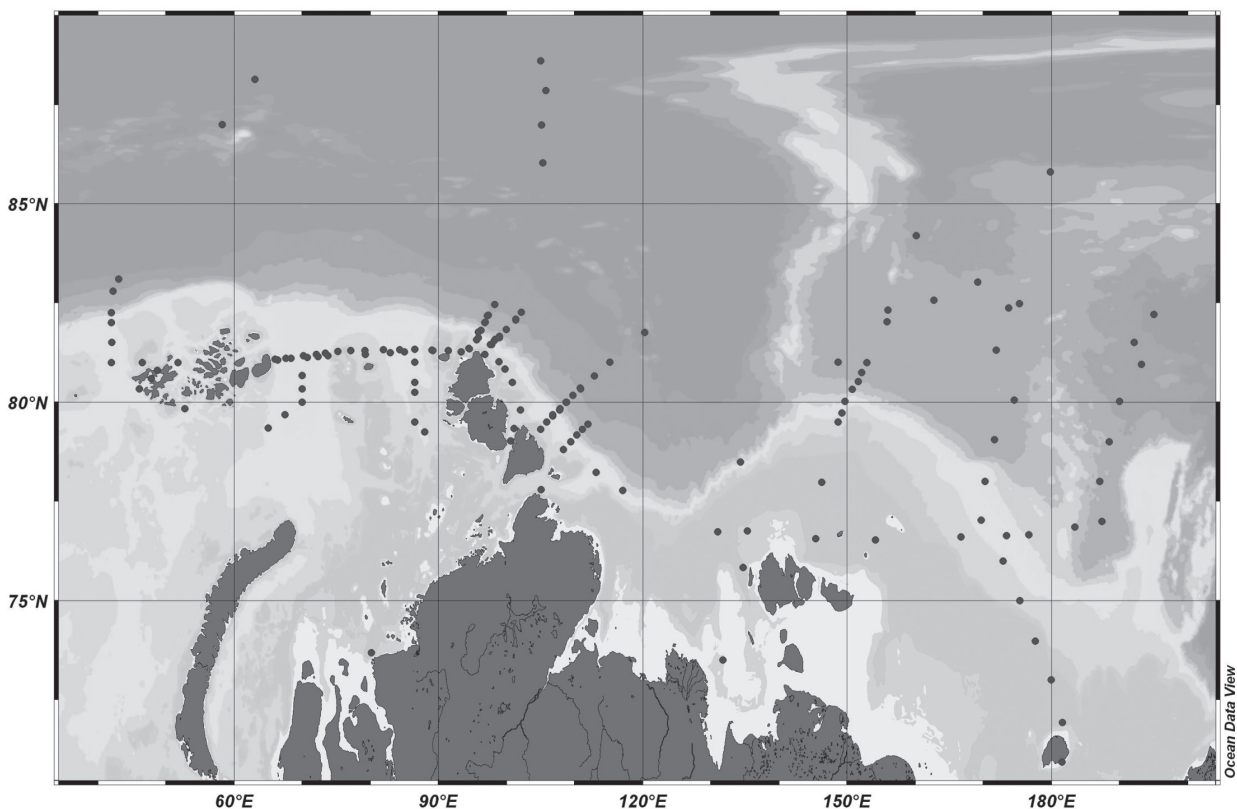


Рис. Схема океанологических станций, на которых выполнялись гидрохимические наблюдения в августе–сентябре 2007/2008 гг. на борту НЭС «Академик Федоров».

данным экспедиции в сентябре 2008 г. величина растворенного кислорода в ядре атлантических вод в желобе Св. Анны составляла 7,22 мл/л, что несколько выше, чем в 2007 г., концентрация силикатов – около 4 мкмоль/л, по данным 2007 г. и предыдущих лет содержание кремния в ядре атлантических вод составляло 5–6 мкмоль/л, концентрация фосфатов по данным 2007/08 гг. – около 0,8 мкмоль/л. Ядро атлантической водной массы в желобе Воронина находится примерно на глубине 100 м, содержание растворенного кислорода здесь – 7,25 мл/л (92–93 %), кремния – 4,6 мкмоль/л, фосфатов – 0,74 мкмоль/л.

К северу-востоку от архипелага Северная Земля насыщенность трансформированных атлантических вод кислородом несколько меньше, чем в Карском море и составляет – 90–93 %, содержание биогенных элементов мало, чем отличается, от содержания биогенов в глубоководных желобах Карского моря – концентрация кремния – 4,3–5,9 мкмоль/л, концентрация фосфатов – 0,75 – 0,87 мкмоль/л.

Воды атлантического происхождения в Арктическом бассейне подвергаются наибольшей трансформации (район севернее 85° с.ш.). Насыщенность кислородом в ядре атлантических водных масс составляет 68–89 %, содержание силикатов – 5–6 мкмоль/л, фосфатов – 0,8–0,95 мкмоль/л.

На глубоководных океанологических станциях, расположенных в Арктическом бассейне западнее хребта Ломоносова, наблюдаются схожие черты вертикальной изменчивости гидрохимических параметров. В поверхностном слое с ростом глубины происходит резкое возрастание концентрации фосфатов, силикатов, и резкое падение растворенного кислорода. Та же тенденция для фосфатов и силикатов наблюдается в промежуточном слое, но со значительно меньшими градиентами. Причем в части промежуточного слоя, соответствующей ядру атлантической водной массы, градиенты величины концентрации фосфатов и силикатов минимальны. В глубинном слое воды концентрация фосфатов в пределах точности измерений практически не меняется, а концентрация силикатов медленно возрастает. Содержание кислорода быстро убывает от поверхности до горизонта, соответствующего ядру теплого промежуточного слоя. Далее с глубиной, приблизительно до 700–1000 м, как правило, наблюдается небольшой рост содержания растворенного кислорода. Затем концентрация кислорода слабо уменьшается до глубин 2000–2500 м, и остается примерно постоянной до дна.

На станциях, расположенных в СЛО восточнее хребта Ломоносова, в поверхностном слое на глубине 75–100 м наблюдается существенный максимум силикатов и фосфатов. Причина возникновения максимума – проникновение тихоокеанских вод, богатых биогенными элементами. Ядро тихоокеанских вод, определяемое по максимуму силикатов, отчетливо прослеживается в интервале глубин 75–100 и 100–150 м. Концентрации силикатов в ядре тихоокеанских вод превышали 50 мкмоль/л в 2007 г, а в 2008 г. достигали 75 мкмоль/л, содержание кислорода было ниже 4 мл/л. Наибольшая концентрация силикатов и наименьшее содержание кислорода наблюдалось в интервале глубин 75–100 м. Необходимо отметить, что содержание силикатов в 2008 г. оказалось выше климатической нормы, которая составляла около 40 мкмоль/л, а кислорода, соответственно, было ниже нормы, которая была на уровне 5–6 мл/л. Следует также подчеркнуть, что верхняя нулевая изотерма в 2008 г. находилась примерно на горизонте 200 м, а температура на склоне шельфа превышала 0,75 °С. Согласно климатической норме нулевая изотерма находилась на горизонте ~250 м, а температура на склоне была на уровне 0,5 °С.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ ВО ВРЕМЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА НЭС «АКАДЕМИК ФЕДОРОВ» В 2007–2008 ГГ.

В.В.САПОЖНИКОВ, И.А.ГАНГУС, О.Н.ЛУКЬЯНОВА, В.Л.ЗУБАРЕВИЧ

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, Россия. e-mail: marecol@vniro.ru

Участие сотрудников лаборатории морской экологии ВНИРО в двух рейсах НЭС «Академик Федоров» в 2007 и 2008 гг. в Арктике позволило выполнить полный комплекс гидрохимических определений (Si , $\text{P}_{\text{мин.}}$, $\text{P}_{\text{орг.}}$, $\text{P}_{\text{вал.}}$, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , $\text{N}_{\text{орг.}}$, $\text{N}_{\text{вал.}}$). Причем органические формы фосфора и азота определялись впервые. Выполненные определения всех форм фосфора и азота позволили получить полное представление об изменениях азота и фосфора в продукционно-деструкционном цикле экосистем Северного Ледовитого океана (СЛО).

Прежде всего надо отметить, что малое количество льда позволило работать над свалом глубин, т.е. над северной границей морей России и доходить до $83\text{--}86^\circ$ с.ш. Раньше такой возможности не было. Более того, отбор проб с поверхности в 2007 г. показал, что существуют распресненные линзы: с соленостью от $3,59\text{‰}$ до $11,72\text{‰}$ в море Лаптевых и в СЛО в 2007 г. Распресненные линзы очень мелководны с глубиной не более 1 м. На поверхностном горизонте STD-зонда, который обычно бывает на глубине 1–1,5 м (чтобы погрузить весь зонд) эти линзы уже практически не наблюдаются. По отсутствию повышения концентрации кремния в этих распресненных линзах доказано, что это не трансформированные речные воды. В связи с начавшимся похолоданием можно считать, что мы захватили уникальную возможность исследования распределения гидрохимических параметров в Арктике в период потепления.

В 2008 г. были выполнены гидрохимические исследования на 62 станциях в 28-м рейсе НЭС «Академик Федоров» (17 августа – 23 сентября). Основные гидрохимические параметры: фосфаты ($\text{P}_{\text{мин.}}$), нитриты (NO_2^-), нитраты (NO_3^-) и кремний (Si) определялись на проточном гидрохимическом анализаторе «Brun Luebbe» (США). Определение валовых форм азота и фосфора выполнялось на судне.

Интересно отметить, что для фотического слоя всего исследованного района Арктики в этот период были характерны довольно высокие концентрации минерального фосфора ($0,6\text{--}1,0\text{ }\mu\text{M}$) при минимальных концентрациях нитратов (местами до аналитического нуля). Таким образом, основным лимитирующим элементом был азот, несмотря на относительно высокие содержания аммонийного азота. Азот в фотическом слое был представлен главным образом в виде органических соединений, максимум концентраций которых доходил до $18\text{ }\mu\text{M}$. Наличие минеральных форм фосфора в довольно больших концентрациях вполне обеспечивало все потребности фитопланктона, и, таким образом, не возбуждалась активность ферментов щелочной фосфатазы, которая была близка к нулю.

Как показали исследования плавучего мелкого льда, кернов льда и воды из снежниц, там были обнаружены в несколько раз большие концентрации органических соединений азота и фосфора, чем в окружающих водах СЛО.

Большая переслоенность вод разного генезиса в Арктическом бассейне, связанная с процессами обмена с Атлантическим и Тихим океанами, была хорошо прослежена по гидрохимическим показателям. Например, на востоке и северо-востоке от о. Врангеля удалось выделить в слое 50–150 м тихоокеанские воды по повышенным концентрациям фосфатов, нитратов и кремния, которые проникают в СЛО через Берингов пролив и распространяются в Чукотском море в сторону о. Врангеля. Обычно этот поток в последние годы также выделяется по повышенным концентрациям хлорофилла и зоопланктона. Показано также, что максимум нитритов (до $0,37\text{ }\mu\text{M}$) в слое 30 – 100 м на разрезе Северная Земля – Земля Франца Иосифа совпал с максимумом температуры в этом слое (что является показателем трансформированных атлантических вод), но при этом по нитратам, фосфатам и кремнию эти воды не выделялись. Все эти исследования оказались возможны только в результате практически полного отсутствия сплоченного льда на всей исследованной акватории.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОБСКОЙ ГУБЫ

И.А. ГАНГУС, О.Н. ЛУКЬЯНОВА, Н.В. АРЖАНОВА

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, Россия. e-mail: biochem@vniro.ru

В 2006–2007 гг. ФГУП «ВНИРО» были проведены комплексные гидролого-гидрохимические исследования южной и средней частей Обской губы. Работы проводились по заказу ООО «Газ-флот» в рамках программы по оценке фонового состояния и рыбохозяйственного значения экосистемы Обской губы. Целью исследования являлось комплексная оценка состояния водной экосистемы. Исследования включали в себя изучение пространственного распределения минеральных и органических форм азота и фосфора, содержания кислорода, концентрации кремния и железа, а также их сезонной изменчивости.

Отличительной особенностью исследуемых вод оказалось относительно высокое содержание минерального фосфора (не менее 1 μM), кремния (не менее 40 μM) и железа (не менее 10 μM) при очень низкой концентрации минерального азота (менее 1 μM).

Пространственное распределение биогенных элементов характеризовалось постепенным уменьшением их содержания с юга на север. Это обусловлено тем, что речные воды, поступающие с юга, отличаются повышенным содержанием биогенных элементов. При этом зона их максимальных концентраций была приурочена к восточному берегу.

Летом температура воды в среднем составляла 11,5 °С, в некоторых районах достигая 13 °С, в зимний период она была близка к точке замерзания и испытывала небольшой рост ко дну.

Режим растворенного кислорода в Обской губе обусловлен преимущественно изменением температуры воды и интенсивностью продукционно-деструкционных процессов. В летний период, когда преобладают продукционные процессы, насыщение воды кислородом составляло в среднем 95–97 % (6,75–7,78 мл/л). С наступлением зимы содержание растворенного кислорода постепенно уменьшалось. Весной продолжалось снижение концентрации кислорода до 4 мл/л в первой половине мая и до 0,3 мл/л к началу июня. Дефицит кислорода был наиболее выражен в южных районах Обской губы. В конце июня – начале июля освобождение от льда и активное цветение водорослей привели к быстрому росту содержания растворенного кислорода.

В результате проведенных исследований в Обской губе выявлены сезонные изменения содержания биогенных элементов. Содержание кремния в летний период, когда идет его потребление фитопланктоном, было наименьшим (~40 μM). Осенью-зимой при отмирании диатомовых водорослей происходило увеличение концентрации кремния до 103 μM , достигая наибольших значений в конце мая в предвегетационный период (160 μM).

Валовое количество азота и фосфора в течение года практически не менялось. При этом преобладание органических или минеральных форм определялось соотношением продукционно-деструкционных процессов. В холодный период резко сокращалось содержание органических форм азота и фосфора и почти во столько же раз возрастала доля их минеральных форм. Активизация продукционных процессов в весенне-летний период приводила к резкому уменьшению количества минеральных форм этих биогенных элементов.

Соотношение различных минеральных форм азота также имело сезонную динамику. В летний сезон из-за интенсивного потребления нитратов фитопланктоном минеральный азот был представлен, главным образом, аммонийной формой. В среднем, его содержание в воде на исследуемой акватории летом составило около 0,8 μM . В течение зимы при отсутствии фотосинтеза в результате процесса нитрификации возрастало количество нитратного азота, и в мае на его долю приходилось уже более 95 % (до 32 μM).

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ПОВЕРХНОСТНОГО ОПРЕСНЕННОГО СЛОЯ В КАРСКОМ МОРЕ

А.Г.ЗАЦЕПИН¹, П.О.ЗАВЬЯЛОВ¹, В.В.КРЕМЕНЕЦКИЙ¹, С.Г.ПОЯРКОВ¹, Д.М.СОЛОВЬЕВ²

¹ – Институт океанологии им. П.П.Ширинова РАН, г. Москва, Россия. e-mail: zatsepin@ocean.ru

² – Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь, Украина

Важнейшим фактором гидрологического режима Карского моря является речной сток. В Карское море впадают две крупнейшие реки Сибири – Обь и Енисей, а также более мелкие реки. При этом водосборная площадь Оби и Енисея равна 5 500 000 км², что составляет 3,7 % площади земной суши. Карское море принимает более половины речного стока Сибирской Арктики и более трети всего речного стока в Арктику. Ежегодный сток речной воды в Карское море составляет около 1100–1300 км³, из них Обь выносит 400–450 км³/год, а Енисей – 600–630 км³/год.

Речной сток имеет существенную сезонную изменчивость. Около 80 % стока приходится на теплый период года, причем его пик наблюдается в июне. Имеет место также межгодовая изменчивость стока в зависимости от обилия осадков на площади водосбора. Благодаря его огромной площади суммарный годовой речной сток подвержен меньшим вариациям, чем годовой сток отдельных рек.

Речные воды распространяются в верхнем слое моря толщиной порядка 5–15 м. По имеющимся оценкам до 40 % площади Карского моря может быть занято опресненными водами. Дальность проникновения речных вод в море и конфигурация слоя опресненных вод изменяются от месяца к месяцу и год от года. В зависимости от объема речного стока и, главным образом, ветровых условий наблюдаются три типа распространения опресненной вод: “западный”, «центральный» (или «веерный») и «восточный». При западном типе распространения опресненные воды достигают восточного берега Новой Земли. Центральный тип распространения характеризуется проникновением опресненных вод далеко на север. При восточном типе распространения речные воды прижимаются к берегу и в виде пограничного течения переносятся к Северной Земле и далее – в море Лаптевых.

В докладе внимание уделяется описанию пространственного распространения и основных характеристик (температуры, солёности, плотности, толщины, площади, объема) вод поверхностного опресненного слоя (ПОС) в юго-западной части Карского моря в сентябре–октябре 2007 г. по данным измерений в 54 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». Обсуждаются механизмы образования, временной эволюции и ветрового переноса вод ПОС, а также его возможное влияние на гидрологию Карского моря.

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы.

1. В юго-западной части Карского моря обнаружена и обследована область опреснения поверхностных вод площадью около 40 тыс. км² с солёностью воды менее 25 psu. На краю этой области у побережья Новой Земли солёность была понижена до значений менее 16 psu. Толщина слоя опреснения составляла около 10 м. Химический анализ соотношения содержания растворенного кремния, щёлочности и солёности показал, что основной вклад в опреснение вод моря принадлежит Енисею. Наиболее опресненная область у побережья Новой Земли представляла собой квазиизолированную линзу, отъединенную от устьев Оби и Енисея областью более солёных вод.

2. Установлено, что формирование ПОС происходит, главным образом в июне, когда суммарный паводок Оби и Енисея максимален. При этом область взаимодействия речных и морских вод является существенно более обширной, чем в сентябре, и смещенной на расстояние до 100–150 км от устьев рек на морской шельф.

3. Поскольку июньский паводок Енисея более чем в два раза превосходит паводок Оби, ПОС, обнаруженный севернее 74° с.ш. и, в частности, опресненная квазиизолированная линза у восточного берега Новой Земли, содержали значительно больше Енисейской воды, нежели Обской. Определенный вклад (дополнительное понижение солёности на 2–5 psu) в формирование квазиизолированной линзы опресненных вод могло вносить таяние Новоземельского ледяного массива.

4. Анализ последовательных спутниковых изображений Обско-Енисейского взморья в период паводка (конец июня – начало июля) выявил наличие вихрей с горизонтальным масштабом 10 км и более. Выполненные оценки и результаты лабораторного моделирования показали, что несмотря на интенсивный горизонтальный вихревой обмен, способствующий перемешиванию вод, опресненных стоками Оби и Енисея, за летний период ПОС не успевает достичь гомогенного состояния, что и наблюдается в действительности.

5. В описываемый период господствовал западный тип распространения вод ПОС, который был обусловлен преобладанием ветров северных румбов на протяжении двух с половиной меся-

цев — с начала июня до середины августа. Ветровое воздействие обеспечивало дрейфовый перенос опресненных вод от устьевых взморья Оби и Енисея до восточного берега Новой Земли. Оценка скорости экмановского переноса опресненных вод на запад, с учетом увеличения коэффициента сопротивления морской поверхности в 2–4 раза по сравнению с открытой водой за счет плавающего льда большой концентрации, дает значения, сопоставимые с наблюдаемыми.

6. Дальность распространения опресненных вод в западном направлении, а также степень их опреснения в сентябре 2007 г. превышают климатическую норму. Однако, в сентябре 1997 г. и 1999 г. опреснение вод на акватории к северу от дельт Оби и Енисея и у восточного берега Новой Земли было еще большим. Более значительное, чем в 2007 г., опреснение вод поверхностного слоя в западной части Карского моря имело место и в сентябре 1993 г., когда у восточного берега Новой Земли наблюдалась линза опресненных вод с соленостью <10 psu в ее ядре. Таким образом, степень опреснения морских вод и область, занимаемая ПОС в Карском море, в 2007 г. не были экстремальными.

7. Длительное существование ПОС, его слабую реакцию на интенсивные ветровые воздействия (со скоростью ветра более 14 м/с и продолжительностью более суток) не удается описать с использованием закономерностей турбулентного вовлечения морской воды в ПОС, полученных путем лабораторного моделирования этого процесса в невращающейся жидкости. При сильном ветре ($U_a > 14$ м/с) эти закономерности предопределяют практическое исчезновение опресненного слоя за время меньшее, чем одни сутки, в результате его быстрого заглубления и осолонения.

8. Фронтальная зона течений желоба Св. Анны и Восточно-Новоземельского ограничивает проникновение на север поверхностных опресненных вод, образованных под влиянием речного стока Оби и Енисея. Согласно законам гидродинамики обширная линза более пресных вод, наблюдающаяся на устьевом взморье Оби и Енисея и к западу от него, должна формировать антициклоническую циркуляцию на этой акватории, в особенности, на ее периферии в зоне фронтальных границ. Во вторую половину лета именно антициклонический характер течений должен поддерживать распространение опресненных речным стоком вод от Обь-Енисейского взморья на запад к берегам Новой Земли и может способствовать отрыву Восточно-Новоземельского течения от берега, увеличивая его приповерхностную скорость за счет фронтальных градиентов солености (плотности и давления). Таким образом, совпадение границ области распространения опресненных вод и фронтальной зоны текущего на восток Восточно-Новоземельского течения не является случайным и дает синергетический вклад в циркуляцию вод.

Работа выполнена при поддержке Программы РАН №20 и гранта РФФИ 09-05-13574.

MODEL SIMULATION OF THE FRESH WATER CONTENT CLIMATIC EVOLUTION IN THE ARCTIC OCEAN

N.A.DIANSKY, A.V.BAGNO, A.V.GUSEV, S.N.MOSHONKIN

Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science, Moscow, Russia. e-mail: dinar@inm.ras.ru

Velocity, temperature and salinity fields for 1958–2006 years have been reproduced in numerical experiments with Institute of Numerical Mathematics Ocean Model (INMOM) realized for North Atlantic and Arctic Ocean (AO) basin with $0,25^\circ$ spatial resolution and 27 sigma levels. Realistic CORE atmospheric forcing provided by GFDL (6hr for turbulent and 24hr for radiative fluxes) is used. Fresh water content from the surface to the depth of 34,8 psu in the AO is investigated. Spatial distribution of the fresh water layer thickness (FWLT) in model experiment is adequate to observed one. Absolute maximum of FWLT is located in the Beaufort Gyre (BG). The stable connection between FWLT evolution and BG circulation vorticity one is found. There are three periods of the relatively increased values of FWLT and current vorticity in the BG (1960s, 1980s and 2000s years). Long period trends of the growth the FWLT and current vorticity in the BG are seen from 1976 to our days. These trends coincide with the stable trend of the AO sea ice area decrease according to NSIDC (National Snow and Ice Data Center) data. Current vorticity outstrips the FWLT evolution for 1,75 year. There exists a stable interaction of climatic factors, when ocean circulation intensification is connected with growth of Atlantic warm waters inflow into the AO and the gain of the anti-cyclonic current vorticity in the BG. This is followed by the sea ice melting and total sea ice area decrease in the AO as well as the increase of fresh water amount and its dynamical accumulation in the BG. Atlantic waters mass transports (AWMT) by West-Spitsbergen (north branch of the Atlantic waters inflow) and Nord Cap (east branch) currents were calculated. 49 years mean AWMT by north branch is 6,30 Sv and by east branch is 3,00 Sv. Temporal oscillations of these two branches investigate. Essential quasi linear trend of the AWMT growth from 1960s to our days reveal for the north branch. Decadal time scales connections between North Atlantic Oscillation, AWMT, AO currents and FWLT are demonstrated.

This work is supported by RFBR grants 09-05-00266-a, 09-05-01231-a and 09-05-13545-ofi _c

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ДИНАМИКИ НА ЦИРКУЛЯЦИЮ ЛЬДА И ВОДНЫХ МАСС СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Е. Н. ГОЛУБЕВА

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия. e-mail: elen@ommfao.ssc.ru

Исследование, проведенное на основе совместной модели океан – лед, выявило изменчивость океана, обусловленную вариациями атмосферного воздействия. Для проведения исследований использовалась численная модель динамики океана, разработанная в ИВМиМГ СО РАН, и модель морского льда, известная под названием эластическая вязкопластическая модель (elastic viscous-plastic) CICE 3.1 (<http://climate.lanl.gov/Models/CICE>). Численный эксперимент, проведенный для совместной модели океан–лед для периода с 1948 по 2007 г. с использованием данных реанализа NCEP/NCAR и модифицированной версии CIAF о состоянии нижней атмосферы, радиационных потоках и осадках, позволил получить климатические изменения в Северном Ледовитом океане, известные по данным измерений.

В ходе численных экспериментов выявлена реакция ледового покрова, циркуляции вод и термохалинной структуры Северного Ледовитого океана на вариации состояния атмосферы. Воспроизведены два основных режима циркуляции ледового покрова в Арктическом бассейне: циклонический и антициклонический, обусловленные вариациями атмосферной циркуляции. Показано, что в период отрицательной фазы Северо-Атлантического Колебания (САК) в соответствии с антициклонической циркуляцией вод в Канадском бассейне происходит образование обширной линзы пониженной солености, что соответствует накоплению пресной воды, поступающей из рек. В последующий период положительной фазы САК, способствующей развитию циклонического движения вод, происходит сброс накопленного запаса пресной воды в Северную Атлантику через проливы Канадского архипелага и пролив Фрама. Установление продолжительной положительной фазы САК способствовало усилению потока атлантической воды, поступающей в Арктический бассейн, сдвигу границы области распространения атлантических и тихоокеанских вод на восток, изменению циркуляции вод в Канадском бассейне с антициклонической на циклоническую, увеличению температуры промежуточного слоя океана, сокращению ледового покрова.

По данным Национального центра данных снега и льда в США (The National Snow and Ice Data Center) линейный тренд сокращения площади морского льда за период с 1979 по 2005 г. составлял более 8 % в десятилетие. По последним данным существенное сокращение минимальной протяженности ледового покрова произошло в 2007 г. Абсолютный минимум 5,7 млн км² для сентября 2005 г. был еще уменьшен и составил 4,28 млн км². В качестве причин, вызвавших такое событие, называют совокупность атмосферных условий, сложившихся в 2007 г. в центральной Арктике и области Сибирского шельфа, способствующих более быстрому таянию в центральной Арктике и отгону льдов из области Сибирского шельфа (пресс-релиз National Snow and Ice Data Center, <http://nsidc.org/news/press>).

В численных экспериментах переход к циклоническому типу циркуляции в конце 1980-х гг. и последующее потепление привело к смещению максимальных значений толщины льда к Канадскому побережью, выносу льда через пролив Фрама и постепенному уменьшению значений толщины льда, присутствующего в Арктике. Резкое сокращение площади льда в модели регистрируется в 2005 г. Абсолютный минимум получен для 2007 г. Сравнение сентябрьского распределения для 2005 и 2007 гг. в результатах численного эксперимента обнаружило, что, действительно, площадь, занятая льдом в летние месяцы, существенно сократилась в 2007 г. Увеличилась площадь, свободная ото льда у Канадского побережья. По результатам моделирования практически свободно ото льда оказалось Восточно-Сибирское море и прилегающая территория. Сравнение с полем дрейфа показало, что летом 2007 г. распределение скорости дрейфа способствовало выносу льда от Сибирского побережья.

**HIGH-RESOLUTION SATELLITE-DERIVED OCEAN SURFACE WINDS
IN THE NORDIC-BARENTS SEAS REGION IN 2007–2008:
IMPLICATIONS FOR OCEAN MODELING**

D.DUKHOVSKOY, M.BOURASSA, P.HUGHES

Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies, Florida State University, Florida, USA. e-mail: ddukhovskoy@fsu.edu

High-resolution (0,25°) ocean surface wind velocity data derived from satellite observations are used to analyze winds in the Nordic-Barents seas during 2007–2008. For the analysis, a Cross-Calibrated, Multi-Platform (CCMP), multi-instrument ocean surface wind velocity data set is utilized. The product has been developed by National Aeronautics and Space Administration (NASA) within Making Earth Science data records for Use in Research Environments (MEaSUREs) Program. A variational method is used to combine wind measurements derived from satellite-born active and passive remote sensing instruments. In the objective procedure, winds from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Operational Analysis (DS111.1) were used as the background fields. The ocean surface wind fields are compared with those derived from the National Centers for Environmental Protection/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) reanalysis. The NCEP/NCAR fields are commonly used to provide atmospheric forcing for Arctic Ocean models. The utility of using high-resolution winds in the ocean modeling is discussed. In particular, air-sea heat fluxes estimated from the two wind data sets are compared. It is anticipated that wind fields with higher spatial and temporal resolution will better resolve small-scale, short-lived atmospheric systems. As an example, the ice free region in the Nordic and Barents seas is frequently impacted by very intense cyclones known as «polar lows» with wind speeds near to or above gale force. A polar low forms over the sea and predominantly during the winter months. The size of these cyclones varies greatly from 100 to 1000 km. Presumably small-scale cyclones are misrepresented or not resolved in the NCAR fields leading to biases in the air-sea flux calculations in the ocean models. Inaccurate estimates of the air-sea fluxes eventually lead to biases in the Arctic Ocean model solutions.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ИЗМЕНЕНИИ СРЕДНЕГО УРОВНЯ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

И.М.АШИК, Е.Н.ДВОРКИН

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: ashik@aari.nw.ru

Уровень моря, являясь интегральным показателем гидрометеорологических процессов широкого пространственно-временного диапазона, позволяет оценивать направленность и интенсивность изменений состояния природных условий различного масштаба: от синоптических до климатических. Крупномасштабные долгопериодные изменения положения среднего уровня моря оказывают существенное влияние на хозяйственную деятельность в прибрежных районах морей, на их побережье и в устьевых участках рек. Особенно пристальное внимание к проблеме современных изменений положения среднего уровня арктических морей было проявлено в последнее десятилетие XX века и первые годы XXI века. Именно в эти годы в арктических морях отмечался повсеместный существенный рост уровня, приведший к резкой интенсификации процессов разрушения берегов и отступления береговой линии. Оценка многолетней изменчивости положения среднего уровня арктических морей, выявление основных факторов, влияющих на эту изменчивость, и определение степени их влияния является важной комплексной научной проблемой, имеющей прямое прикладное значение.

Для анализа многолетней изменчивости уровня, как правило, используются сведения о среднегодовом уровне моря, полученном путем осреднения за соответствующий период данных наблюдений на отдельных станциях (<http://ocean2x.aari.ru/index.php?id=507>). Непременным условием при этом является приведение этих наблюдений к одному горизонту.

Долгопериодные линейные изменения уровня моря, наблюдаемые на береговых станциях, в основном обусловлены двумя факторами: вертикальными движениями Земной коры и климатическими изменениями состояния атмосферы и гидросферы. Разделить при этом эти составляющие, оперируя только данными наблюдений за колебаниями уровня, практически невозможно. Анализ многолетней изменчивости уровня арктических морей показывает, что колебания уровня имеют нестационарный характер, по-разному проявляющийся в разных районах. Однако, характерной чертой уровня режима для большинства районов являются наличие положительного тренда, с одной стороны, и различие в характере колебаний уровня в периоды до 1985 г. и после, с другой стороны. Практически во всех районах арктических морей колебания уровня моря до 1985 г. носили стационарный характер, линейный тренд уровня в этот период был близок нулю (табл. 1), его величина составляла 0,006–0,114 см/г. при среднем значении 0,044 см/г. После 1985 г. характер колебаний уровня на станциях арктических морей существенным образом изменился: в 1985 г. начался резкий подъем уровня и в конце 1980-х – начале 1990-х его колебания происходили на повышенном фоне. Затем наблюдалось понижение уровня, во многих районах арктических морей он даже вернулся к средним величинам, но затем в конце 1990-х – начале 2000-х гг. уровень вновь стал расти и в 2005–2007 гг. достиг или превысил наблюдавшиеся ранее максимумы.

Основной причиной таких изменений в характере колебаний уровня арктических морей можно считать изменения макроциркуляционных процессов, наблюдающиеся в атмосфере северного полушария Земли. Увеличение количества и интенсивности циклонов, пересекающих арктические моря, приводит к усилению циклонической циркуляции воды, характерной для этих морей и, как следствие, понижению уровня в центре циркуляции и повышению уровня вдоль побережий. То есть основная причина повышения уровня имеет динамический характер. Подтвержде-

Таблица 1

Величина линейного тренда уровня (см/год) по районам арктических морей, определенная для разных периодов

Район	Величина линейного тренда (см/год), определенная для разных периодов		
	1950–2008 гг.	1950–1986 гг.	1984–2008 гг.
Юго-запад Карского моря	0,283	0,006	0,611
Север Карского моря	0,049	–	–
Восток Карского моря	0,150	0,016	0,127
Юг моря Лаптевых	0,211	0,055	0,355
Новосибирские о-ва	0,212	0,031	0,338
Восточно-Сибирское	0,434	0,114	0,400
Среднее	0,223	0,044	0,366

нием этого является поведение уровня в северной части Карского моря, циклоническая циркуляция воды в которой отсутствует и существенных изменений в положении среднего уровня здесь не наблюдается. Вместе с тем, учитывая те изменения физико-химических характеристик морской воды, которые были зафиксированы в ходе экспедиционных исследований высоких широт Арктики в последние годы, нельзя полностью отрицать наличие вклада стерической составляющей в общее повышение уровня моря.

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИЛИВАХ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ В ПУНКТАХ БУХТА АМБАРЧИК И ПОРТ ПЕВЕК

Г.Н.ВОЙНОВ

Санкт-Петербургское отделение Государственного океанографического института, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: spbsoi@rambler.ru

Произведен гармонический анализ с помощью метода наименьших квадратов (МНК) временных ежечасных рядов наблюдений за уровнем моря за период 9 лет в пунктах бухта Амбарчик (1977–1985) и порт Певек (1977–1985) в Восточно-Сибирском море. Получены средние за 9 лет оценки гармонических постоянных 66 значимых составляющих волн. Рассчитаны средние векторные значения на каждый месяц гармонических постоянных основных волн M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1 (сезонный ход) и их разброс по результатам анализа 108 месячных серий.

Как это ни странно, но до данной работы после Бухтеева А.М. (1916) в России не предпринималось попыток применения гармонического анализа к наблюдениям за уровнем моря в ряде пунктов Восточно-Сибирского моря ввиду крайней малости величины прилива в них.

Однако уже в оригинальной работе Фьельстада (Fjeldstad, Results of tidal observations, 1936) было показано, что гармонический анализ применим и к малым приливам, если наблюдения имеют малый уровень шума. Фьельстад одним из первых установил, что амплитуда и фаза главной полусуточной волны прилива M_2 имеют сезонный ход и предположил их зависимость от ледовых условий в море в пунктах о. Четырехстолбовой и о. Айон, где велись наблюдения за приливами во время зимовок «Мод» в 1919–1920 и 1924–1925 гг.

Результаты (выборочные) гармонического анализа по МНК ежечасных наблюдений за уровнем моря за 1977–1985 гг. в бухте Амбарчик и порту Певек приведены в табл. 1. Значения среднего квадратического отклонения (с.к.о.) определены по спектрам (фурье-анализ) остаточных рядов (наблюдения минус предвычисления) за 1977–1985 гг. ($N = 78888$ ч).

Сезонный ход волны M_2 по результатам анализа 108 месячных серий наблюдений за уровнем моря в б. Амбарчик и п. Певек рассчитан по результатам анализа 108 месячных серий. Величина (P) возмущения волны M_2 , приведенная в таблицах 2 и 3, являющаяся скалярным аналогом сезонного хода, возникает под влиянием модулирующих сложных волн M_{TS_2} , M_{ST_2} (вызывают годовой ход), а также OP_2 , MKS_2 (вызывают полугодовой ход), рассчитана по аналитическим выражениям

Таблица 1.

**Средние за 9 лет гармонические постоянные отдельных волн
(H – амплитуда, см; G – угол положения по 0 поясу).**

Волна	Амбарчик		Певек	
	$H \pm$ с.к.о.	$G \pm$ с.к.о.	$H \pm$ с.к.о.	$G \pm$ с.к.о.
O_1	0,49 – 0,04	272,0 – 5,0	0,37 – 0,04	277,0 – 6,6
P_1	0,20 – 0,04	241,9 – 12,2	0,30 – 0,04	281,5 – 8,1
K_1	0,63 – 0,04	295,5 – 3,9	0,32 – 0,04	304,2 – 7,6
N_2	0,09 – 0,02	203,2 – 7,7	0,11 – 0,01	272,9 – 6,3
M_2	0,61 – 0,02	233,6 – 1,1	0,62 – 0,01	317,7 – 1,1
S_2	0,17 – 0,02	332,1 – 4,1	0,31 – 0,01	16,9 – 2,3
K_2	0,15 – 0,02	305,2 – 4,6	0,09 – 0,01	9,4 – 8,6
M_4	0,12 – 0,01	210,0 – 4,2	0,16 – 0,01	30,6 – 3,2
MS_4	0,09 – 0,01	315,0 – 5,6	0,15 – 0,01	134,2 – 3,4

Из табл. 2 и 3 видно, что вследствие сильно выраженного сезонного хода численное моделирование приливов следует выполнять по крайней мере для разных сезонов года.

Несмотря на то, что приливы Восточно-Сибирского моря изучаются более века, остается много неясного в пространственной структуре приливов. Конечно, основной причиной этого является отсутствие надежных данных для моделирования. Кроме данных Фьельстада (1936), для всего южного побережья моря от пролива Дм. Лаптева до пролива Лонга практически не было пунктов с надежными константами приливов.

Подробный анализ эмпирических карт приливов и результатов численного моделирования не являются предметом данной работы. Можно перечислить следующие монографии по изучению приливов Восточно-Сибирского моря или в целом Северного Ледовитого океана с арктическими морями, опирающиеся на натурные данные: Sverdrup H.U. (1926), Березкин Вс.А. (1933), Fjeldstad J.E.

Сезонный ход волны M_2 в бухте Амбарчик

Месяц	$H \pm$ с.к.о.	$G \pm$ с.к.о.	Изменение H (%) от средней за год	Отклонение G (град) от средней	P (см)
01	0,20 – 0,17	222,5 – 47,4	–68,8	–3,2	–0,50
02	0,12 – 0,14	224,5 – 69,8	–81,6	–1,2	–0,16
03	0,27 – 0,14	229,2 – 31,6	–59,2	+3,5	–0,20
04	0,33 – 0,14	221,4 – 23,4	–49,2	–4,4	–0,58
05	0,19 – 0,13	235,9 – 45,2	–70,1	+10,2	–0,78
06	0,11 – 0,08	292,3 – 63,3	–82,5	+66,6	–0,36
07	0,75 – 0,33	234,5 – 28,0	+15,7	+8,8	+0,57
08	2,44 – 0,66	223,0 – 13,9	+274,5	–2,7	+1,32
09	2,11 – 0,62	224,5 – 17,0	+224,1	–1,2	+1,28
10	1,00 – 0,42	221,9 – 25,7	+54,1	–3,8	+0,50
11	0,24 – 0,17	220,6 – 39,8	–62,9	–5,1	–0,38
12	0,13 – 0,11	231,5 – 49,6	–80,3	+5,8	–0,73

Таблица 3

Сезонный ход волны M_2 в порту Певек

Месяц	$H \pm$ с.к.о.	$G \pm$ с.к.о.	Изменение H (%) от средней за год	Отклонение G (град) от средней	P (см)
01	0,46 – 0,12	322,8 – 15,5	–25,2	+5,5	–0,13
02	0,47 – 0,10	323,6 – 11,8	–24,0	+6,3	–0,09
03	0,49 – 0,09	330,2 – 14,8	–20,2	+12,9	–0,15
04	0,47 – 0,12	327,5 – 18,1	–24,2	+10,2	–0,24
05	0,47 – 0,15	331,0 – 21,6	–24,2	+13,7	–0,22
06	0,55 – 0,08	324,6 – 9,3	–10,0	+7,3	–0,03
07	0,79 – 0,19	310,5 – 11,9	+27,4	–6,9	+0,24
08	1,05 – 0,20	306,0 – 10,5	+70,2	–11,3	+0,41
09	1,04 – 0,17	302,9 – 11,6	+69,4	–14,4	+0,35
10	0,72 – 0,10	310,2 – 8,7	+16,3	–7,1	+0,12
11	0,55 – 0,14	332,3 – 12,0	–10,0	+15,0	–0,10
12	0,46 – 0,14	321,7 – 17,3	–25,1	+4,5	–0,18

(1936), Носков А.П. (1939), Коптева А.В. (1951), Диесперова Р.А. (1954), Коптева А.В. (1959). Наиболее обоснованными мы считаем работы Диесперовой Р.А. и Коптевой А.В., в которых построены две амфидромические системы в центре моря, но их положение намечено по разному.

В работах по численному моделированию приливов СЛО, к сожалению, не приводилось сравнения с данными наблюдений Восточно-Сибирского моря: Тирон К.Д. (1967), Gjevik B. (1989), Kowalik Z. (1978), Schwiderski W. (1979), Прошутинский (1993), Kowalik Z., Proshutinsky A. (1994), Поляков и Дмитриев (1994), Lyard F.H. (1997), Padman L., Erofeeva S. (2004), Каган Б.А. и др. (2007). В этих моделях в Восточно-Сибирском море могут присутствовать от 2 до 4-х амфидромий. Но какой-либо анализ реальности этих структур не проводился. По-видимому, каждый из авторов считал свои результаты единственно верными.

Несмотря на малую величину приливов Восточно-Сибирского моря, точный и соответствующий наблюдениям расчет баротропного прилива представляет не только научный интерес, но необходим для определения баротропных приливных течений и правильного выделения из наблюдений бароклинных течений. Поэтому вопрос об объективной картине формирования и распространения приливов Восточно-Сибирского моря остается актуальным и открытым.

РАЗВИТИЕ БЕРЕГОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ В СВЯЗИ С КОЛЕБАНИЯМИ УРОВНЯ МОРЯ

И. М. АШИК, А. С. МАКАРОВ, Д. Ю. БОЛЬШИЯНОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: ashik@aari.nw.ru, makarov@aari.nw.ru, bolshiyarov@aari.nw.ru

Большая часть арктических берегов России катастрофически разрушается. Преобразование береговой зоны определяется многими факторами, колебаниями уровня моря, ледовыми условиями, гидродинамической обстановкой, характером отложений, слагающих берег, рельефом дна прибрежной акватории, речным жидким стоком и твердым стоком и пр. Но изменение уровня моря определяет границы влияния других агентов переформирования береговой зоны, тем самым являясь определяющим изменением береговой линии морей российской Арктики в масштабах времени десятков, сотен и тысяч лет. Оценка многолетней изменчивости положения среднего уровня арктических морей России, выявление основных факторов, влияющих на эту изменчивость, и определение степени их влияния является важной комплексной научной проблемой, имеющей прямое прикладное значение.

Для анализа многолетней изменчивости уровня, как правило, используются сведения о среднегодовом уровне моря, полученном путем осреднения за соответствующий период данных наблюдений на отдельных станциях. Непременным условием при этом является приведение этих наблюдений к одному горизонту. Изменение уровня моря в каждой конкретной точке наблюдения определяется гидрометеорологическими и геологическими причинами. Определение роли отдельных факторов в общем процессе многолетних изменений уровня моря является задачей крайне сложной, как в силу отсутствия или недостаточности информации для оценки отдельных составляющих, так и в силу взаимосвязанности некоторых составляющих, существовании сложных взаимообратных связей между ними.

На первом этапе исследований представляется крайне важным получить основные статистические характеристики многолетних колебаний уровня на отдельных станциях и их пространственное распределение, оценить основные параметры многолетних изменений положения среднего уровня, определить его основные тенденции. В связи с этим первоначальной задачей является задача выявления линейного тренда в многолетних изменениях уровня моря, оценка его величины и исключение из дальнейшего анализа. Необходимо отметить, что если раньше предполагалось, что по величине линейного тренда можно судить о скорости вертикальных движений Земной коры (исходя из гипотезы о неизменности положения поверхности моря за период исследования), то в настоящее время стало очевидным наличие долгопериодного тренда в колебаниях уровня моря, обусловленного климатическими изменениями. Разделить при этом эти составляющие, оперируя только данными наблюдений за колебаниями уровня, практически невозможно.

Для оценки линейного тренда в колебаниях уровня моря, как правило, используется величина коэффициента уравнения линейной регрессии, связывающего величину среднегодового уровня с номером года.

$$H_i = aN_i + H_0,$$

где H_i – среднегодовой уровень; N_i – номер года; a – величина линейного тренда; H_0 – средний уровень моря. Вычисление величины линейного тренда и среднего уровня осуществляется на основе метода наименьших квадратов.

Большинство побережий испытывает наступление моря. Только в трех регионах: архипелаг Шпицберген, Земля Франца Иосифа и северный остров Новой Земли; Обская и Байдарацкая губы, полуостров Ямал; Хатангский и Оленекский заливы; несмотря на колебательный характер изменений уровня моря, испытывают устойчивое понижение уровня моря, а, значит, повышение берегов и выход их из зоны затопления морем. Выявленная картина современного изменения уровня моря (рис. 1) является достаточно приближенной. В действительности характер колебаний уровня еще более мозаичный. Например, по геоморфологическим данным Новосибирские острова во многих частях испытывают погружение, но о. Малый Ляховский явно поднимается, окружая себя аккумулятивной морской террасой, препятствующей активному размыву ледового комплекса пород, наблюдающемуся к югу и к северу от острова, где уровень моря повышается. Еще более контрастная картина поведения моря в Оленекском заливе, где на станции Усть-Оленек фиксируется тренд к понижению уровня моря, а на станции Терпай-Тумса – к повышению. Очевидно, что современное отступление уровня моря в Обской и Байдарацкой губах совершенно противоположно тому наступлению уровня моря, которое и создало эти глубокие заливы в конце голоцена. Дельта р. Лена находится в совершенно различных условиях колебания

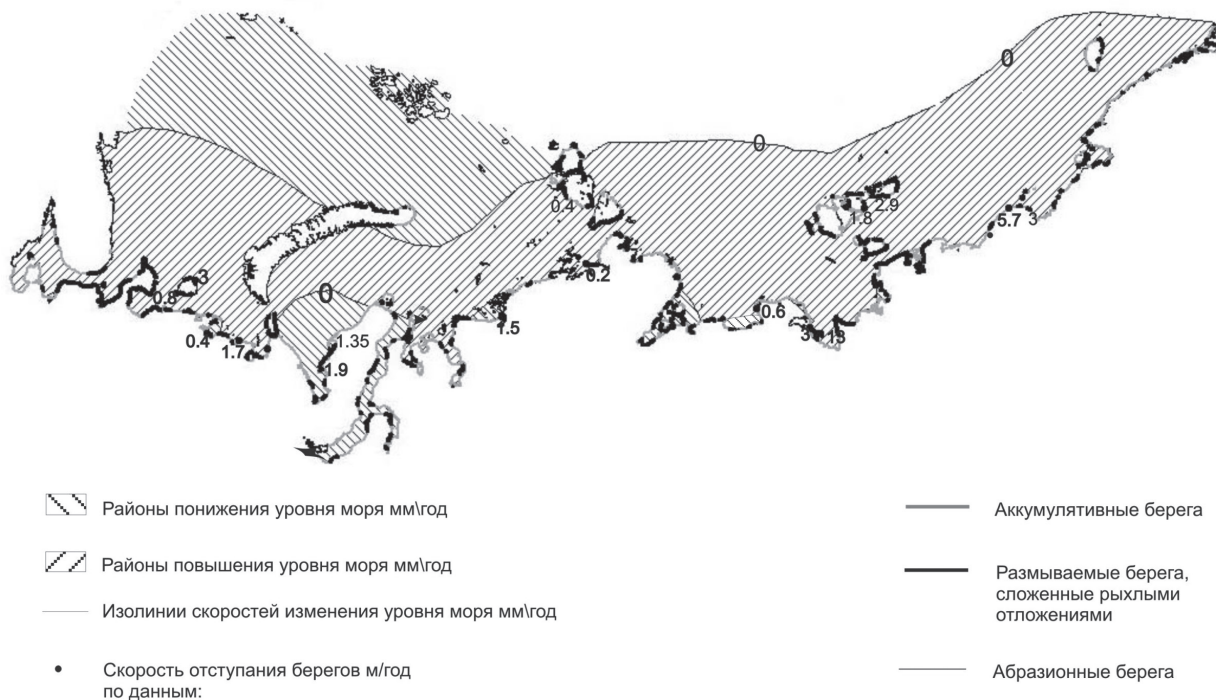


Рис.1. Карта динамики берегов российской Арктики с нанесенными данными о современном изменении уровня моря.

уровня. Со стороны Оленекского залива (с запада) уровень моря понижается, а с северо-запада (п. ст. Дунай) и юго-востока (п. Тикси) уровень моря повышается. Такие контрастные тенденции на ограниченных участках побережий вызываются не только гидрометеорологическими факторами, но и блоковыми движениями земной коры.

Наибольшая скорость отступления берегов наблюдается в районах повышения уровня моря. Побережья морей Лаптевых и Восточно-Сибирского дают наибольшие скорости размыва, несмотря на то, что эти побережья находятся в зоне влияния разрушающего берега волнения всего 1–2 декады в году. Побережья Баренцева и Карского морей разрушаются с меньшей интенсивностью, несмотря на то, что они находятся под влиянием разрушительной деятельности штормов значительно большее время – до 7–8 декад за год, а в Баренцевом море практически круглогодично. При сравнении этих скоростей имеются в виду, конечно, только берега, сложенные рыхлым материалом. Скальные абразионные берега разрушаются со скоростью до нескольких миллиметров в год. Сочетание повышения уровня моря и ледяных толщ, слагающих берега восточных морей побережья российской Арктики, дают наивысшие скорости разрушения берегов – до 13 м/год (о. Муостах), даже несмотря на короткий период открытой от льда акватории в прибрежной зоне. Приведенные на карте (рис. 1) скорости отступления берегов являются средними и не характеризуют сам процесс разрушения, который носит катастрофический характер. Берега разрушаются не только действием штормов. В промежутках между ними термоденудация разрушает бровку уступа размыва, подготавливая уступ к катастрофическому отступанию во время следующего эпизода открытой воды и сильного шторма.

Что же касается аккумулятивной деятельности моря в береговой зоне арктических морей, то эта группа процессов изучена крайне слабо из-за отсутствия наблюдений и в результате трудности сравнения уровней моря при производстве промеров в береговой зоне в различные годы.

НАБЛЮДЕНИЕ ОКЕАНСКИХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ РЛ-ДАННЫХ

И.Е.КОЗЛОВ^{1, 2}, В.Н.КУДРЯВЦЕВ^{1, 2}, С.САНДВЕН³

¹ – Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: igor.eko@gmail.com

² – Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Санкт-Петербург, Россия

³ – Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия

В работе проведен анализ проявлений океанских внутренних волн (ВВ) на радиолокационных (РЛ) снимках Баренцева моря. Всего проанализировано 145 изображений Envisat ASAR за период с июня по октябрь 2007 года, на которых было найдено 250 случаев проявлений океанских ВВ (рис.1). В ходе работы построена карта пространственного распределения ВВ, выделено несколько районов устойчивой генерации ВВ приливного характера.

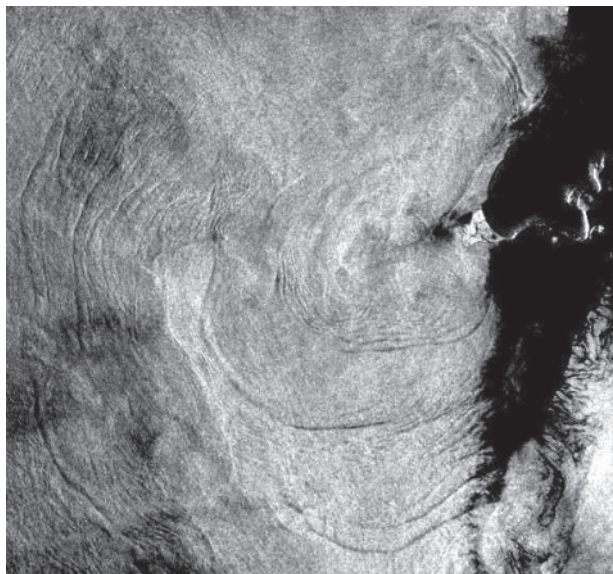


Рис. 1. Пример проявления океанских ВВ в Баренцевом море вблизи архипелага Земля Франца-Иосифа, © ESA

Осуществлена классификация ВВ по типу их проявления на РСА-снимках, рассчитаны основные характеристики ВВ (длины волн, фазовая скорость, расстояния между пакетами).

В работе также приводятся зависимости между радиолокационным контрастом проявлений внутренних волн и фоновыми характеристиками приводного ветра и условиями РЛ-съемки. Также проведены оценки теплосодержания ВКС и его эволюции во времени.

НАБЛЮДЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В БЕЛОМ МОРЕ

А.В.ЗИМИН

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: zimin2@mail.ru

В докладе представлены результаты измерения характеристик внутренних волн на входе и выходе из пролива Западная Соловецкая Салма Белого моря, проведенных летом 2009 г. на двух суточных океанографических станциях. Обе станции выполнялись с заякоренного судна в течение 25 ч по единой методике.

Исследования носили комплексный характер. Измерения проводились разнородным комплексом аппаратуры с целью получения наиболее полного описания характеристик исследуемых внутренних волн.

Проведение работ каждый раз начиналось с установки профилографа скорости и направления течения ADP (SonTek). Измеритель течения устанавливался на дно на специальной немагнитной платформе в составе автономной буйковой станции, кроме него в состав станции входил датчик придонного давления и температуры.

Для наблюдения всего спектра характеристик внутренних волн (амплитуда, период, длина, фазовая скорость, направление распространения) в термоклине использовалась трех элементная антенна распределенных датчиков температуры. Датчики устанавливались на стальных тросах, опускавшихся с носа, с кормы и шкафута судна. Период опроса всех датчиков составлял 1 с. Глубина погружения датчиков и возможность использования полученных калибровок контролировалась показаниями STD-зонда SD-202 крепившегося на трос около нижнего конца одного из распределенных датчиков. Зонд производил измерения с интервалом 10 с.

Постоянный контроль изменчивости гидрологических характеристик по всей толще вод велся с помощью STD-зонда T-90 (Sea & Sun Technology GmbH) с набором дополнительных датчиков мутности, флуоресценции хлорофилла «а», скорости и направления течения.

Контроль производился каждые полчаса с выполнением всего комплекса попутных метеонаблюдений. Соответственно на каждой станции было выполнено по 50 зондирований. Кроме того через каждые полтора часа выполнялись серии сканирований длительностью 2 ч. Сканирование представляло собой непрерывное измерение гидрофизических полей в режиме спуск–подъем. Спуск до глубины 40 м и подъем по времени занимали 1,5–2 мин. На каждой станции было выполнено 7 сканирований.

Целью нашей работы было по данным комплексных натурных измерений описать характеристики короткопериодных ВВ, возникающих входе приливного цикла в динамически активном районе Белого моря.

В результате обработки полученных данных было установлено, что несмотря на небольшие глубины и сильные приливные течения в районе формируется резкий пикноклин на котором генерируются и распространяются интенсивные внутренние волны. Высоты полусуточных волн составляют около 8 м, более короткопериодных (40–30-минутных) – до 14, а интенсивных (3–5-минутных) – достигают 25 м. В условиях четко выраженной стратификации приливная внутренняя волна имеет вид внутреннего бора. Начало каждого приливного цикла сопровождается прохождением группы солитонов. Зарегистрированы неоднократные обрушения внутренних волн, которые сопровождался процессами вертикального перемешивания и образования интрузий.

ЗАЯКОРЕННЫЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ПРОФИЛОГРАФ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЙ, ОХРАНЫ МОРСКОЙ СРЕДЫ И НАУЧНЫХ МОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*А.Г.ЗАЦЕПИН, А.Г.ОСТРОВСКИЙ, В.Н.ИВАНОВ, В.А.СОЛОВЬЕВ, Г.К.ТИМАШКЕВИЧ,
Д.А.ШВОЕВ, А.Л.ЦИБУЛЬСКИЙ*

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва, Россия. e-mail: zatsopin@ocean.ru

В связи с потребностью России проводить мониторинг и научные исследования в Северном Ледовитом океане и его шельфовых морях, где интенсивно разрабатываются природные ресурсы и ведется ледовая навигация, актуальной становится задача разработки унифицированной океанологической платформы для автоматизированных измерений вертикальных распределений параметров состояния морской среды, в том числе подо льдом. В докладе представлены результаты работы по созданию и внедрению в практику морских исследований (в том числе подледных) автоматического профилографа, предназначенного для непрерывных (долговременных не менее 6 месяцев) измерений гидрофизических и биофизических параметров в толще вод, как в автономном режиме, так и в режиме передачи данных в реальном времени.

В отличие от традиционных буйковых постановок с размещением приборов на фиксированных горизонтах, в данном случае предлагается измерять непрерывные вертикальные распределения (профили) параметров среды и биоты, что позволяет с высокой точностью оценивать как дифференциальные, так и интегральные характеристики этих распределений. Оборудование буйковой станции интегрировано в измерительный комплекс с системами подводной и спутниковой связи. Непосредственно профилограф представляет собой принципиально новый носитель океанологической измерительной аппаратуры, своего рода «морской лифт». Перемещаясь по заданной программе по тросу, натянутому вертикально между подповерхностной плавучестью и донным якорем (заякоренный профилограф) или между нижней кромкой дрейфующего льда и вывешенным со льдины грузом (дрейфующий профилограф), комплекс производит непрерывные измерения температуры, флуоресценции хлорофилла-а, прозрачности и электропроводности воды, скорости звука, скорости морских течений, содержания растворенного в воде кислорода и некоторых других океанологических параметров. Заякоренный профилограф устанавливается в заданной географической точке в теплый сезон года и функционирует в автономном режиме подо льдом вплоть до его снятия в следующий теплый сезон. Дрейфующий профилограф предназначен для автоматических подледных измерений с плавучих льдов с передачей данных в режиме реального времени по спутниковому каналу связи. Используя эти две модификации, целесообразно создать специализированную сеть наблюдений за арктической морской средой и получать регулярные временные ряды вертикальных профилей параметров воды, которые представляют большой интерес для прикладных и фундаментальных исследований природной среды и климата Арктики.

Использование автономного профилографа имеет явные технико-экономические преимущества перед применением зондирования с использованием ледокольных судов и дрейфующих обитаемых станций СП. Сумма затрат на получение одного профиля с помощью профилографа, ориентировочно на 2–3 порядка (в зависимости от удаленности района) меньше стоимости судового зондирования. Более того, появляется возможность получения данных в закрытых льдом и труднодоступных акваториях, включая бассейны Нансена и Амундсена.

Разрабатываемый универсальный измерительный комплекс необходим организациям РАН, Росгидромета, Федерального агентства по рыболовству, Росприроднадзора, ведущим исследования и мониторинг в арктических шельфовых морях России, а также предприятиям топливно-энергетического комплекса. Помимо этого, комплекс предназначен для информационного обеспечения соответствующих оперативных служб, в том числе Министерства по чрезвычайным ситуациям, Северного морского пути и Гидрографической службы Военно-морского флота РФ.

Работа выполнена при поддержке Целевой научно-технической программы «Разработка уникальных научно-исследовательских приборов и оборудования для учреждений РАН», а также грантов РФФИ 08-05-12046_офи и 09-05-13527_офи_ц.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ УКРАИНЫ В АНТАРКТИКЕ В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОГО ПОЛЯРНОГО ГОДА 2007/08

Ю.В.АРТАМОНОВ¹, В.Н.ВАЩЕНКО²

¹ – *Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь, Украина. e-mail: Artamant@yandex.ru*

² – *Украинский национальный антарктический научный центр, г. Киев, Украина*

В докладе представлены результаты океанографических исследований, полученные в рамках подготовки и проведения Международного полярного года 2007/08. Отмечается, что основное внимание уделялось проведению исследований на основе современных баз архивных данных. Акцент делается на комплексном использовании контактных и спутниковых измерений. Обсуждаются недостатки и преимущества разных массивов данных. Отмечается, что комплексный подход при исследовании закономерностей сезонной и межгодовой изменчивости океанографических полей позволяет получить наиболее достоверные физические результаты.

На основе спутниковых и контактных измерений температуры поверхности океана (ТПО) уточнена схема фронтов Южного океана, выявлены закономерности их сезонного цикла. Получены новые результаты при анализе высокоширотной реакции гидрометеорологических полей в Антарктике на события Эль-Ниньо. Исследованы внутригодовая изменчивость трендов ТПО и корреляционные связи между индексом Южного колебания (ЮК) и ТПО в Южном полушарии. Уточнено положение областей с прямой и обратной корреляционной зависимостью. Результаты анализируются в связи с особенностями крупномасштабной структуры и циркуляции вод.

Исследованы особенности межгодовых вариаций морских льдов различной сплоченности и корреляционных связей между изменчивостью сплоченности льдов, температуры воздуха в регионе Антарктического полуострова и индексов атмосферной циркуляции ЮК и Антарктическое колебание. Показано, что в периоды интенсивных событий ENSO отмечаются аномальные ледовые условия вокруг Антарктического материка. Обобщены результаты попутных гидрометеорологических измерений, выполненных в ходе Украинских и Российских антарктических экспедиций на НИС «Эрнст Кренкель» и НЭС «Академик Федоров». Эти результаты анализируются с позиции климатических вариаций в системе океан-атмосфера с типичными периодами 2–7 лет (Эль-Ниньо).

СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЙ В ПРОЛИВЕ ДРЕЙКА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2003–2010 ГГ.

М.Н. КОШЛЯКОВ, Р.Ю. ТАРАКАНОВ

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва, Россия. e-mail: rtarakanov@gmail.com

В период 2003–2010 гг. в проливе Дрейка на судах института океанологии им. П.П.Ширшова РАН «Академик Сергей Вавилов» и «Академик Иоффе» проведен ряд гидрологических исследований, который был сосредоточен в основном в районе хребта в разломе Шеклтона (далее хребта Шеклтона; рис. 1). Разрезы, выполненные в декабре 2003 и ноябре 2005 гг., проходили вдоль одной и той же трассы от Огненной Земли до о. Мордвинова (Элефант) в цепочке Южных Шетландских о-вов и пересекали разлом в его средней части. Разрез 2007 г. и второй разрез ноября 2005 г. располагались вдоль разлома Шеклтона, причем трасса первого из этих разрезов была спланирована по гребню, а второго – к северо-востоку от хребта Шеклтона. В октябре–ноябре 2008 г. была выполнена гидрофизическая съемка из 65 станций в центральной части разлома Шеклтона. Разрез, проведенный в январе 2010 г., располагался непосредственно к востоку от хребта в разломе Хиро и рифта Феникс (рис. 1). На всех станциях разрезов и полигонной съемки выполнялось STD-зондирование океана до дна и измерение скорости движения воды погружаемым акустическим доплеровским профилографом течений (LADCP).

Детальный анализ индивидуальных профилей LADCP и геострофических кривых, рассчитанных по измеренным температуре и электропроводности, показал, что имеют место значительные отклонения (колебания) измеренных скоростей от геострофических, а в некоторых случаях отмечается существенно различный наклон этих кривых. Природа указанных отклонений до конца не ясна. Она может быть как физического (напр., инерционные колебания), так и технического (ошибки в данных, несовершенство методики обработки данных) свойства. Однако мы исходим из предположения, что какое-либо осреднение измеренных скоростей уменьшает возможные ошибки, что позволяет интерпретировать, например, средние по вертикали скорости LADCP в качестве баротропной поправки для геострофических профилей. Кроме того, мы использовали осреднение скоростей LADCP на разрезе по какому-либо изопикническому интервалу.

Анализ обработанных таким образом данных подтверждает современные представления о трехструйной структуре Антарктического циркумполярного течения (АЦТ), состоящего из Субантарктического, Южного полярного и Южного антарктического течений. Указанные течения соответству-

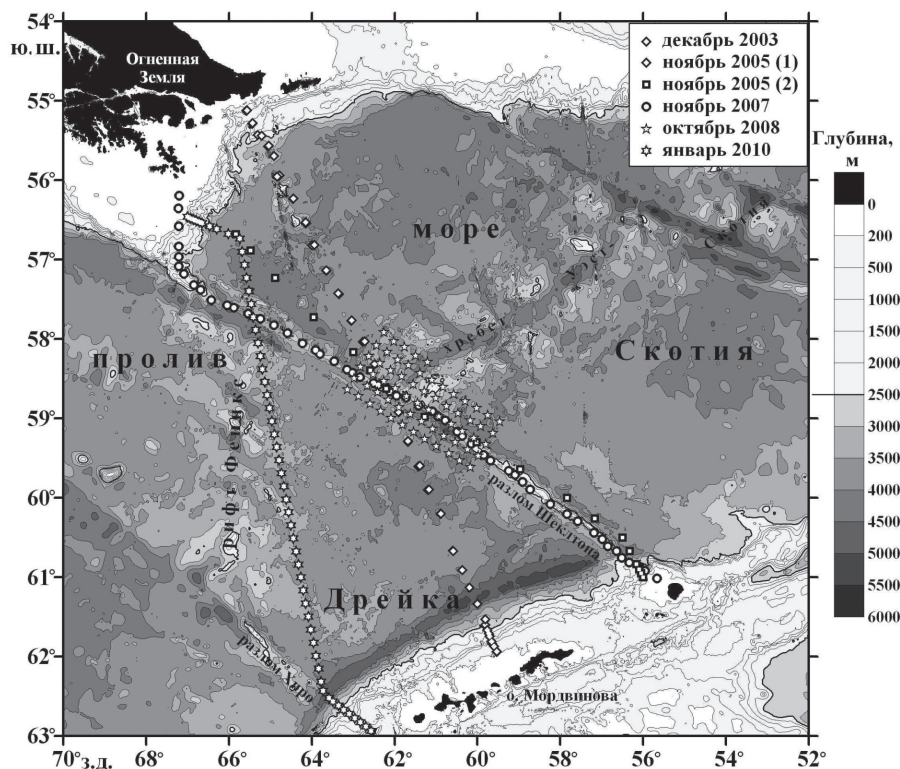


Рис. 1. Рельеф дна в проливе Дрейка и положение гидрофизических станций, выполненных на судах «Академик Сергей Вавилов» и «Академик Иоффе» в 2003–2010 гг.

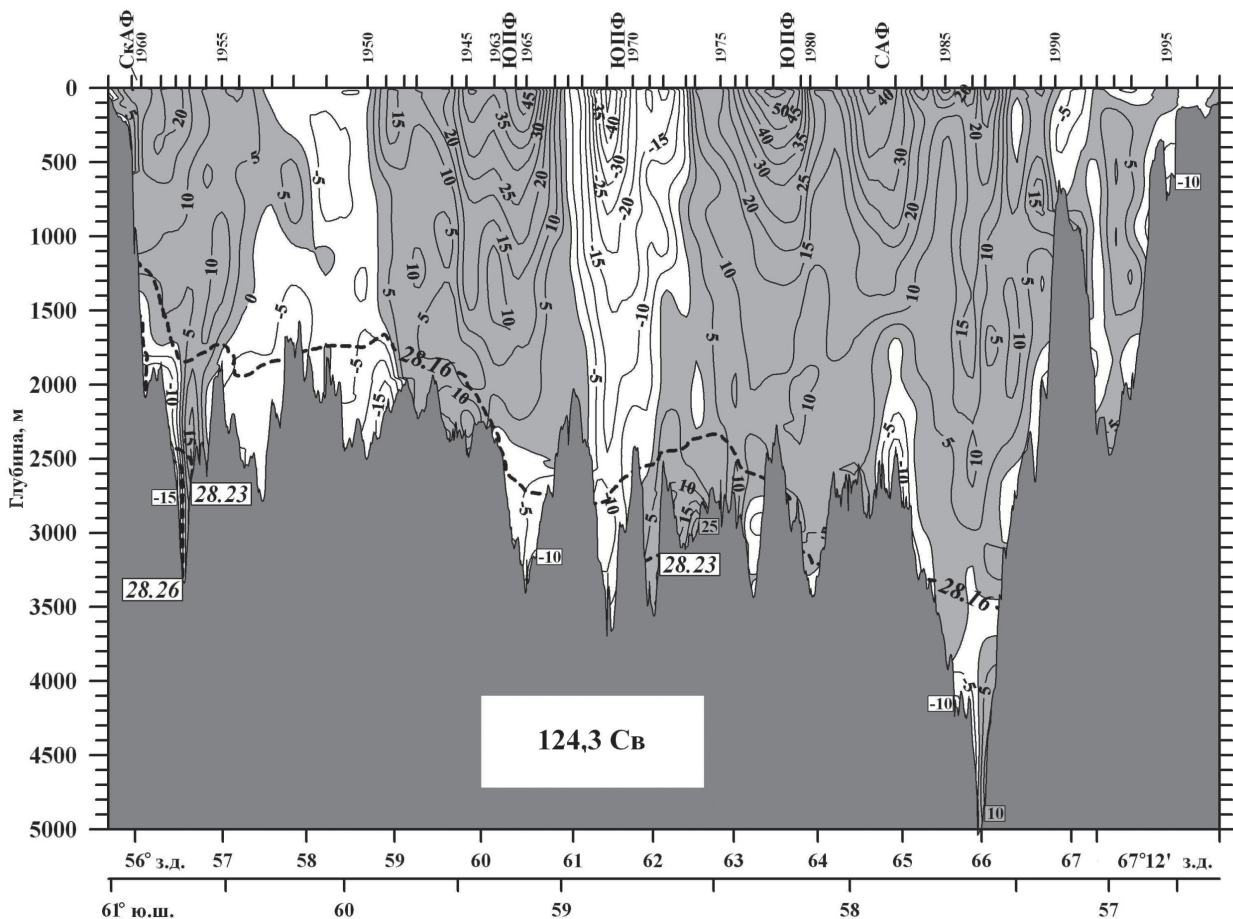


Рис. 2. Нормальная к разрезу 2007 г. компонента скорости (в см/с) по данным измерений LADCP. Серый тон – течение с восточной составляющей направления течения. Вверху даны засечки станций и положения фронтов: СКАФ – Склоновый антарктический фронт, ЮПФ – Южный полярный фронт, САФ – Субантарктический фронт. Показаны также изолинии нейтральной плотности $\gamma^n = 28,16; 28,23$ и $28,26$. Приведен также общий расход через разрез.

ют Субантарктическому, Южному полярному и Южному фронтам АЦТ. Подтверждена также очень сильная синоптическая изменчивость струй АЦТ, проявляющаяся в продольном расщеплении отдельных струй и связанных с ними фронтов, их меандрировании, формировании и отрыве вихрей, слиянии и обратном разделении фронтов и струй. На разрезах через пролив Дрейка выявлена существенная изменчивость расхода суммарного переноса через пролив (от 125 до 155 Св), обусловленная скорее всего изменчивостью поля ветра над антарктическим кольцом и прилегающими частями Мирового океана.

Анализ данных наших разрезов, а также базы данных World Ocean Data Base 2005 по району пролива Дрейка и моря Скотия показывает, что хребты Шеклтона и Хиро существенно ограничивают водообмен абиссальных вод. В частности поток вод с нейтральной плотностью $\gamma^n > 28,23$ ($\theta < 0,4$ °C) полностью сосредоточен в узком проходе между хребтом Шеклтона и антарктическим склоном (рис. 2). При этом оценка водообмена (т.е. суммарного течения только на восток или на запад) составила менее 1 Св (по данным измерений 2007 г.; 1 Св = 10^6 м³/с), при практически нулевом интегральном расходе в этом слое. Хребет Шеклтона оказывается барьером и для более теплых вод с $28,23 > \gamma^n > 28,16$ ($0,4$ °C $< \theta < 0,9$ °C). Интегральный расход в указанном слое оказался практически нулевым, но с существенно отличной от нуля оценкой водообмена – около 8 Св. Практически нулевой интегральный расход для вод с плотностью $\gamma^n > 28,16$ наблюдался и на разрезах 2003 и 2010 гг., что указывает как на достоверность этой оценки, так и на обоснованность использованного метода осреднения данных LADCP. Заметим, что указанные результаты не согласуются с традиционно принятой классификацией вод, согласно которой слой с $\gamma^n < 28,26$ ($\theta > 0,2$ °C) принято включать в распространяющуюся на восток циркулярную воду.

Блокировка водообмена через хребт Шеклтона обеспечивает условия для интенсивной, достигающей северной окраины АЦТ трансформации (опреснения и охлаждения) придонного слоя к востоку от хребта Шеклтона за счет вод моря Уэдделла, а также способствует формированию нескольких квазипостоянных, квазиизолированных циркуляций абиссальных и глубинных вод в прилегающих к хребтам районах. Интенсивность этих циркуляций оказывается весьма высокой. Например, соглас-

но данным измерений LADCP на разрезе 2003 г., пересекавшем хребет Шеклтона и примыкающие к нему котловины, оценка водообмена через разрез в слое $28,26 > \gamma^{\sigma} > 28,16$ ($0,2^{\circ}\text{C} < \theta < 0,9^{\circ}\text{C}$) составила 36,6 (35,4) Sv на восток (запад). Существование таких циркуляций подразумевает, что в поле течений поперек пролива Дрейка имеют место структурные элементы не относящиеся собственно к АЦТ. К их числу относятся как известные течения на антарктическом и южно-американском склонах, так и вновь обнаруженные абиссальные течения. В частности прямые измерения скорости с помощью LADCP в 2005 г. выявили северо-западное направление течения на северо-восточном склоне в южной части хребта Шеклтона, что было подтверждено измерениями 2008 г. на полигонной съемке. Причем это течение обеспечивает перенос холодной распресненной воды вплоть до рифтовой долины хребта Уэст-Скотия. В том же 2008 г. было обнаружено юго-восточное течение на юго-западном склоне хребта Шеклтона.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ТЕРМИЧЕСКИХ ФРОНТОВ ЮЖНОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ НАТУРНЫХ ПРЯМЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В.В.ИОНОВ, И.О.ШИЛОВ

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: geo-igor@mail.ru

Распределение температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ) Южного океана характеризуется наличием различных по происхождению термических фронтов. Наиболее значимыми являются климатические фронты: субтропический (СТФ), субантарктический (САФ) и полярный (ПФ). Кроме них выделяются термические фронты в прибрежной зоне Антарктического материка. В настоящей работе представлены результаты исследования положения термических фронтов на основе натуральных и данных дистанционных наблюдений, полученных во время проведения сезонных 53–54-й РАЭ. Натурные данные включают наблюдения за ТПСМ, измеренные проточным термометром с непрерывной регистрацией, установленным на борту НЭС «Академик Федоров». Данные дистанционных наблюдений представляют собой ИК-изображения свободных от облачности частей поверхности океана со спутников NOAA, полученные сенсором AVHRR и передаваемые в HRPT формате. Сочетание информации различного типа позволило выявить особенности динамики фронтальных зон Южного океана. Установлена существенная роль вихреобразования в определении синоптического положения климатических фронтов, которое приводит к возникновению крупномасштабных меандров и обособленных вихрей (рингов). Выявлено образование грибовидных структур в поле ТПСМ и синхронных спутниковых полях температуры поверхности моря (ТПМ). Спутниковые ИК изображения позволили проследить развитие (динамику) вихревых пространственных структур прибрежных фронтов.

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЗОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОКЕАНА ПО ДАННЫМ МНОГОЧАСОВЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ В РАЙОНАХ АНТАРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

А.Ю.АРТАМОНОВ¹, Ю.В.АРТАМОНОВ²

¹ – *Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова, РАН, г. Москва, Россия. e-mail: arseniy_ur@mail.ru.*

² – *Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь, Украина. e-mail: Artam-ant@yandex.ru*

Важным направлением океанографических исследований на акваториях, прилегающих к полярным станциям, является изучение пространственно-временной изменчивости термохалинной структуры вод. Эти работы направлены на уточнение местных лоций, условий формирования и таяния льдов, решения экологических задач, оценок влияния крупномасштабной изменчивости на региональные процессы. В докладе представлены результаты исследований структуры на многочасовых станциях, выполненных в антарктических экспедициях на НИС «Эрнст Кренкель» и НЭС «Академик Федоров».

Не смотря на то, что измерения на многочасовых станциях имели разную продолжительность и выполнялись в разные фазы внутригодового цикла, показано, что в мезомасштабной изменчивости гидрологической структуры вод в прибрежных районах Антарктиды наблюдаются общие черты. На всех станциях в поверхностном слое прослеживается хорошо выраженный суточный ход температуры, обусловленный изменчивостью суммарной солнечной радиации. Ниже колебания в поле температуры обусловлены приливными волнами суточного и полусуточного периода. Полусуточные колебания наиболее четко прослеживались в западной Антарктике в районе ст. Академик Вернадский.

Региональные отличия, связанные с орографией района, особенностями метеорологических условий, проявляются в том, что в восточной Антарктике внутрисуточная и межсуточная изменчивость наблюдается в слоях переохлажденной воды с отрицательной температурой, тогда как в регионе Антарктического полуострова температура воды может быть больше нуля. Причем на синоптическом масштабе структура вод изменяется не только количественно, но и качественно. Например, в феврале 1997 г. верхний слой с положительными температурам через 10 сут. в результате адвекции вод с юга был замещен водами с отрицательной температурой. В нижнем слое наблюдалась противоположная картина. В целом, синоптическая изменчивость в прибрежных районах Антарктики проявляется в виде пространственных смещений границы между холодными шельфовыми водами и более теплыми океаническими водами. В распределениях температуры это проявляется в виде потепления или похолодания отдельных слоев или всей толщи воды. Отмечено, что перестройка структуры вод происходит на фоне активных синоптических процессов в атмосфере.

МОРСКИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АНТАРКТИКЕ В ПЕРИОД МПГ

*К.В.БАТРАК, Л.А.ДУХОВА, В.Л.ЗУБАРЕВИЧ, В.В.МАСЛЕННИКОВ, Т.Б.СЕМОЧКИНА,
Н.И.ТОРГУНОВА*

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, Россия. e-mail: ksusha-b@mail.ru, biochem@vniro.ru

В период Международного полярного года на НЭС «Академик Федоров» (ААНИИ) были выполнены гидрохимические исследования в водах Антарктики. Гидрохимические работы включали в себя определение биогенных веществ в поверхностных пробах морской воды по ходу движения судна с целью выявления гидрохимических показателей положения фронтов Антарктики; определение полного комплекса гидрохимических параметров на глубоководных гидрологических станциях и разрезах с целью изучения гидрохимической структуры антарктических вод в районах шельфа Антарктиды и ее материкового склона. Это участки максимальной летней биологической продуктивности антарктических вод и концентрации жизни на всех уровнях антарктической трофической цепи. Кроме того, некоторые из гидрохимических характеристик могут служить хорошими показателями распространения водных масс и их разных региональных модификаций и помочь при решении некоторых гидрологических проблем в системе шельф — склон. В задачу группы ВНИРО входило изучение пространственного распределения растворенного кислорода, всех форм азота — минерального (нитратного, нитритного, аммонийного) и органического, фосфора (минерального и органического) и растворенного кремния в различных районах Антарктического бассейна. Обработка проб морской воды проводилась в соответствии со стандартными методиками, принятыми во ВНИРО. Все пробы анализировались непосредственно после отбора (экспозиция обычно не превышала 20–30 мин) в судовой лаборатории.

Период МПГ, в котором участвовали гидрохимики из ВНИРО, приходится на две экспедиции на НЭС «Академик Федоров» — 53-я и 54-я РАЭ. В 53-й РАЭ поверхностные гидрохимические работы проводились в январе 2007 г. в тихоокеанском секторе (от Субантарктического фронта к югу от о-ва Тасмания до 65° ю.ш.) и в атлантическом секторе в феврале–марте 2008 г. (по меридиану 0 от 68° ю.ш. до пересечения с Южной Полярной Фронтальной Зоны (ЮПФЗ)). Кроме того были выполнены гидрохимические определения в районах антарктических станций Ленинградская, Мак-Мердо и Русская (в январе, феврале 2008 г.) и на разрезе в восточной части моря Амундсена (14–16 февраля 2008 г.). Этот разрез состоял из 15 станций. В 54-ю РАЭ были выполнены поверхностные гидрохимические исследования в пяти разных районах индоокеанского сектора Антарктики и два зондирования с отбором проб на гидрохимический анализ у станции Прогресс.

Исследование характера поверхностного распределения биогенных элементов показало, что фронты, как правило, хорошо выражены по гидрохимическим показателям. Более того, поверхностное распределение растворенного кремния служит одним из лучших показателей для идентификации Южного фронта Антарктического Циркумполярного течения (ЮФ АЦТ). Так, в поверхностном распределении кремния можно выделить более или менее однородные массивы вод и довольно резкие изменения его содержания, указывающие на фронтальные участки, соответствующие ЮФ АЦТ и Южному Полярному фронту (ЮПФ). Очевидны эти изменения и в распределении минерального фосфора и нитратного азота, хотя их проявления и не так ярки.

Распределение гидрохимических показателей на разрезе в море Амундсена соответствует гидрологической структуре и демонстрирует широкое распространение на шельфе моря Амундсена довольно мощного слоя теплых глубинных вод (ЦГВ). Складывается впечатление, что их доступ на шельф достаточно беспрепятственен. В большинстве других приматериковых районах Антарктики этот доступ можно назвать ограниченным.

Помимо исследований, проведенных непосредственно в годы МПГ, на НЭС «Академик Федоров» выполнялись аналогичные гидрохимические работы в районе моря Содружества в 2006 г. (51-я РАЭ) и у западного побережья антарктического полуострова в 2010 г. (55-я РАЭ). Это позволяет нам сопоставить гидрохимические данные и проанализировать различия гидрохимической структуры вод шельфа и материкового склона в разных районах высокоширотной Антарктики. Наблюдаются явные различия в гидрохимической структуре морей Содружества, Амундсена и района Антарктического полуострова.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ СЕКЦИИ «ПОЛЯРНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ»

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА В 2007–2009 ГГ. (ПО ДАННЫМ ПОПУТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА НЭС «АКАДЕМИК ФЕДОРОВ»)

Ю.В.АРТАМОНОВ¹, В.П.БУНЯКИН², С.П.КИСЛИЦИН², Е.А.СКРИПАЛЕВА¹

¹ – Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь, Украина. e-mail: Artam-ant@yandex.ru

² – ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

В докладе представлены результаты анализа попутных измерений температуры поверхности океана (ТПО), выполненных на НЭС «Академик Федоров» в 2007–2009 гг. Для анализа пространственных особенностей поля ТПО привлекались измерения метеорологических параметров. Распределения ТПО, полученные контактным методом в ходе рейсов НЭС «Академик Федоров», сравнивались с климатическими распределениями поля температуры, по данным спутникового массива (архив AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA), Мировой базы гидрологических данных (World Ocean Base, 2005), материалам Британского центра Атмосферных данных (British Atmospheric Data Centre HadISST) и National Center for Environmental Prediction. В работе анализируются распределения ТПО и ее аномалий, рассчитанных относительно разных климатических массивов. Обсуждается вопрос об оценке аномалий ТПО по данным конкретных измерений относительно климатических данных. Показано, что значения аномалий, рассчитанные относительно разных массивов, сформированных с применением разных процедур интерполяции данных в узлы регулярной сетки, могут варьировать в широких пределах, а иногда даже изменять знак. Вместе с тем, независимо от подхода, структура аномалий на качественном уровне описывается одинаково, что позволяет для анализа двухмерной структуры аномалий ТПО использовать совместно результаты конкретных измерений и климатические данные. Кроме расчета аномалий относительно климатических данных, были рассчитаны разницы ТПО, измеренной на трансатлантических галсах в разных рейсах НЭС «Академик Федоров» с 2004 по 2009 гг.

Описаны особенности фактического состояния основных структурных зон, положения и интенсивности крупномасштабных температурных фронтов на поверхности океана от умеренных широт Северного полушария до Антарктики. Оцениваются аномалии характеристик фронтов (температура на фронте, положение оси и величина температурного градиента) относительно их климатических среднемесячных значений.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГОДОВОЙ ВОЛНЫ ТЕМПЕРАТУРЫ АТЛАНТИЧЕСКОЙ ВОДЫ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

Н.Е.ИВАНОВ, В.В.ИВАНОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: neivanov@aari.nw.ru

Теплая атлантическая вода (АВ) поступает в Северный Ледовитый океан (СЛО) и его Арктический бассейн (АБ) в основном через пролив Фрама, погружается под поверхностную арктическую воду и растекается по всему АБ, образуя в нем непрерывный глубинный слой. АВ является одним из основных источников тепла в СЛО и выделяется обычно по изоповерхности с температурой $T = 0^\circ\text{C}$. Трасса, вдоль которой АВ распространяется по АБ в основных чертах известна, однако не до конца выяснены место АВ в термодинамическом режиме СЛО и такие характеристики, как темп и скорость ее распространения, механизмы и интенсивность теплоотдачи и др.

Ранее АВ выделяли в основном по пятнам наиболее теплой воды по данным гидрологических съемок, разрезов, станций «Северный полюс» и т.д. После выполнения в последние годы длительных (год и более) непрерывных серий измерений появились дополнительные возможности. В настоящей работе использованы данные 9 автоматических буйковых станций (АБС) продолжительностью от 1 до 11 лет, расположенных примерно вдоль основной трассы транзита АВ в СЛО. На ряде АБС имеются данные как в слое АВ (1–2 горизонта), так и слоях поверхностной и донной воды. Помимо измерений температуры имеются также данные по солености и скорости течений. Сведения о станциях приведены в таблице.

Характеристика исходных данных

№ ст.	Координаты и локализация		Горизонты, м	Начало	Окончание	Длительность, годы
	Широта (С)	Долгота (В)				
1	79°	12°	248	19.09.1997	18.09.2008	11
	пролив Фрама					
2	81° 33,7'	30° 51,1'	92, 135, 249, 499, 1008	14.09.2004	13.09.2008	4
	между Шпицбергенем и ЗФИ					
3	80° 44,9'	103° 30,0'	152	09.09.2006	08.09.2008	2
	у Северной Земли					
4	77° 41,2'	120° 02,3'	130, 160	02.09.2003	01.09.2004	1
	море Лаптевых					
5	78° 30,8'	133° 57,7'	106, 326, 761, 1161	15.08.1995	14.08.1996	1
	море Лаптевых					
6	79° 10,6'	135° 16,5'	40, 133, 253, 297	18.09.2004	17.09.2005	1
	западнее хребта Ломоносова					
7	81° 08,5'	138° 54,0'	112, 272, 712, 1112, 1692	15.08.1995	14.08.1996	1
	западнее хребта Ломоносова					
8	79° 56,1'	142° 56,1'	260, 840	18.09.2004	17.09.2007	3
	хребет Ломоносова					
9	80° 19,2'	150° 03,5'	99, 269, 709, 1109	15.08.1995	14.08.1996	1
	восточнее хребта Ломоносова					

Настоящая работа выполнена на основе гипотезы «замороженного годового хода». В Северо-Европейском бассейне АВ формирует поверхностный слой и имеет четкий годовой ход, амплитуда которого испытывает сильные межгодовые вариации, а форма (близкая к косинусоиду с периодом 12 месяцев) и фаза более консервативны. В АБ после погружения под поверхностную воду АВ выводится из под воздействия источника постоянного возобновления годовых колебаний. Фаза годовой гармоник как бы «застывает», и перенос этой застывшей фазы по АБ можно рассматривать как прогрессивную волну с годовым периодом. В процессе распространения по АБ происходит трансформация свойств АВ в основном в результате теплоотдачи, которая наиболее интенсивна на верхнем пике застывшего годового хода (годовой максимум). Поэтому происходит постепенное (но не обязательно монотонное) уменьшение амплитуды годовой волны и усложнение ее формы.

Для определения темпа и скорости распространения АВ в СЛО использованы оценки фазовой скорости годовой волны с учетом амплитудно-фазовых особенностей индивидуальных годовых

вых циклов. Для относительно густой сети станций в районе хребта Ломоносова траектория АВ уточнена по данным измерений скорости течений.

Для оценки пространственно-временной изменчивости передачи тепла от АВ к поверхностному слою и льду использованы вертикальные профили фазы годового хода, а также когерентность и фаза взаимного (на нескольких горизонтах) спектра аномалий суточных значений температуры относительно годового хода. В качестве одного из механизмов интенсификации этого процесса рассматривается вихрь с временным и вертикальным масштабами порядка первых десятков суток и 10^3 м соответственно.

ВЕТРО-ВОЛНОВЫЕ УСЛОВИЯ НА АКВАТОРИИ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ В ПЕРИОД МПГ 2007/08

В.И.ДЫМОВ, Т.А.ПАСЕЧНИК, В.В.АЛЕКСЕЕВ, Н.П.ЯКОВЛЕВА

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: dymov@aari.nw.ru

Анализ ветро-волновых условий в арктических морях России в период МПГ 2007/08 основывается на модельных расчетах ветрового волнения. Альтернативы такому подходу в настоящее время нет из-за отсутствия доступных инструментальных измерений волнения в арктических морях России. В ААНИИ составляются ежегодные обзоры, описывающие развитие метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане (<http://www.aari.ru/misc/publicat/gmo.php>). В указанных обзорах имеется и раздел под названием «Ветровое волнение на акватории арктических морей». Технология расчетов и прогнозов ветрового волнения ААНИИ основывается на авторской спектрально-параметрической модели (СПМ), разработанной в ЛО ГОИН и модифицированной в ААНИИ. Модель постоянно совершенствуется, ее неоднократная верификация по различным инструментальным данным наблюдений и сравнение аналогичными результатами наиболее известных зарубежных моделей, таких как WAVEWATCH III и WAM-4, показывает, что СПМ в целом не уступает по точности расчета и прогноза параметров ветрового волнения, превосходя в быстродействии зарубежные аналоги более, чем на порядок.

С 2001 г. модель внедрена в оперативную практику Гидрометцентра России по выпуску глобальных прогнозов ветрового волнения, и ее результаты выставляются на официальном сайте Гидрометцентра России (hmc.hydromet.ru). Решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и геологическим прогнозам от 16 мая 2008 г. модель ветрового волнения в сетке с повышенным разрешением ($1,25 \times 1,25^\circ$) рекомендована для использования в оперативно-прогностической работе Гидрометцентра России и ААНИИ на новой вычислительной платформе.

Данная технология с успехом используется в ААНИИ для выполнения численных расчетов и прогнозов ветрового волнения в замерзающих морях России в рамках различных тематик института (ЦНТП, ЕСИМО, и т.д.). Ежедневно выполняются прогнозы ветрового волнения в арктических морях России с представлением результатов на сайте ААНИИ и отдела.

Район Российской Арктики в технологии представлен двумя большими расчетными областями с шагом $1,0^\circ$ по долготе и $0,5^\circ$ по широте. Первая расчетная область включает в себя Баренцево и Карское моря (западный сектор), а вторая – море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря (восточный сектор). Основными исходными данными в расчетах являются поля атмосферного давления на уровне моря, температура воздуха на 2-метровом горизонте и батиметрические данные в узлах расчетной сетки. Положение кромки льда задается путем ежедневного усвоения спутниковых многоканальных микроволновых данных (SSM/I и AMSR) по сплошности морского льда.

По результатам модельных расчетов и прогнозов выполнялась оценка повторяемости значительных высот волн (H_s – обеспеченность 13 %) для отдельных месяцев года. Сведения о распределении высот волн приводятся для российских арктических морей, начиная от Баренцева и заканчивая Чукотским морем. Они представлены в виде таблиц распределения ежедневных максимумов (число случаев) по градациям высот волн и месяцам. Несмотря на такой упрощенный подход в анализе режима ветрового волнения, данные таблицы хорошо передают развитие максимального волнения в арктических морях России по месяцам.

В обзорах также приводятся примеры полей ветра и волнения для случаев, характеризующихся наибольшим развитием высот волн на различных акваториях арктических морей.

Так, на режим волнения в 2007 г. существенное влияние оказало рекордное очищение ото льда акватории Арктического бассейна СЛО, способствующее более существенному развитию ветрового волнения, особенно в восточном секторе арктических морей России.

В Баренцевом море самым штормовым месяцем в 2007 г. был декабрь, когда высота волн превысила 12 м. В Карском море максимальное развитие (5–8 м) ветровое волнение получило в осенний период (сентябрь–октябрь). В море Лаптевых наибольшее число случаев с высотой волн от 5 до 10 м пришлось на октябрь. Для Восточно-Сибирского моря месяца сентябрь и октябрь оказались наиболее штормовыми (5–7 м). В Чукотском море максимальное волнение (5–7 м) пришлось на сентябрь и декабрь.

Анализ же результатов модельных расчетов ветрового волнения за 2008-й год показал, что в Баренцевом море самым штормовым месяцем был уже февраль, когда высота волн на входе в Баренцево море превысила 12 м. В Карском море максимальное развитие (7 м) ветровое волнение

получило в сентябре. На акваториях морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского в период с июля по сентябрь в основном развивалось волнение в диапазоне высот от 1 до 3 м. Волнение более 5 м в 2008 г. на акваториях морей восточной Арктики не имело места.

В последние годы успешно развиваются дистанционные методы измерений параметров состояния Мирового океана. Это в первую очередь альтиметровые спутниковые измерения характеристик поверхности, в том числе и высот ветровых волн (<http://www.aviso.oceanobs.com>). Предпринята попытка сопоставить модельные поля высот волн со спутниковыми измерениями. Получено качественное соответствие модельных и спутниковых данных по значительным высотам волн (размеры очагов и сами значения высот волн хорошо согласуются).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

И.А.НЕЕЛОВ¹, О.П.САВЧУК², А.В.КЛЕПИКОВ¹

¹ – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: klep@aari.ru

² – Стокгольмский университет, г. Стокгольм, Швеция. e-mail: oleg@mbox.su.se

Для моделирования циркуляции и изменчивости гидрохимических характеристик океана в северной полярной области используется совместная трехмерная модель, включающая в себя Северный Ледовитый океан с окраинными морями и часть Северной Атлантики. Модель имеет разрешение 28 км по горизонтальным координатам и 75 уровней по вертикали. Гидрофизическая модель имитирует изменчивость полей течений, температуры, солености и морского ледяного покрова. В качестве важнейших параметров экосистемы океана, через которые осуществляется круговорот биогенных элементов, выбраны сообщества гетеротрофов, автотрофов, косное органическое вещество (детритный азот, фосфор и кремний) и биогены (неорганические азот, фосфор и кремний), входящие в химико-биологический блок модели (Савчук, 2001). В модели учтен двухсторонний обмен с донными отложениями, который может быть важен для замыка-

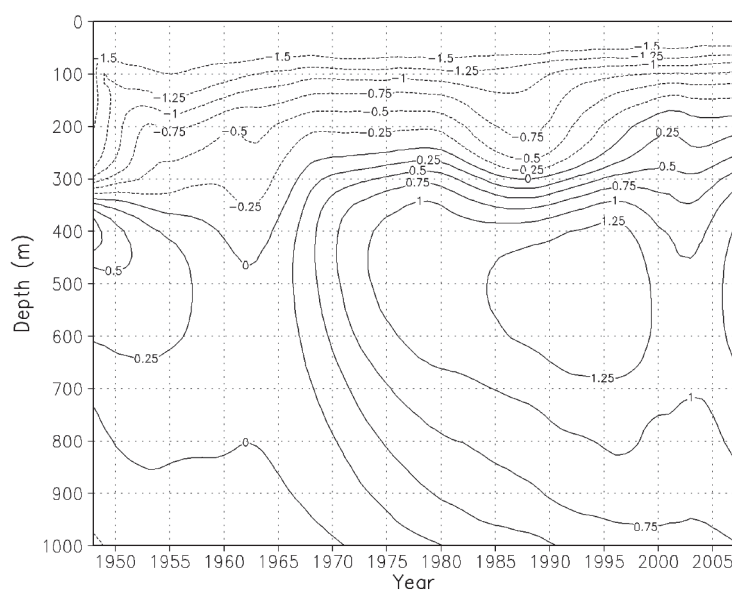


Рис.1. Среднегодовое изменение потенциальной температуры воды (°C) в верхнем тысячеметровом слое воды в районе к северу от Новосибирских островов (в точке 83° с.ш., 135° в.д.)

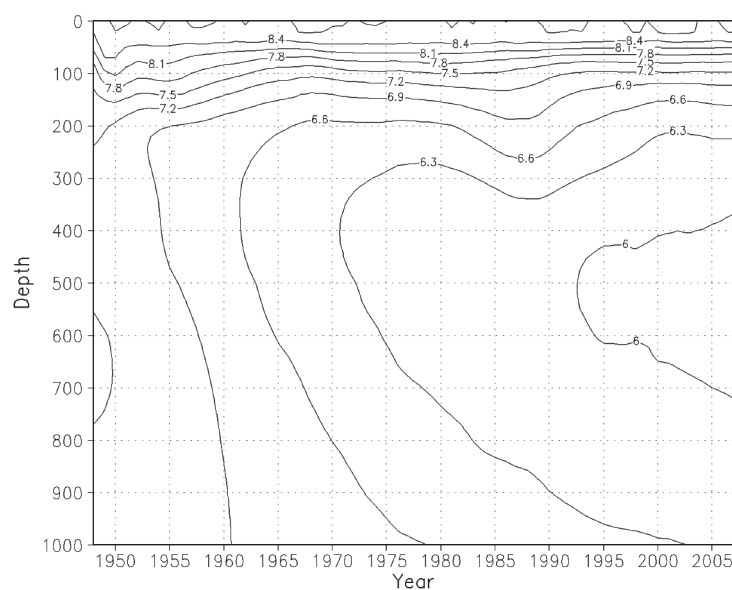


Рис.2. Среднегодовое изменение растворенного кислорода (мл/л) в верхнем тысячеметровом слое воды в районе к северу от Новосибирских островов (в точке 83° с.ш., 135° в.д.).

ния круговоротов вещества в межсезонном и межгодовом масштабе времени. Автотрофы представлены тремя видами: диатомовыми, флагеллятами и сине-зелеными водорослями, гетеротрофы — одним видом зоопланктона.

В качестве начальных условий используются поля значений гидрофизических и гидрохимических элементов из электронного атласа NOAA World Ocean Atlas 2005 (Levitus, 2006). В качестве атмосферного воздействия использовались данные 6-часового реанализа NCEP/NCAR с 1948 по 2008 г. Граничными условиями в Северной Атлантике служат результаты расчета циркуляции Мирового океана на сетке 1° по широте и 2° по долготе. Граничные условия для гидрохимического блока (нитраты, фосфаты, кремний и растворенный кислород) берутся также из атласа NOAA. Расход рек задается среднемесячными климатическими значениями, а химический состав стока рек задан среднегодовыми значениями. Расчет проводится с шагом 2 ч на срок 60 лет с 1948 по 2007-й г. По результатам расчета построены горизонтальные и вертикальные распределения гидрофизических и химико-биологических характеристик (рис. 1 и 2), рассчитана годовая первичная продукция фитопланктона. Результаты расчета удовлетворительно согласуются с полями, полученными по данным измерений.

К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ ПОТОКА ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В ЗАЛИВЕ ГРЕН-ФЬОРД

Г.А.ТАРАСОВ, О.В.КОКИН

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия. e-mail: tarasov@mmbi.info

Наиболее важной составляющей геологической деятельности стока талых ледниковых вод является вынос ими из ледниковосборной области большого количества тонкоиسترтого терригенного материала в море. Осадочный материал поставляется в море преимущественно в период летнего наиболее активного сокращения ледников и за счет этого материала на современном этапе развития арктических архипелагов в узких и глубоководных заливах и фиордах формируется внушительная толща илистых ледниково-морских осадков. В связи с этим большой интерес представляет получение реальной картины поступления осадочного материала в море в режиме годового цикла, хотя проведение таких исследований в полевых условиях сопряжено с определенными трудностями ввиду суровых погодных условий. Тем не менее нами в течение последних лет сделаны попытки получения количественной оценки потока осадочного вещества с использованием седиментологических ловушек в заливе Грен-фьорд на Западном Шпицбергене.

В ходе экспедиционных работ (2005–2009 гг.) нам удалось получить более достоверные данные об объеме поступающего на дно осадочного вещества в режиме годового цикла только в одном районе залива – в бухте, примыкающей к речной долине Грендален. В других районах залива, в виду потери седиментологических ловушек за счет срезания сезонным покровным льдом и других случаев, имеются лишь данные по кратковременным наблюдениям.

В районе Грендален (точка № 1) пробы осадочного вещества (взвесь) отбирались в разные годы с продолжительностью нахождения седиментологических ловушек в заданной точке от одних до 282 сут., тем самым были получены образцы проб фактически во все сезоны года. При этом ловушки находились в горизонте водного слоя 40 м при глубине моря 65 м, т.е. в 20 м от дна. Сводный график объема поступающего осадочного вещества в суточном интервале в пересчете на терригенную составляющую (после прокаливания пробы при температуре 450°) приведен на рис. 1. Как видно из графика, наибольшее количество осадочного материала приходится на последнюю декаду июня и весь июль со значениями порядка 180 г/м² в сутки. Как правило в этот период наступает половодье р. Грендален и наблюдается максимальный режим выноса осадочного вещества в залив. Здесь в приустьевой зоне, за счет обилия взвеси, на водной поверхности залива на фоне чистой морской воды формируется шлейф коричневатой окраски до нескольких сотен метров ширины и длины от устья реки. Поскольку гидрометеорологические условия в заливе крайне не устойчивы, наблюдается частая перемена направления ветра даже в течение суток и к тому же в заливе характерно реверсивное приливо-отливное течение, то полоса шлейфа взвеси постоянно меняет свое положение, отклоняясь или в глубь, или на выход залива. Соответственно осадочное вещество просеивается на довольно обширной площади дна залива. С наступлением холодов и замерзанием речной системы долины Грендален прекращается поступление осадочного вещества в залив. Соответственно в зимний период, особенно феврале–марте, отмечается практически нулевая седиментация. Даже весной, до начала половодья, в конце мая и начале июня суточная проба взвеси не превышает значения 0,2338 г/м². В целом

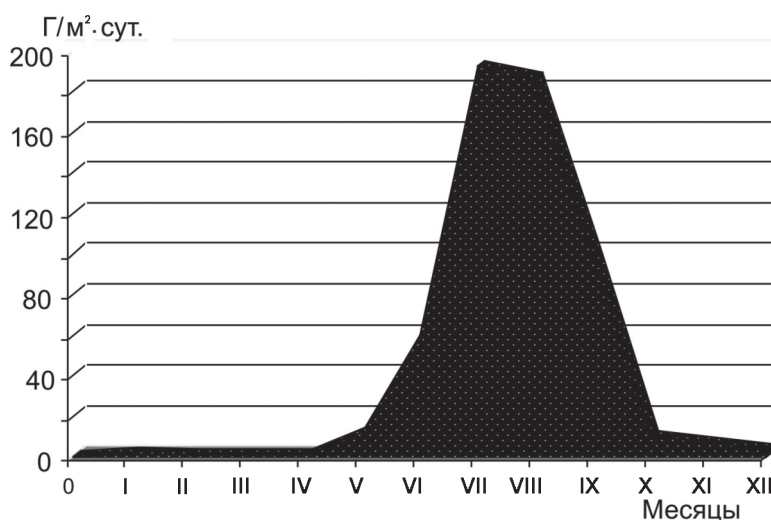


Рис.1. Расчетная кривая распределения поступающего осадочного вещества в залив Грен-фьорд

объем осадочного вещества, поступающего на дно, в годовом цикле составляет 10,8 кг/м² (9,1 – в летний период, а 1,7 кг/м² – в зимний период).

Таким образом, можно заключить, что основной вынос минерального вещества в залив осуществляется талыми ледниковыми водами с июня по сентябрь, т.е. в период активного таяния ледников. В составе взвеси в летний сезон преобладают минеральные частицы (до 88,9 %), доля органической составляющей увеличивается в период цветения моря. В зимний период существенно замедляется приток осадочного вещества в залив и для него характерна циркуляционная седиментация летне-осеннего поступления. Отмечается неравномерность седиментации осадочного материала в разных участках залива: основная часть минерального вещества оседает в приустьевых зонах рек и в депрессиях рельефа дна, а с удалением от источников выноса – понижается. Количественное содержание взвеси в заливе контролируется атмосферными и океанологическими факторами (скорость и направление ветра, волнение, течение, соленость, осадки и другие погодные явления).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОСНОВНЫХ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН ЮЖНОГО ОКЕАНА НА РАЗРЕЗЕ КЕЙПТАУН – СТ. МОЛОДЕЖНАЯ

Д.О.ДОРОНИН, В.В.ИОНОВ, А.К.ПАВЛОВ

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: doroninden@gmail.com

В последние годы исследования гидрологических фронтов и фронтальных зон приобрели особую значимость, так как они играют существенную роль в процессах перемешивания и динамического структурообразования океанских вод. Фронты рассматриваются как ключевая часть механизма крупномасштабного переноса тепла, соли, и количества движения через гидростатически устойчивую толщу океана. В настоящее время все большее значение приобретают океанологические наблюдения за термикой поверхности океана. При исследовании фронтальных зон и фронтов в океане важно полагаться на наиболее надежные и одновременно доступные способы измерения. Описаны основные способы и избранная методика определения положения (выявления) фронтальных структур по данным попутных измерений температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ). В работе представлены данные, полученные в ходе сезонной 54-й Российской антарктической экспедиции на пути от Кейптауна до ст. Молодежная, проходившей в период Международного полярного года 2007/08 гг. Измерения проводились проточным термометром с непрерывной регистрацией их автоматической судовой метеостанцией MILOS на НЭС «Академик Федоров». Цель работы – оценить пространственную изменчивость основных фронтальных зон Южного океана на разрезе между Африкой и Антарктидой, сравнивая их местоположение с данными литературных источников, и показать целесообразность использования высокодискретных измерений ТПСМ при определении синоптического положения фронтальных зон и фронтов Южного океана.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЕНТИЛЯЦИИ ГЛУБИННЫХ ВОД КОТЛОВИНЫ НАНСЕНА

А.П. НЕДАШКОВСКИЙ², Н.И. САВЕЛЬЕВА², Е.П. БОНДАРЕВА¹

¹— ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: *lena_kirillova@mail.ru*

²— Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: *nealpa@mail.ru, nina@poi.dvo.ru*

Современные океанографические наблюдения в Арктическом бассейне (АБ) показывают, что шельфовая и склоновая конвекция баренцевоморских вод играет важную роль в вентиляции промежуточных и донных вод. Как правило, баренцевоморские воды в АБ идентифицируются по экстремуму на *TS*-кривых, соответствующему условной плотности 27,97–28,00.

Результаты настоящего исследования, выполненные по данным океанографических наблюдений, проведенных в 26-м рейсе НЭС «Академик Федоров» в августе–сентябре 2007 г., позволяют определить вентиляцию верхнего слоя донных вод с помощью гидрохимических трассеров (кислорода и силикатов).

Показывается, что вентилирующие воды распространяются в котловину Нансена по желобам Св. Анны и Воронина. В верхнем слое донных вод ($\sigma_\theta = 28,00–28,05$; глубины 1000–1200 м) вентиляция приводит к росту кислорода (~ на 20 мкМ) и к уменьшению силикатов (~ на 2 мкМ).

На основании данных по распределению кислорода и силикатов на разрезах, выполненных перпендикулярно материковому склону в районе Северной Земли, оценены потоки кислорода и силикатов в верхнюю часть донных вод Котловины Нансена. Поток кислорода составляет ~ $+4 \cdot 10^{10}$ моль/год, поток силикатов ~ $-3 \cdot 10^9$ моль/год.

В предположении стационарности гидрохимического режима АБ сделаны оценки потоков убыли кислорода за счет биохимического потребления и прироста силикатов за счет растворения биогенного кремнезема, которые удовлетворительно согласуются с литературными данными.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗВЕСИ НАД НЕКОТОРЫМИ ПОДВОДНЫМИ ВОЗВЫШЕННОСТЯМИ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО ШЕЛЬФА

А.Н. ЧАРКИН¹, О.В. ДУДАРЕВ¹, И.П. СЕМИЛЕТОВ²

¹ – Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: charkin@poi.dvo.ru, dudarev@poi.dvo.ru

² – International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, USA. e-mail: igorsm@iarc.uaf.edu

Изучение литодинамических процессов на мелководье Восточно-Сибирского шельфа представляет интерес прежде всего в связи с проблемой теплового и гидродинамического разрушения подводных реликтов субаквального рельефа. С этой целью в районе банки Диомида (пролив Дмитрия Лаптева, Восточно-Сибирское море) и Семеновского мелководья (море Лаптевых) начиная с 1999 г. ТОИ ДВО РАН периодически проводит комплекс океанографических наблюдений.

Типовое поле взвеси в проливе Дмитрия Лаптева формируется при нормальных гидрометеорологических условиях (волнение моря < 1 м). Оно характеризуется 2–3-х кратным увеличением содержания взвеси в проливе ($ВМ = 1,5 \div 7,1$ мг/л) по сравнению с водами перед ним ($ВМ = 0,4 \div 3,4$ мг/л) на фоне ослабления двухслойной стратификации при входе в пролив до ее полного исчезновения над банкой. Объяснение выявленных пространственных различий РМ состоит в трансформации гидродинамических свойств потока в мелководном узком проливе. Поступающие сюда воды испытывают перемешивание, из-за чего формируется однородное по вертикали распределение тепла, термохалинных характеристик и содержания, еще более усиливающееся над поверхностью банки. Интенсификация эрозионных процессов во время штормов сопровождается увеличением значений ВМ относительно типового поля до $13 \div 20$ мг/л, т.е. примерно в 3 раза. Турбулентная диффузия вовлекает ремобилизованный со дна тонкозернистый материал в вертикальный обмен, и таким образом, усиливает насыщение взвесенесущего потока. Причина обогащения может связываться и с выведением осадочного материала из дальнейшего переноса вследствие торможения о поверхность банки.

Период работ на Семеновском мелководье совпал с фазой затухания 4-х бального юго-западного волнения, в связи с чем прослеживалась отчетливая корреляция роста содержания взвеси за счет донной ресуспензии с интенсивностью гидродинамических процессов. Депоцентр максимальных значений располагался вблизи Семеновской банки, где залегают осадки с высоким содержанием тонкозернистых фракций. Поэтому, при пересечении мелководья с северо-востока на юго-запад от Семеновской банки отмечалось последовательное уменьшение ВМ с 2 до 4-х раз. В районе Васильевской банки значения стабилизировались и практически не изменялись до бровки склона.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕТНИХ ТИХООКЕАНСКИХ ВОД В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

М.С. МАХОТИН, Л.А. ТИМОХОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: m-makhotin@mail.ru

Аномальное развитие океанологических процессов, происходивших в период проведения МПГ 2007/08, наблюдалось не только в поверхностном слое, где были зарегистрированы особенно большие отклонения температуры и солёности воды, но и в нижележащих слоях и, в том числе, в слое летних тихоокеанских вод (ЛТВ).

Тихоокеанские воды проникают в Чукотское море через Берингов пролив, распространяются по Канадскому бассейну и покидают СЛО через пролив Фрама. Летом в Чукотское море поступают теплые воды тихоокеанского происхождения, которые, дойдя до кромки льдов, в результате процессов охлаждения и осолонения, погружаются под поверхностные Арктические воды. В Арктическом бассейне летние тихоокеанские воды (ЛТВ) обнаруживаются по локальному максимуму температуры, превышающему изотерму $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне солёности от 31 до 33 ‰ и занимают глубины 50–100 м.

По результатам экспедиционных данных океанографических крупномасштабных съемок, покрывающих всю или значительную часть Канадского бассейна за период 1950, 1956, 1973–1978, а также 2007–2008 гг., были рассчитаны основные характеристики ЛТВ, а также определена оценка их изменчивости. Были построены карты распределения средних толщин, глубин залегания, границ распространения ЛТВ в Арктическом бассейне. Оценки изменчивости характеристик ЛТВ показывают, что площадь распространения вод изменялась от 800 тыс. км² (1977 г.) до 1,5 млн км². (2007) – 2 млн км². (1956), а их объем – от 25 тыс. км³ (1977) до 100 тыс. км³ (1956). Полученные оценки продемонстрировали наличие существенной межгодовой изменчивости характеристик ЛТВ.

В связи с тем, что ЛТВ играют значительную роль в формировании термохалинной структуры верхнего слоя СЛО, составляют половину пресноводного баланса Канадского бассейна, являются источником биогенных элементов, изучение механизмов, определяющих пространственно-временную изменчивость ЛТВ, является крайне актуальной задачей.

Для изучения межгодовой изменчивости был использован массив реконструированных полей температуры и солёности СЛО за зимний период с 1950 по 1993 гг. в узлах регулярной сетки, полученный спектральным методом объективного анализа, разработанным Покровским. Сравнительный анализ натуральных и реконструированных данных показал достаточно хорошую сходимость в значениях основных характеристик ЛТВ.

По восстановленным данным за 44-летний период были рассчитаны основные характеристики ЛТВ в Арктическом бассейне, такие как толщина, глубина и солёность на верхних и нижних границах, площадь распространения и объем. Полученные результаты подтвердили наличие существенной межгодовой изменчивости характеристик ЛТВ, отмеченных по экспедиционным данным.

Для определения влияния крупномасштабной циркуляции атмосферы на межгодовую изменчивость ЛТВ производился расчет коэффициентов корреляции значений толщин для всего периода наблюдений в каждой точке уже имеющейся гридированной сетки с крупномасштабными индексами атмосферной циркуляции, такими как АО, NAO, PDO (Pacific Decadal oscillation) и др.

В результате проведенного корреляционного анализа была выявлена взаимосвязь между индексом АО и границей положения ЛТВ в СЛО. При положительном значении АО, в целом соответствующим циклональной циркуляции над Арктикой, граница ЛТВ распространяется на восток по направлению к Гренландии и морю Линкольна. При отрицательных значениях АО, соответствующих антициклональному типу циркуляции, вытягивание границы ЛТВ вдоль Канадского Арктического архипелага не происходит, и основная масса ЛТВ вовлекается в круговорот Бофорта, что увеличивает время нахождения ЛТВ в СЛО.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ ЛЕТОМ 2007–2008 ГГ.

А.Е.НОВИХИН, Е.В.БЛОШКИНА, Ф.М.МАРТЫНОВ, О.А.МОРОЗОВА

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: asghard@rambler.ru

Сравнивая результаты летних рейсов в море Лаптевых 2007 и 2008 гг., стоит отметить, что мы имеем дело с двумя различными ситуациями. Различия заключаются как в метеорологических и гидрологических условиях, так и взаимосвязанных с ними распределениях ледяного покрова, гидрохимических и гидробиологических параметров.

Анализ распределения силикатов, как индикатора распространения речных вод, летом 2007 года отражает более сильное влияние речного стока на восточную – юго-восточную часть моря Лаптевых, с более высокой по отношению к климатической норме температурой поверхностного слоя и пониженным содержанием растворенного кислорода. Ярко выраженный центральный тип распределения речного стока летом 2008 г., а так же наличие больших площадей ледяного покрова в море Лаптевых вплоть до третьей декады августа, объясняет более низкие значения солености и температуры воды, а так же повышенное содержание растворенного кислорода в южной части моря Лаптевых по сравнению с 2007 г. В целом распределение солености, как в 2007, так и в 2008 гг., отражает различные степени влияния на формирование водных масс моря Лаптевых речного стока, таяния массивов морских льдов и водообмена с соседними районами.

С точки зрения распределения растворенного кислорода наиболее ярким различием двух годов является разная степень выраженности промежуточного весеннего максимума кислорода в северной и центральной части моря. Более ярко выраженный в 2007 г., летом 2008 г. он представляется размытым, хотя и более высоким по абсолютным значениям. Это отражает, также, формирование различных гидробиологических условий в летние периоды 2007–2008 гг.

Общий анализ распределения элементов гидрологического и гидрохимического режима в целом подтверждает выявленные ранее закономерности их расположения и функционирования, а также закономерности распространения водных масс. Однако данные этих двух рейсов показали, насколько широки пределы изменения различных параметров и самой структуры водных масс моря Лаптевых на современном этапе его существования.

РАСЧЕТ ТУРБУЛЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОД ДРЕЙФУЮЩИМ ЛЬДОМ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ ТЕЧЕНИЙ И k - L МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Е.В.БЛОШКИНА, Л.А.ТИМОХОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: bloskhinaev@mail.ru, ltim@aari.nw.ru

Роль турбулентных процессов в формировании потоков тепла, соли и импульса в поверхностном слое океана под ледяным покровом велика. Турбулентные потоки тепла и соли в приледном слое во многом определяют скорость таяния или нарастания льда, а в результате турбулентного перемешивания происходит распреснение или осолонение поверхностного слоя. В настоящее время турбулентный режим под ледяным покровом изучен слабо. Непосредственные измерения характеристик турбулентного режима в Арктике подо льдом немногочисленны. Для оценок потоков тепла в подледном пограничном слое используют преимущественно эмпирические формулы. Модели турбулентности редко используются для описания турбулентного режима под ледяным покровом и получении оценок турбулентных потоков импульса, соли и тепла.

Нами были использованы два способа получения вертикального распределения турбулентных характеристик. Первый способ - реконструкция турбулентного режима по измеренным профилям течений основывался на том, что для условия стационарного дрейфа льда профили скорости течений интегрально отражают режим турбулентности при данном распределении плотности воды. Таким образом, зная вертикальные профили течений и используя уравнение баланса турбулентной энергии, нами была решена обратная задача: по измеренным профилям течений были получены оценки характеристик турбулентного режима. Для расчетов были использованы результаты измерений величины скорости течения и его направления под ледяным покровом, обобщенные Беляковым по результатам собственных наблюдений и измерений других исследователей.

Второй способ получения вертикального распределения турбулентных характеристик — использование моделей. Нами была реализована k - L модель. Выбор именно этой одномерной модели для реализации поставленных целей обусловлен тем, что нас интересует не структура турбулентных характеристик, а их оценки в подледном пограничном слое океана. В результате расчетов нами были получены вертикальные распределения коэффициента турбулентного обмена, энергии турбулентности, масштаба турбулентного перемешивания для различных случаев стратификации. Форма профилей, полученных путем решения обратной задачи и с использованием k - L модели хорошо соответствуют друг другу. Менее всего между собой соотносятся графики вертикального распределения энергии турбулентности. Причина этого может быть в несогласованности профилей плотности и профилей течения, по которым ведутся расчеты и в использовании осредненных во времени и по пространству значений скорости и угла поворота течений, не учитывающих особенности процессов в каждом отдельном случае. Сравнительный анализ расчетов турбулентных характеристик по модели для средних климатических значений скорости дрейфа и результатов, полученных путем реконструкции турбулентного режима при решении обратной задачи, показали следующее. Значения коэффициента турбулентного обмена и энергии турбулентности, рассчитанных по k - L модели, несколько ниже по сравнению с результатами, полученными при решении обратной задачи. В целом профили турбулентных характеристик соответствуют известным данным непосредственных измерений и расчетам по другим моделям турбулентности. Таким образом, мы можем использовать одномерную k - L модель для получения в дальнейшем оценок турбулентных потоков тепла, соли и импульса.

СЕКЦИЯ «ПОЛЯРНЫЕ ОКЕАНЫ И КЛИМАТ, ПОСЛЕДСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЛЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В МОРСКОЙ АРКТИКЕ В НАЧАЛЕ ХХІ СТОЛЕТИЯ

Г.В.АЛЕКСЕЕВ, Н.Е.ИВАНОВ, А.В.ПНЮШКОВ, А.В.БАЛАКИН.

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: alexgv@aari.ru

Потепление в Арктике усилилось с середины 1990-х гг. и достигло максимального развития к 2007 г. В этот период произошло резкое сокращение площади, занимаемой морскими льдами в конце летнего периода. В Арктическом бассейне распространилась обширная положительная аномалия температуры в подповерхностном слое воды атлантического происхождения (АВ) и изменилось распределение пресной воды в верхнем слое. На этот климатический сдвиг пришлось возрождение арктических экспедиционных исследований, увенчавшееся проведением Международного полярного года 2007/08. Благодаря полученным за последние два десятилетия данным о состоянии водных масс, морских льдов и атмосферы оказалось возможным проследить развитие климатического феномена конца 1990-х – начала 2000-х гг. в морской Арктике и его связь с изменениями глобального климата.

Приповерхностная температура воздуха (ПТВ) после 1990 года быстро повышалась на 0,10 °С/год. Сравнение ПТВ самого теплого десятилетия во время первого потепления Арктики в 1930 – 1940-х гг. и десятилетия 1998–2007 гг. показало, что зима была теплее во время первого десятилетия, а остальные сезоны – в 1998–2007 гг., особенно в весенний и летний сезоны. Расчеты по ансамблю глобальных моделей климата СМIP3 существенно занижают ПТВ, особенно в летний сезон. Сокращение летней площади морских льдов резко ускорилось с 1998 года и продолжалось до 2007 г. До этого сентябрьская площадь льда в Сибирских морях не показывала тенденции к сокращению. По данным спутниковых наблюдений площадь льда в сентябре с 1998 по 2007 г. убывала быстрее в 10 раз, чем в предшествующий период.

Весьма впечатляющие океанографические данные были получены благодаря активным международным экспедиционным исследованиям в 1990-е и особенно в 2000-е гг., когда ежегодно выполнялись наблюдения в разных районах Арктического океана, получившие особый размах в 2007/08 гг. В этот период стал поступать большой объем океанографической информации с дрейфующих океанографических буев АТП. Значительное число океанографических станций почти на всей акватории Арктического бассейна в десятилетия 1990-х, 2000-х гг. и в период МПГ в 2007 г. позволило построить средние за десятилетия и за 2007 г. поля океанографических характеристик и их аномалий относительно 1970-х гг. Максимальное развитие аномалии получили в 2000-е гг. не только в слое атлантических вод (АВ), но и в верхнем слое. Из оценок максимальной температуры, верхней границы и глубины максимальной температуры АВ по пути их распространения в Арктическом бассейне по данным наблюдений с 1930-х гг. и по 2009-й г. составлены многолетние временные ряды, которые показали развитие во времени и по акватории Арктического бассейна климатической аномалии в этом слое.

Отмеченные климатические изменения не могут быть сведены лишь к проявлению глобального потепления антропогенного происхождения, поскольку они значительно превосходят изменения, воспроизводимые глобальными моделями климата. Проведенный анализ показал важную роль увеличения летнего притока тепла, связь аномалий в арктической климатической системе и в умеренных и низких широтах океана и атмосферы, изменения в структуре притоков тепла в морской Арктике.

Исследования проводились в рамках кластера проектов АНИИ по программе МПГ «Комплексные исследования центральной части Северного Ледовитого океана», целевой научно-технической программы Росгидромета на 2008–2010 гг. и при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 06-05-64054, 07-05-13358 офи-ц, 09-05-00232)

ПРОЯВЛЕНИЕ КОСМИКО-ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНОВ ПЛАНЕТЫ

В.А.БЕЛЯЗО, А.А.ДМИТРИЕВ

ГНЦ РФ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: vbeljazo@aari.nw.ru, admitriev@aari.nw.ru

Известно, что в непрерывной цепи земных природных процессов обнаруживаются различные по продолжительности и интенсивности стадии развития. Очевидно, что возникновение подобных стадий в атмосфере и океане обусловлено одновременным воздействием как земных, так и внешних факторов. К внешним факторам, прежде всего, относятся долгопериодные приливные явления, солнечная активность, колебания оси вращения Земли и ее скорости. Присутствие близких по продолжительности ритмов как в отмеченных факторах, так в стадиях природных процессов свидетельствует о взаимосвязанности всех этих явлений.

В конечном итоге, изменчивость всех указанных явлений обусловлена обращением Солнца и планет вокруг центра масс Солнечной системы. Суть этого состоит в том, что под воздействием гравитационного поля планет расстояние центра массы Солнца относительно центра масс Солнечной системы циклически изменяется, что характеризуется величиной диссимметрии (D_s). Эта величина определяется как параметрами планет, так и их орбитальными характеристиками.

К оценке роли диссимметрии в характере колебаний климата планеты в последние два десятилетия обращались многие авторы. Этому способствовало наличие расчетных данных по диссимметрии за большой ряд лет как за прошлые годы, так предстоящие годы.

В работах, посвященных этому вопросу, представлена последовательная схема передачи влияния величины диссимметрии Солнечной системы к элементам геодинамики, далее к объектам глобальной циркуляции атмосферы, а от них к термодинамике океанов и погодным условиям на континентах.

Учитывая сказанное, и тот факт, что значительную роль в изменчивости диссимметрии играют орбитальные характеристики (включая долготы перигелия и афелия, наклон эклиптических орбит планет, долготы пересечения планетами небесного экватора), нами были рассмотрены многолетние изменения природных характеристик по полярным регионам планеты для лет, приходящихся на определенные интервалы гелиодолгот внешних планет.

Выявленная многолетняя изменчивость атмосферной циркуляции по полярным регионам была сопоставлена с циклами обращения трех главных внешних планет — Юпитера, Сатурна и Урана. Для этой цели методом наложения эпох была подсчитана повторяемость форм циркуляции для лет, приходящихся на периоды 30° интервалов гелиодолгот рассматриваемых планет.

Результаты соответствующих вычислений показали, что характер изменчивости циркуляции в исследуемых регионах для различных периодов обращений указанных планет (12, 30 и 84 года соответственно) сохраняет определенную последовательность в смене преобразований (стадий) зональных и меридиональных процессов.

Изменчивость индексов зональной циркуляции Северной и Южной Атлантики обнаруживают обратный характер связи их повторяемости в рамках планетных циклов различной временной продолжительности. Эта особенность проявляется также в показателях температурного и ледового режима в приполярных районах Атлантики.

Установлено, что экстремальные аномалии атмосферной циркуляции и погодного режима этих районов приходятся на годы пересечения планетами солнечного экватора ($\lambda = 0$ и 180°), а также в годы наибольшего наклона их орбит относительно плоскости солнечного экватора ($\lambda = 90$ и 270°).

Отмеченный факт объясняется наклоном эклиптической орбиты планет относительно небесного экватора на угол $\pm 23^\circ 27'$, который приходится на интервалы долгот 90 – 120° и 240 – 270° . В то же время на долготах 0 – 30° и 180° планеты пересекают плоскость небесного экватора и их воздействие на солнечную активность и опосредовано на земные процессы становится наибольшим, что приводит к увеличению повторяемости меридиональных процессов.

Кроме этого нами были вычислены и совместно проанализированы многолетние данные средних аномалий температуры воды по северной части Тихого океана, ледовитости в морях восточной Арктики и индекса высокоширотной зональности, отражающего характер и динамику атмосферной циркуляции в Арктике.

Оказалось, что наиболее сложный фон ледовых условий в восточных арктических морях наблюдаются в годы нахождения планет на долготе 120° при повышенной высокоширотной зональности и пониженном фоне температуры воды в северной части Тихого океана. Пониженная ледовитость в восточных арктических морях наблюдается в годы нахождения планет на долготах

0–30° и 210–240°, когда чаще осуществляется среднеширотный тип зональности и повышенный фон температуры воды в северной части Тихого океана.

В процессе анализа характера связи циркуляционных процессов в северной и южной части Тихого океана, нами была также просчитана изменчивость индекса Южного колебания за 100-летний ряд по периодам обращения Юпитера. Выяснилось, что максимальные положительные значения индекса Южного колебания приходятся на период нахождения планет в точках, близких к моментам весеннего и осеннего равноденствия ($\lambda = 0^\circ$ и $\lambda = 150-180^\circ$), а отрицательные аномалии близки к периодам прохождения планетами точек летнего и зимнего солнцестояния ($\lambda = 60-90^\circ$ и $240-270^\circ$), что создает двойную волну, равную полупериоду цикла.

Проведенное сопоставление индекса Южного колебания со средними значениями величины, характеризующей колебание полюса вращения Земли, показывает, что максимальные отклонения полюса Земли приходятся на годы нахождения планет в точках весеннего и осеннего равноденствия. В эти периоды планета Земля и Солнце находится на одной линии радиуса вектора, выходящего из центра Солнца.

Кроме отмеченного были вычислены средние аномалии изменения расстояния большой полуоси Земля – Солнце, обусловленные дисимметрией на соответствующих интервалах долгот орбиты Юпитера. Расчеты показали, что экстремальные значения Южного колебания и мгновенного полюса вращения Земли обнаруживают обратный характер связи с изменением расстояния Солнце – Земля, которая, возможно, является первопричиной колебания этих параметров.

Произведя анализ характера связи природных процессов с относительно короткими циклами Юпитера, было рассмотрено влияние и более длительных циклов. В частности, по данным, рассчитанным по долготным интервалам планеты Уран (имеющим период обращения 84 года), индекс Южного колебания имеет также два максимума, приходящихся на годы нахождения планеты в точках весеннего и осеннего равноденствия ($\lambda = 0^\circ$ и 180°) и два периода пониженных значений индекса в периоды, близкие к долготам летнего и зимнего солнцестояния. Продолжительность этих периодов равна длине полуцикла орбиты (42 года).

Таким образом, анализ фактического материала по полярным регионам и океаническим бассейнам Северного и Южного полушария свидетельствуют о том, что между природными процессами этих регионов, несомненно, существует тесная взаимосвязь, поскольку, во-первых, все процессы едины и планетарны, во-вторых, они осуществлялись под непосредственным влиянием исключительно динамичной роли океанов, и, в-третьих, они постоянно находились под воздействием ряда промежуточных механизмов передающих изменчивость сил гравитации Солнечной системы.

ФЛУКТУАЦИИ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ В АРКТИКЕ В 1899–2008 ГГ.

Н.К. КОНОНОВА

Институт географии РАН, г. Москва, Россия. e-mail: NinaKononova@yandex.ru

В работе использована типизация циркуляционных процессов северного полушария, разработанная Б.Л.Дзердзеевским, В.М.Курганской и З.М.Витвицкой. Представление элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) в виде схем расположения и перемещения циклонов и антициклонов на всем полушарии позволяет определить в любом регионе характер циркуляции при данном ЭЦМ. На основании этого для каждого из 7 секторов Арктики (Атлантического, Европейского, Западно-Сибирского, Восточно-Сибирского, Дальневосточного, Тихоокеанского и Американского) выделены ЭЦМ, определяющие развитие циклонической или антициклонической циркуляции в данном секторе, и представлена динамика их продолжительности за 1899–2008 гг. в прибрежной (70–80° с.ш.) и приполюсной (80–90° с.ш.) зонах в холодное и теплое полугодие. Выявлены различия в соотношении циркуляционных процессов в период потепления Арктики в 30-е годы и в современный период. Показано, как современные тенденции продолжительности циркуляционных процессов северного полушария отражаются в различных секторах Арктики.

Поскольку в настоящее время отмечается тенденция увеличения продолжительности антициклонической циркуляции на всем Северном полушарии, рассмотрены периоды ее увеличения и уменьшения в различных секторах Арктики.

В прибрежной зоне в холодное полугодие в Восточно-Сибирском, Дальневосточном, Тихоокеанском и особенно Американском секторах продолжительность антициклонической циркуляции на 70–100 дней больше, чем в Атлантическом, Европейском и Западно-Сибирском (рис. 1а). Повышенная продолжительность во всех секторах отмечалась в начале XX века, пониженная в Восточно-Сибирском, Дальневосточном и Тихоокеанском секторах – в 1940–1950-е гг. и в современный период. В Американском секторе в 1940–1960-е гг. отмечалась повышенная продолжительность, в остальное время – колебание около средней величины. В Европейском секторе понижение продолжительности отмечалось в 1920-е гг. и с 1950-х гг. по настоящее время.

Выявились 2 группы секторов с разной тенденцией изменения продолжительности антициклонической циркуляции в последнее время: ниже средней многолетней – Атлантический, Западно-Сибирский и Тихоокеанский (выражена тенденция роста), Европейский (продолжается спад); колебания около средней – Восточно-Сибирский, Дальневосточный и Американский.

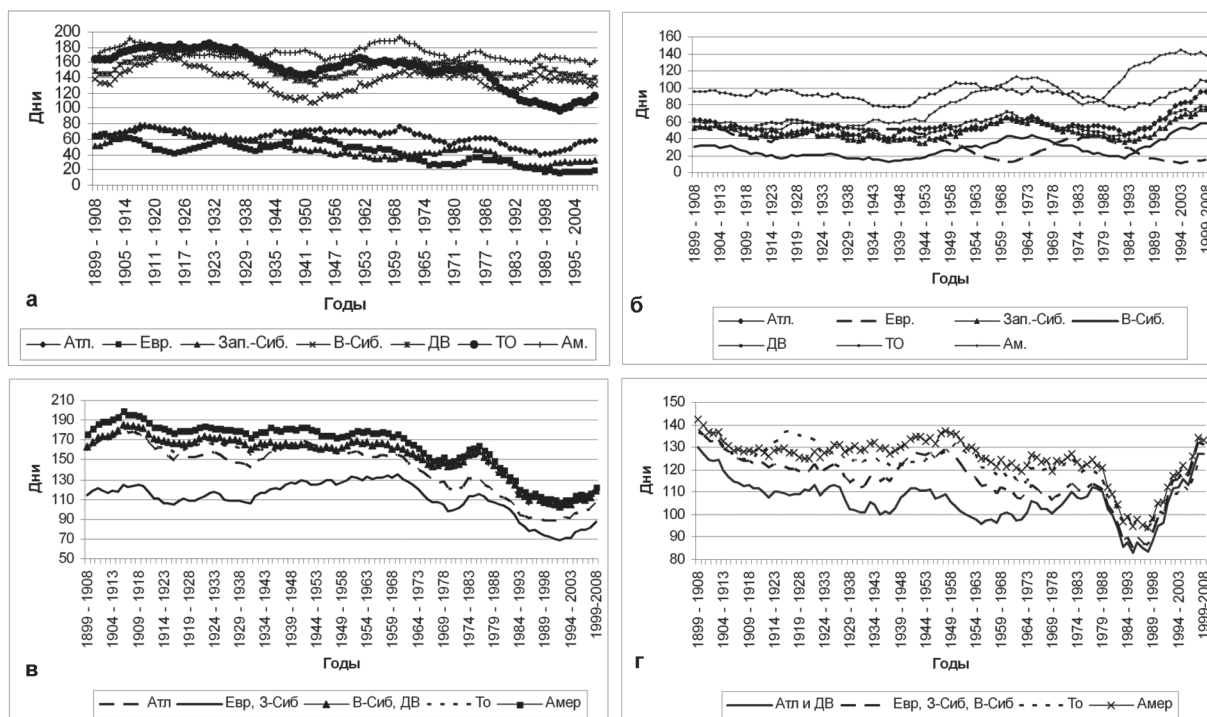


Рис. 1. Продолжительность антициклонической циркуляции в Арктике (10-летние скользящие средние): а – пояс 70–80° с.ш., холодное полугодие, б – пояс 70–80° с.ш., теплое полугодие, в – пояс 80–90° с.ш., холодное полугодие, г – пояс 80–90° с.ш., теплое полугодие.

В прибрежной зоне в теплое полугодие (рис. 1б) продолжительность антициклонической циркуляции в Тихоокеанском и Американском секторах наибольшая, особенно во второй половине XX и начале XXI вв. и достигает в Американском секторе в 1999 г. 182 дней, а в Тихоокеанском в 1995 г. 144 дней. Наименьшая продолжительность свойственна Европейскому и Восточно-Сибирскому секторам.

Выделились 3 группы секторов с разной тенденцией изменения продолжительности антициклонической циркуляции в последнее время. С середины 1990 гг. рост продолжительности и резкие колебания от года к году на уровне выше средней с максимальными значениями за весь период в начале XXI века отмечается в Атлантическом, Западно-Сибирском, Восточно-Сибирском и Дальневосточном секторах, где рост продолжается, а также в Тихоокеанском секторе. Рост продолжительности с конца 1970-х гг. с максимумом в 1999 г. произошел в Американском секторе. Спад продолжительности с начала 1960-х гг., колебания на уровне ниже средней с минимальными значениями, как в конце 1960-х — начале 1970-х гг., характерен для Европейского сектора.

Поскольку в приполюсной зоне сектора меньше по площади, чем в прибрежной, и подстилающая поверхность там более однородна, различия между секторами в характере циркуляции в период действия некоторых ЭЦМ также меньше, а в ряде случаев отсутствуют. В связи с этим продолжительность антициклонической циркуляции в этой зоне мало различается между секторами, а в ряде случаев одинакова.

В холодное полугодие антициклоническая циркуляция наиболее продолжительна в Американском секторе (180–200 дней в начале XX века, 110–120 — в начале XXI), наименее продолжительна — в Европейском и Западно-Сибирском секторах (120–125 дней в начале XX века, 135–138 дней в 1960-е годы, 60–90 дней в начале XXI века). Во всех секторах она убывает в течение XX века до минимума в конце века (рис. 1в). Некоторый подъем замечен в 1960-е гг. В начале XXI века во всех секторах отмечается тенденция роста.

В теплое полугодие во всем поясе происходит постепенное синхронное уменьшение продолжительности антициклонической циркуляции с начала XX века до начала 1980-х гг. Затем продолжительность резко уменьшается до уровня ниже средней, минимум отмечается в середине 1990-х гг. Сейчас происходит такой же интенсивный рост: во всех секторах в последние годы продолжительность антициклонической циркуляции выше средней.

Таким образом, колебания циркуляции атмосферы в Арктике во всех секторах в современный период существенно отличаются от колебаний в 1930-е гг. Тенденции изменения характера циркуляции атмосферы различны в разных секторах и широтных зонах, однако в большинстве секторов отмечается тенденция роста антициклонической циркуляции в последние годы как в холодное, так и в теплое полугодие. Такое положение согласуется с ростом продолжительности меридиональной северной группы циркуляции на полушарии в последние годы и уменьшением продолжительности меридиональной южной, обеспечивающей циклоническую циркуляцию в арктическом бассейне. Это обуславливает понижение температуры воздуха и уменьшение осадков в холодное полугодие и повышение температуры и уменьшение осадков в теплое. Особенно заметны такие тенденции в Восточно-Сибирском, Дальневосточном и Тихоокеанском секторах Арктики в связи со смещением на этот регион арктического антициклона.

ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ В СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКЕ

А.М.ПОЛЯКОВА

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: polyak@poi.dvo.ru

Типизация атмосферных процессов в приземном слое над акваторией северной части Тихого океана с прилегающими побережьями материков и акваториями дальневосточных морей выполнена с учетом траекторий циклонов и положения антициклонов. В качестве исходного материала послужили ежедневные приземные синоптические карты Тихого океана за 4 основных синоптических срока с 1949 по 1998 гг. В результате построения сборно-кинематических карт все многообразие синоптических процессов было классифицировано в 6 типов атмосферной циркуляции, которые были поименованы по географическому положению траекторий циклонов: северо-западный тип (СЗ); охотско-алеутский (ОА); широтный алеутский (ША); южный широтный (ЮШ); охотско-гавайский (ОГ); тип циклоны над океаном (Цн). Северо-западный тип атмосферных процессов характеризуется траекториями циклонов, пролегающими в северо-западной части Тихого океана, с запада-юго-запада на восток-северо-восток, от Японских островов в алеутскую депрессию. Траекториям циклонов этого типа свойственен сезонный ход, в теплое время года они стремятся к меридиональному направлению. Антициклонов два: классический сибирский антициклон над Дальним Востоком и Азией и на юго-востоке акватории. Общий перенос воздушных масс над северной половиной Тихого океана представлен одним квазистационарным циклоническим эллипсовидным вихрем, ориентированным своей длинной осью с запада-юго-запада на восток-северо-восток.

Охотско-алеутский тип характеризуется наличием над акваторией северной части Тихого океана двух изолированных депрессий: одна над Охотским морем, другая – алеутская депрессия. Обе депрессии разделены гребнем высокого давления, расположенном в меридиональном направлении и соединяющим антициклоны на юге акватории и в Арктическом бассейне. Основной перенос воздушных масс представлен двумя циклоническими квазистационарными вихрями, тяготеющими, соответственно, к Охотскому морю и области алеутской депрессии. В центральной части океана преобладают меридиональные потоки.

Широтный алеутский тип характеризуется траекториями циклонов с Охотского моря, вдоль Алеутских островов, вблизи 50-й параллели в алеутскую депрессию. Один антициклон лежит к югу от циклонической области, другой – над Арктикой. Перенос воздушных масс представлен двумя квазистационарными эллипсовидными вихрями: один-циклонический с длинной горизонтальной осью, расположенной вдоль Алеутских островов, другой-антициклонический – южнее циклонического.

Южный широтный тип обладает траекториями, расположенными в широтном направлении, от Японских островов на восток вблизи 45-й параллели в алеутскую депрессию. Перенос воздушных масс представлен двумя эллипсовидными вихрями, антициклонический расположен на севере Тихого океана, а циклонический – на юге.

Охотско-гавайский тип имеет две изолированные депрессии. Одна тяготеет к Охотскому морю, другая располагается вместо гавайского минимума. Система низкого давления представлена циклоническим вихрем эллипсовидного типа, большая ось которого ориентирована с северо-запада на юго-восток. Один антициклон находится на месте алеутского минимума, другой – к юго-западу от циклонического вихря. При действии ОГ типа наблюдается соответствующий перенос воздушных масс, создаваемый этими тремя вихрями. Это единственный тип атмосферных процессов, при котором вместо алеутского минимума наблюдается максимум, а вместо гавайского максимума – депрессия.

Тип *циклоны над океаном* характеризуется очень сложными и неустойчивыми траекториями циклонов, относительно географического положения. Основной типовой признак – наличие над северной частью Тихого океана циклонов и почти полное отсутствие ядер высокого давления, которые к тому же неустойчивы во времени и пространстве. Циркуляция воздушных масс, свойственная данному типу атмосферных процессов, представляет из себя ряд циклонических вихрей, входящих в один глобальный. Все типы атмосферных процессов имеют четко выраженный сезонный ход: наиболее интенсивны все типовые ситуации зимой, несколько слабее – осенью, еще слабее – весной и минимум интенсивности наблюдается летом. Особенно интенсивными бывают северо-западный, охотско-алеутский, широтный алеутский и тип циклоны над океаном. В периоды экстремального развития глубина циклонов может достигать 950 мб, а радиус – более тысячи миль. Минимальная непрерывная продолжительность действия каждого типа составляет 1 сут., а максимальная колеблется от 37 до 75 сут.

Непрерывная продолжительность действия в сутках типовых атмосферных процессов

Типы процессов	Продолжительность действия, сут.		
	минимальная	максимальная	средняя
1. Северо-западный	1	57	13,0
2. Охотско-алеутский	1	52	10,0
3. Широтный алеутский	1	60	8,0
4. Южный широтный	1	37	4,5
5. Охотско-гавайский	1	38	5,0
6. Циклоны над океаном	1	75	11,0

Средняя многолетняя повторяемость типов атмосферной циркуляции, %

Месяц	Тип атмосферной циркуляции					
	СЗ	ОА	ША	ЮШ	ОГ	Цн
I	30,4	13,9	6,9	9,0	5,0	34,8
II	42,6	11,3	6,0	7,8	5,3	27,0
III	42,6	21,3	8,7	4,2	9,7	13,5
IV	42,3	29,7	14,0	0,0	3,3	10,7
V	34,5	35,0	13,8	3,2	0,0	13,5
VI	46,0	27,3	8,0	3,7	1,7	13,3
VII	48,7	26,5	18,8	0,2	0,0	5,8
VIII	45,0	23,3	24,5	1,0	0,6	5,6
IX	32,2	32,6	21,0	3,6	0,0	10,6
X	26,4	28,7	21,0	0,0	2,3	21,6
XI	31,0	19,2	20,0	0,0	2,0	27,8
XII	27,0	17,7	13,4	3,2	2,6	36,1

Исследование суммарной продолжительности действия типов атмосферных процессов за год, три и пять лет позволило выявить определенную цикличность, свойственную каждому типу. У СЗ типа отмечается 3–5, 6–7, 11–12-летние циклы; у ОА – 2–3, 5–6, 11–12-летние циклы; у ША 2–3, 5–6, 11–12-летние циклы; ЮШ регулярно имеет всплески каждые 5–7 лет; ОГ тип 2–5, и в отдельные годы исчезает; Цн над океаном – 3–4, 11–12. СЗ тип за последние сорок лет имеет в целом общую тенденцию к увеличению своей суммарной продолжительности действия; ОА – с начала пятидесятых годов и до начала восьмидесятых – общую слабую тенденцию к падению, с середины восьмидесятых – наблюдался рост; ША – с 1955 г. имел тенденцию к увеличению суммарной продолжительности действия; Цн – до 1973 г. медленному падению, а затем медленному росту. Кроме того суммарная продолжительность действия в сутках всех типов обладает 20, 30 и 40-летними колебаниями.

ВЛИЯНИЕ АТЛАНТИЧЕСКОГО МУЛЬТИДЕКАДНОГО КОЛЕБАНИЯ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЯДЫ ГЛОБАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА И ПЛОЩАДЕЙ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА В РОССИЙСКИХ АРКТИЧЕСКИХ ШЕЛЬФОВЫХ МОРЯХ ЗА 100–150 ЛЕТ

О.М. ПОКРОВСКИЙ

Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: pokrov@main.mgo.rssi.ru

Выполнено исследование по анализу рядов глобальной температуры приземного воздуха и важнейших климатообразующих факторов: солнечная активность, температура поверхности океана, площадь ледового покрытия, концентрация углекислого газа в атмосфере. Показано, что современное потепление не является уникальным. В Европе после малого ледникового периода в конце XVII и начале XVIII веков происходило аналогичное потепление, вероятно, связанное с ростом солнечной активности после минимума Маундера. Фильтрация климатического шума с помощью нового метода сглаживания нестационарных климатических рядов позволяет выделить фундаментальное колебание климатической системы, имеющее масштаб по времени порядка 60–70 лет. Предложенный метод анализа нестационарной составляющей климатических рядов основан на композиции трех методов:

1. Локальной полиномиальной аппроксимации Кливленда;
2. Критерия кросс-валидации Вахба для отбора влияющих узлов;
3. Метода регуляризации Тихонова.

Существование этого колебания подтверждено независимым образом с помощью вейвлет анализа. Это колебание обнаружено в рядах температуры поверхности северной части Атлантического и Тихого океанов (индексы AMO и PDO), площади ледового покрытия (SIE – sea ice extent) в российских арктических морях и в глобальной температуре приземного воздуха (SAT–surface air temperature) за последние полтора века. Установлена статистически значимая связь AMO с глобальной SAT и с SIE в российских шельфовых арктических морях. Исследованы взаимные корреляционные функции за 150 и 100 лет для климатических рядов, в которых исключен тренд, изучены фазовые соответствующие сдвиги. Концентрация углекислого газа демонстрирует линейный рост за весь период наблюдений и поэтому сказывается только на общей тенденции роста температуры атмосферы, начиная с малого ледникового периода. Отмечается, что даже наиболее совершенные климатические модели могут воспроизводить только тенденцию роста глобальной температуры, сходную с трендом углекислого газа за прошлый период. Солнечная активность демонстрировала положительный волнообразный тренд за последние три века. Но, начиная с середины 90-х годов XX века, обнаруживается ее уменьшение, которое достигло в настоящее время значений предыдущего минимума конца XIX века. PDO находится в отрицательной фазе на протяжении последних 11–12 лет. AMO достигло максимальных значений, что доказывается нейтральным трендом за последние 10 лет.

ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ КОЛЕБАНИЯМИ КЛИМАТА В АРКТИКЕ И ТИХОМ ОКЕАНЕ

В.И.ПОНОМАРЕВ, Е.В.ДМИТРИЕВА, В.А.ПЕТРОВА, С.П.ШКОРБА

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: pvi711@yandex.ru

Изменения климата Земли даже за относительно небольшой период инструментальных измерений характеристик системы атмосфера – океан – ледяной покров (100–140 лет) включают колебания и тренды различных временных масштабов. Выделяют колебания климата с периодами от 60–70 лет, около 30 и 20 лет, квазидесятилетние колебания, колебания с масштабами от семи до двух лет, которые часто называют межгодовыми. Отмеченные колебания климата являются неоднородными по пространству, в том числе в высоких и умеренных широтах северного полушария. Выделяемые в разные полувековые и многолетние периоды значимые колебания климата имеют смещения доминирующих частот и различные соотношения между амплитудами колебаний разных временных масштабов. Соответственно изменяются статистические взаимосвязи между аномалиями характеристик атмосферы, ледяного покрова и океана в различных регионах нашей планеты.

Цель данной работы выявить особенности разномасштабных изменений климата в Азиатско-Тихоокеанском регионе и характерные взаимосвязи между климатическими изменениями в Арктике и различных районах Тихого океана к северу от 30° ю.ш., а также изменение этих взаимосвязей от первой половины периода инструментальных наблюдений ко второй, от тридцатилетнего периода до сдвига климатического режима в северной части Тихого океана в начале 70-х годов прошлого столетия к последующим 30-ти годам.

В работе использовались временные ряды ледовитости окраинных морей, приземной температуры воздуха в Азиатско-Тихоокеанском регионе, температуры поверхности Тихого океана к северу от 30° с.ш. (сеточный архив ТПО Хедли центра с месячным разрешением), поля метеорологического реанализа (NCEP NCAR), главным образом, результирующего потока тепла в атмосферу из океана и от поверхности океана в его нижележащие слои, а также временные ряды климатических индексов, включая индексы Блиновой, Арктического, Северо-Тихоокеанского и Южного колебаний, временные ряды аномалий центров действия атмосферы. Использовались методы корреляционного, кластерного, спектрального и вэйвлет анализа. Применение кластерного анализа дает возможность выделить различные совокупности (группы) близких по структуре временных рядов, характеризующих климатическую систему, а также определить, как изменяются содержание групп от одного исторического периода к другому, как изменяются взаимосвязи между климатическими параметрами.

В первой части работы показаны сезонные и региональные неоднородности климатического тренда приземной температуры воздуха и поверхности океана, а также теплообмена между океаном и атмосферой во второй половины XX столетия в высоких, умеренных и низких широтах Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). Показана связь этого тренда с фазой интердекадного колебания климата, имеющего период около 60 лет. Во второй части работы выявлены значимые взаимосвязи Арктического колебания с аномалиями ТПО в тропических и экваториальной областях Тихого океана с различными временными лагами. Показано, что в теплую фазу интердекадного колебания в Арктике усиливается взаимосвязь Арктического колебания (АК) с аномалиями ТПО в различных областях Тихого океана, преимущественно, в тропических и субтропических районах. При этом ослабевает связь аномалий ТПО в центральной и западной внетропических частях Тихого океана с Южным колебанием (колебанием Эль Нинье – Ла Нинья). Усиливается также связь АК с ТПО и ледовитостью дальневосточных окраинных морей, что связано с аномалиями центров действия атмосферы и Азиатско-Тихоокеанской муссонной системы.

Изменяется значимость и сезонность лаговых взаимосвязей аномалий ТПО в северной внетропической части Тихого океана как с Арктическим, так и с Южным колебаниями. Существенно усиливается связь между индексом Арктического колебания в весенний и особенно с летний сезон с аномалиями ТПО в тропических и субтропических районах Тихого океана в летний и последующий осенний сезоны. Отмеченные изменения статистических взаимосвязей в процессе глобального потепления сопровождаются изменением сезонности колебания аномалий ТПО между юго-западным субтропическим и центральным – северо-восточным субарктическим районами внетропической северной части Тихого океана.

В третьей части работы показано, что экстремальные аномалии потока тепла из океана в атмосферу в холодный период года в энергоактивной зоне течений Куроисио–Ойясио, как правило, сопровождаются значительными аномалиями погоды в северо-западной части Японского моря и в Приморье. В частности, экстремальная положительная аномалия притока тепла из океана в ат-

мосферу в отмеченной энергоактивной зоне зимой 2000/01 г. сопровождалась усилением зимних муссонных ветров в северо-западной части Японского моря и Приморье, минимальной ночной и средней суточной температурой воздуха в отдельные декады января и февраля 2001 г., обильными снегопадами на о-ве Хонсю (Японии). Именно в январе—марте 2001 г. впервые за многие годы произошла интенсивная вентиляция донных вод центральной котловины Японского моря. Новые холодные донные воды моря с повышенным содержанием растворенного кислорода формировались в районе глубокой котловины, прилегающей к зал. Петра Великого. В летние сезоны 1999 и 2000 гг., предшествовавшие суровым зимам 2000 и 2001 гг., наблюдались значительные отрицательные аномалии теплонакопления в энергоактивной зоне Куроисио- Ойясио. Летом 1999 г. был экстремально низкий показатель теплонакопления для этого района за последние 30 лет. Аналогичная ситуация сложилась в экстремально холодную зиму 2009—2010 гг.

КЛИМАТОЛОГИЯ ДЛЯ СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ ОСНОВАННАЯ НА НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОДХОДАХ: МЕТОДОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

А.А.КОРАБЛЕВ¹, А.В.СМИРНОВ^{1,2}

¹ – Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена (Нансен-центр), г. Берген, Норвегия. e-mail: alexander.korablev@nersc.no

² – ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: avsmir@aari.nw.ru

Datasets that are able to reproduce mean conditions and variability of oceanographic variables are essential for ocean climate change study. Compilation of the climatic datasets faces the challenges derived from scarcity of observations and drawbacks of methodology. To access spatial and temporal variability of the oceanographic variables irregular observations have to be converted into gridded fields. Geo-statistics provides various algorithms for data mapping but in oceanography it is complicated by non-stationary behavior of variables. Presence of the global trends and local drifts in the data require application of the advanced methods. Another problem is integration of observed data with temporal step sufficient for representation of variability. It is always a compromise between spatial coverage and uncertainty derived from measurements asynchrony. Existed climatologies were built on integration of all available data regardless year of observations that is not allows estimating of variability.

We have developed two-steps technology based on Intrinsic Kriging (IK) and Extended Kriging Modeling (EDK) approaches. The IK approach permits non-stationary modeling with definition of regional trends for a variable within defined moving neighborhood. Temporal integration step was selected as one month of a year ± 15 days to extend spatial coverage. To produce monthly gridded fields, initial observations were extracted from quality/duplicates controlled database for the Nordic Seas (60–82° N, 45° W–70° E) and interpolated at the standard depth levels. Gridded fields were computed by means of ISATIS commercial software and consist of estimated values for temperature and salinity on $0,25 \times 0,25^\circ$ grid and corresponding kriging standard deviations (KSD). Monthly fields were computed for each year with measurements since 1900 until 2009. The KSD provide information about quality of interpolation and depends on samples density relative to interpolation grid point. Another useful parameter for gridded fields quality assessment is standard deviations computed for time series in each estimated grid point. The mean fields were computed by arithmetic averaging of all monthly fields taking into consideration KSD and standard deviations. Together both parameters illuminate estimations with reduced quality that allows producing reliable climatological fields.

Computed mean fields were further used as input for EDK. Although IK provides satisfactory results (fig. 1), the monthly gridded fields can be improved by taking into account correct information about

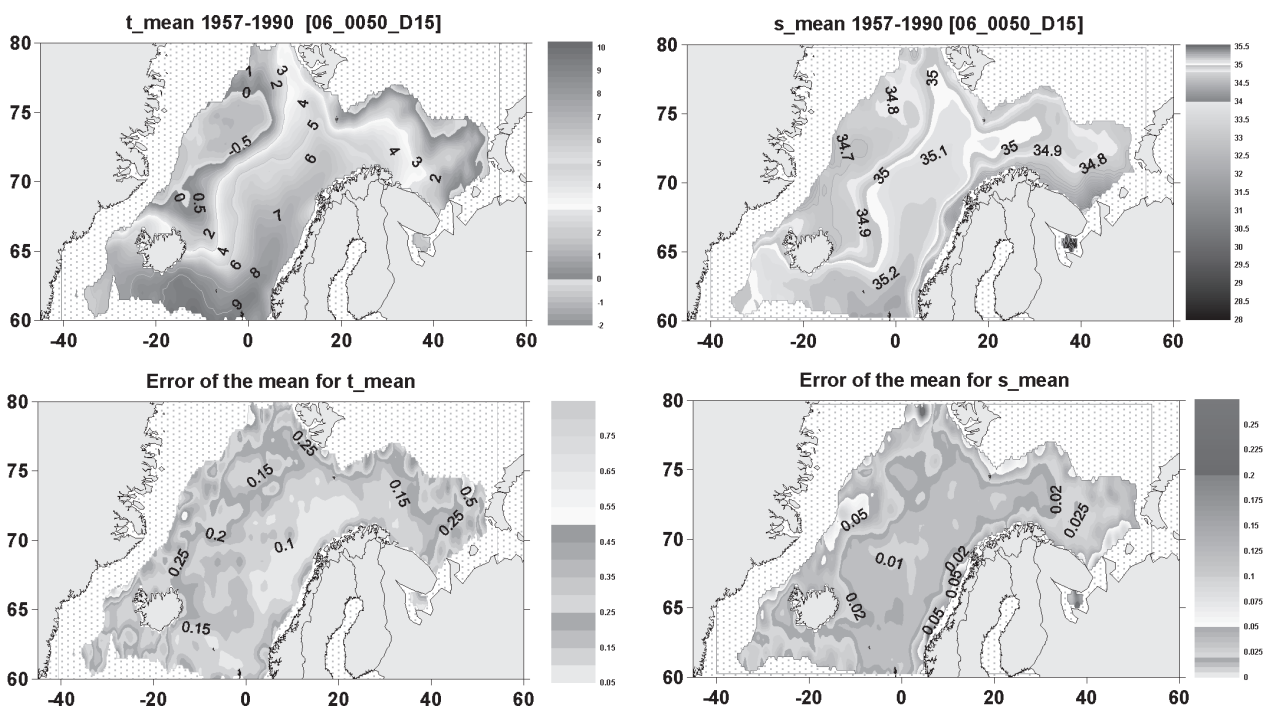


Fig.1. Mean temperature [°C] and salinity [psu] for 1957–1990 computed from monthly gridded fields (IK-model) at 50 m depth in June (upper panel) and corresponding error of the mean (low panel).

global trend in data. Universal Kriging (UK) approach also makes available global trend approximation but in the real data trends are too complex and cannot be described by simple function. Advantage of the second step is filling of gridded fields areas without good data coverage with support of knowledge of mean fields in each grid point. The EDK, like IK, provides temperature and salinity estimations and the KSD on $0,25 \times 0,25^\circ$ grid. Updated mean fields can be computed taking into account quality of variable estimation in the grid points.

Obtained climatological fields give information about mean state of a variable distribution for the certain time interval. We selected 1957–1990 as a reference period because of the most uniform spatial distribution of oceanographic stations and improved instruments accuracy. Comparison of the mean fields for 1957–1990 and 1900–2009 has shown that the last climatology is warmer and saltier due to both generally warmer and saltier before 1957 and after 1998.

The final climatic datasets consists on monthly gridded fields and abnormality of each year with observations can be estimated. Temporal variability in grid points or averaged within certain area or water mass gives information about long-term variability of the parameters. It allows distinguishing of periods with stable periods and abrupt changes in hydrographic regime. During more than one century of observations in the Nordic Seas (NS) significant shifts was connected with advection variations from adjusted North Atlantic/Arctic regions and alterations of air-sea interaction. Several strong low salinity anomalies of Arctic origin can be detected during the first decades of 20th century, for the late 1970s – early 1980s period, during the mid-1990s. Low salinity and density anomalies in the upper layer strongly reduced vertical convective exchanges of heat and salt. Contrary, a combination of high salinity regime and strong atmospheric cooling in the late 1960s – early 1970s resulted in enhanced vertical transport of heat and salt downwards in the Atlantic domain of the NS. At the same time deep convection in the Greenland Sea was exceptionally intensive transporting cold and fresh surface water to the great depth. Since the late 1990s the high temperature, high salinity and low density anomaly propagating through the NS to Arctic is the most pronounced phenomenon.

Developed algorithm of oceanographic data processing can be applied to different types of oceanographic data including horizontal fields, vertical sections and three- dimensional surveys. Three dimensional geo-statistical modeling of oceanographic data is very promising since permits skipping the vertical interpolation procedure which is a source for significant errors. Temporal synchronization of initial observations by elimination of the mean seasonal variations that can be extracted from monthly climatological fields is another possible improvement of considered methodology

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АНОМАЛИИ СОЛЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

А.В.ПОПОВ¹, А.В.РУБЧЕНЯ²

¹ – ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: a_porov@aari.nw.ru

² – Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Во второй половине XX века в Северной Атлантике (СА) отмечены три значимые аномалии распреснения поверхностных вод. В иностранной литературе этим аномалиям присвоено имя собственное – «Великая соленосная аномалия» (ВСА). Соответственно выделяются ВСА-70-х, ВСА-80-х и ВСА-90-х гг. ВСА-70-х впервые отмечена в районе к северу от Исландии весной 1965 г. Ядро этой аномалии было прослежено в пределах субарктического круговорота в течении более чем 10 лет. Диксон (R.R.Dickson, J.Meinke, S.-A.Malmberg, A.J.Lee. The «Great Salinity Anomaly» in the northern North Atlantic 1968–82. Progress in Oceanography, 1988. Vol. 20. P. 103–151) описал это явление как одно из наиболее резких и продолжительных изменений в климате океана, отмеченных в XX веке. Ядро ВСА-80-х циркулировало в области субполярного круговорота с 1982 по 1988 г. ВСА-90-х наблюдалась в Северной Атлантике (СА) с 1989 по 1993–1995 гг. Появлению всех ВСА в СА предшествовал рост ледовитости в западной части Гренландского моря (ГМ), т.е. сигнал распреснения поступал, из Арктического бассейна через пролив Фрама. В докладе выполнено сравнение условий формирования ВСА прошлых лет и показано, что в настоящий момент уже выполнены все условия формирования и началось распространение ВСА-2010-х в СА. Анализ показывает, что эта аномалия по своим характеристикам должна превзойти все предыдущие, а климатические последствия ее распространения будут выражены более ярко, чем последствия ВСА-70-х. ВСА-70-х сопровождалось увеличением ледовитости арктических морей, понижением температуры в прибрежной зоне арктических морей и в Европе. Резко уменьшился уровень Каспийского моря. Представлены соответствующие графики и выполнен кросскорреляционный анализ.

В работах автора последних лет показано, что соленость поверхностных вод ГМ, а следовательно и его ледовитость, в значительной степени обуславливается процессами, происходящими в арктических заприпайных полыньях. Уменьшение солености поверхностных вод Ян-Майенского течения наступает через 2–4 года после увеличения ледопродуктивности полыней Карского моря – коэффициент корреляции составляет 0,63–0,72. Аналогичный результат получен для связи ледопродуктивности полыней моря Лаптевых и солености поверхностных вод Восточно-Гренландского течения.

Продолжительная экспансия распресненных, холодных арктических поверхностных вод в СА сопровождается значительной перестройкой атмосферной циркуляции. Увеличение ледовитости ГМ приводит к уменьшению индекса Северо-Атлантического колебания - в зависимости от месяца года, коэффициент корреляции изменяется в пределах от –0,37 до –0,91, для средних за год значений $R = -0,85$. Распространение аномалии сопровождается обострением океанических и атмосферных фронтов, происходит углубление Исландской депрессии, что приводит к увеличению повторяемости процессов восточной формы макроциркуляции Е. Процессы восточной формы макроциркуляции Е характеризуются максимальным развитием Исландского минимума, наличием стационарных волн большой амплитуды в толще тропосферы и меридиональным расположением областей аномалий температуры и давления. Над Европейским континентом развивается стационарный антициклон, который блокирует западно-восточное смещение циклонов и обуславливает интенсивное выхолаживание. В области атмосферных фронтов происходит интенсивное выпадение осадков. Развитие Е формы макроциркуляции определяет угнетение заприпайных полыней, коэффициент корреляции изменяется от –0,63 до –0,78. В Арктике увеличивается ледовитость и происходит понижение температуры воздуха в прибрежной зоне арктических морей.

Начало экспансии распресненных вод в Северной Атлантике в декабре 2009 г. и январе 2010 г. проявилось в том, что впервые за последние годы резко увеличилась повторяемость процессов восточной формы макроциркуляции Е – наблюдались соответствующие погодные катаклизмы. Выход ядра аномалии в СА наиболее вероятен в 2010–2013 гг., а его нахождение в пределах субарктического круговорота составит не менее 10 лет. Таким образом, мы стоим на пороге достаточно длительного периода похолодания.

ОЦЕНКА РОЛИ ПРИЛИВА В ФОРМИРОВАНИИ КЛИМАТА ВОД И МОРСКОГО ЛЬДА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Н.Г.ЯКОВЛЕВ

Институт вычислительной математики РАН, г. Москва, Россия. e-mail:iakovlev@inm.ras.ru

Для исследования роли приливов в формирование климата Северного ледовитого океана была проведена серия расчетов для периода 1948–2007 гг. с новой версией модели совместной динамики океана и динамики-термодинамики морского льда. Основной вопрос, который при этом ставился: приливы стабилизируют или дестабилизируют состояние морского льда в процессе глобального потепления?

В расчетах учитывался только прилив M_2 (колебания уровня и расходы задавались из расчетов, проведенных по приливной модели Ковалика и Прошутинского). При этом была получена качественно верная картина колебаний уровня океана и абсолютной скорости приливных течений внутри модельной области. Несколько заниженные скорости течений получены на Сибирском шельфе – местами в два раза ниже оцениваемых по моделям высокого разрешения и наблюдениям. В Центральной Арктике получены скорости приливных течений порядка 1–3 см/с, на шельфе Баренцева моря скорости достигают 40 см/с – эти значения вполне сравнимы с имеющимися данными. Поскольку критерием качества воспроизведения прилива в данном случае является именно скорость приливных течений, а не колебания уровня океана, результат можно считать удовлетворительным для выбранного пространственного разрешения – не только горизонтального, но, что особенно важно в данном случае – и вертикального. Улучшение качества воспроизведения характеристик прилива было достигнуто за счет модификации модели – изменения схемы по времени и выбора граничного условия.

Анализ предварительных результатов расчетов показал, что ключевым вопросом при оценке роли приливов в формировании ледового покрова является описание силы сопротивления океана дрейфу льда. Выбор коэффициента оказывает существенное влияние на интерпретацию роли прилива в формировании ледового покрова – можно получить как уменьшение толщины и площади ледового покрова, так и их увеличение.

Расчеты показали, что модель чувствительна к выбору коэффициента сопротивления в пределах 0,0055–0,055. Выбор коэффициента сопротивления в 1000 раз больше стандартного 0,0055 дает результаты, сопоставимые с коэффициентом в 10 раз больше стандартного. Сравнение данных расчетов со стандартным и в десять раз большими коэффициентами показывает, что выбор коэффициента имеет существенное значение, и большой коэффициент сопротивления приводит к образованию в Центральной Арктике льда на 100 см более толстого, чем в случае со стандартным. Это происходит, несмотря на то, что скорости приливных течений в Центральной Арктике незначительны и составляют порядка 1–3 см/с. Очевидно, что такое изменение связано с изменением разности скоростей течений и дрейфа льда и с нелокальным характером формирования ледового покрова.

В настоящее время сила сопротивления дрейфу льда описывается либо квадратичным законом сопротивления с постоянным коэффициентом, справедливым для сопротивления пластины («парящий лед»), либо параметризацией типа «погруженного льда» Хиблера, основанной на гипотезе о точной функциональной зависимости скоростей верхнего слоя океана и льда. Ясно, что в случае, например, припаяя последняя параметризация не работает. Лабораторные эксперименты и расчеты по вихреразрешающим моделям показывают, что сопротивление океана дрейфу льда представляет собой в общем случае сложную нелинейную зависимость даже в случае одиночного тороса и постоянства относительных скоростей течений и дрейфа льда. В любом случае в стратифицированной жидкости сопротивление дрейфу не описывается простым аэродинамическим квадратичным законом.

В докладе представлен новый алгоритм расчета сопротивления дрейфу льда, основанный на основе теории волнового сопротивления и сопротивления блокированным потоком, разработанной ранее для оценки для сопротивления гор стратифицированным течениям в атмосфере и адаптированной автором для дрейфующего морского льда. В новой параметризации учитывается стратификация верхнего слоя океана, сплоченность различных градаций льда по толщине, характерный размер льдин данной градации и распределение льда по градациям толщины. Новым результатом является обобщение учета кильватерного эффекта при движении ансамбля льдин различной толщины (что уменьшает роль сопротивления блокированным потоком в сплоченном льду) и введение эффект ветровых волн, также играющего важную роль на кромке льда.

Проведены многочисленные расчеты с различными вариантами параметризации сопротивления дрейфу льда, с приливом и без прилива. Показано, что модель чувствительна к выбору ко-

эфициента сопротивления. Использование новой параметризации при реалистичном выборе параметров привело к более быстрому таянию льда за последнюю декаду по сравнению со случаем без прилива. Механизм чувствительности морского льда к приливу состоит в балансе между вариациями потока тепла за счет изменения относительной скорости и более интенсивным торошением льда с образованием открытой воды (летом это способствует более интенсивному прогреву океана, зимой – более интенсивному образованию молодого льда).

В используемой параметризации не учитывались такие эффекты, как неравномерность частоты Вайсяля-Брендта по вертикали и нестационарность набегающего потока. Кроме того, не учитывалось взаимодействие прилива и особенностей рельефа дна с образованием внутренних волн и более интенсивным вертикальным перемешиванием. Дается краткий анализ важности этих эффектов.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

В.Д.БОЙЦОВ

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М.Книповича (ПИНРО), г. Мурманск, Россия. e-mail: boitsov@pinro.ru

В настоящий период уже достаточно длительное время во многих районах Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна сохраняется повышенный тепловой фон воздушных масс и морских вод верхнего слоя. Это наблюдается и в Баренцевом море, где существует протяженный фронтальный раздел между водами атлантического генезиса и Арктики. Этот фактор, а также некоторые другие определяют его пространственную климатическую неоднородность. Однако при однонаправленной долговременной изменчивости параметров крупномасштабных циркуляционных структур водных и воздушных масс динамика составляющих локальной климатической системы должна иметь одинаковый с макропроцессами тренд, несмотря на свою внутреннюю гетерогенность.

Для оценки многолетней динамики климата Баренцева моря использовались показатели теплового состояния атмосферы и водных масс, а также его ледовитости. Сумма нормированных их значений на соответствующее стандартное отклонение (сигму) представляет собой индекс, характеризующий состояние климатической системы этого района.

Анализ межгодовых колебаний климатического индекса с 1900 г. позволил выявить два продолжительных холодных и два теплых периода. Современное повышение уровня теплового состояния воздушных и водных масс Баренцева моря началось в конце 90-х годов прошлого столетия. Только в 1997 и 1998 гг. произошло кратковременное понижение климатического индекса (рис. 1) поскольку температура воздуха и воды в этот период была несколько ниже нормы.

В 2000–2009 гг. были зафиксированы только положительные аномалии температуры воздуха и воды Баренцева моря, а ледовые условия ниже нормы. В 2006 г. зарегистрирован максимум среднегодовой температуры воды Мурманского течения и минимум ледовитости моря за весь период наблюдений. Поэтому и значение климатического индекса оказалось наибольшим.

По данным наблюдений на прибрежных станциях в 2007 г. в районе Баренцева моря была зарегистрирована максимальная среднегодовая температура воздуха с 1951 г. (рис. 2). Ее сред-

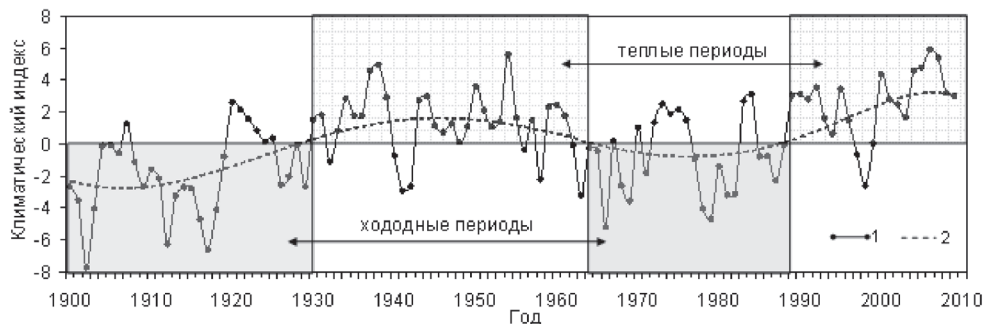


Рис. 1. Межгодовая изменчивость климатического индекса Баренцева моря в 1900–2009 гг. (1) и его квазивековой цикл (2)

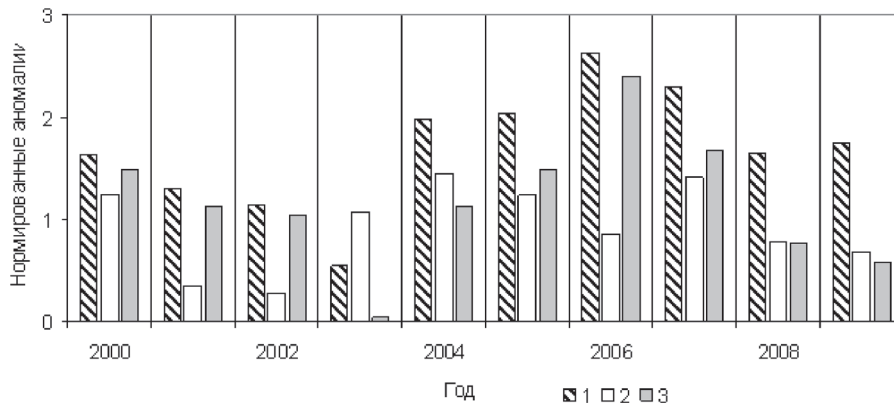


Рис. 2. Нормированные на сигму аномалии среднегодовых значений температуры воды слоя 0–200 м Мурманского течения (1), средней температуры воздуха в районе о-вов Вардё, Медвежий, м. Канин Нос (2) и площади Баренцева моря безо льда (3) в 2000–2009 гг.

няя аномалия для районов о-вов Варде, о. Медвежий и м. Канин Нос составила 1,9 °С. В 2008 г. средняя температура воздуха по данным этих метеорологических станций была на 0,8 °С ниже.

По наблюдениям на разрезе «Кольский меридиан» 2007 г. относится к группе аномально теплых лет. В первой половине года температура воды слоя 0–200 м Мурманского течения превышала норму более чем на 1 °С, а в марте и апреле она была экстремально высокой за почти 60-летний период измерений этого параметра. Во второй половине 2007 г. средняя аномалия температуры воды атлантического генезиса составила 0,8 °С. В 2008 г. только в январе-апреле она соответствовала уровню предыдущего года, а слое 150–200 м даже несколько превышала его. В последующие месяцы произошло значительное уменьшение ее положительных аномалий. Так в июле–октябре в слое 0–200 м они в 2–4 раза были меньше, чем в 2007 г. В целом теплосодержание вод 2008 г. оценивается как переходящее от высокого уровня к аномально высокому.

Несмотря на то, что в 2007 г. температура воздуха и воды Баренцева моря была выше, чем в 2008 г. их среднегодовая абсолютная площадь морского льда на его акватории по данным спутниковых наблюдений, представленных на сайте ААНИИ, оказалась примерно одинакова и соответственно на 206 и 232 тыс. км² меньше нормы. Следует отметить, что в 2006–2008 гг. ледовые условия в Баренцевом море были самые легкие за период спутниковых наблюдений с 1979 г. В теплые годы зимой скорость увеличения, а летом уменьшения площади льда от месяца к месяцу в основном меньше, чем по среднесезонным данным и в холодные годы. В теплые климатические фазы кромка льда начинает смещаться в северном направлении на месяц раньше обычного.

Таким образом, в период проведения исследований по программе Международного полярного года в Баренцевом море во все месяцы наблюдался высокий уровень теплосодержания воздушных и водных масс и его низкая ледовитость. В августе и сентябре практически льда в море не было. Это позволило провести океанографические наблюдения на севере Баренцева моря и на прилегающей акватории Арктики, оценить особенности кормовой базы промысловых видов рыб и их распределение на северной границе ареала. Вероятно, максимум современного потепления в море пришелся на 2006–2007 гг. В последующие два года значение климатического индекса уменьшилось почти в 2 раза. В ближайшей перспективе тенденция к уменьшению теплосодержания воздушных и водных масс Баренцева моря вероятно сохранится.

**ФЬОРД РУССКАЯ ГАВАНЬ, СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ БАРЕНЦЕВА МОРЯ:
УНИКАЛЬНЫЕ МОРСКИЕ АРХИВЫ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ
В ТЕЧЕНИЕ МАЛОГО ЛЕДНИКОВОГО ПЕРИОДА И НЕДАВНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ**

Е.В.ИВАНОВА, И.О.МУРДМАА

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва, Россия. e-mail: e_v_ivanova@ocean.ru, murdmaa@mail.ru

The 6-m long sediment core ASV-987 from the high Arctic Russian Gavan' Fjord, Novaya Zemlya, provides a high-resolution (up to decadal) record of the Medieval Warm Period (MWP), the Little Ice Age (LIA), and the Recent Warming (20-th century). The objective of the study is to re-examine our previous multi-proxy results on these specific climatic events (Murdmaa et al., 2004; Polyak et al., 2004) with respect to variations in the Atlantic water inflow into the Barents Sea and NAO index using the new information available on these forcing factors from paleodata and modeling experiments. Sediments of the fjord deep recovered by the core are almost totally derived from the Shokalsky glacier meltwater load, as inferred from distribution patterns of suspended material in surface waters. Nearly constant high <0,001 mm clay fraction content (about 50 %) and uniform composition of clay minerals (domination of illite and kaolinite+chlorite) support this suggestion. Sedimentation rates are controlled: (1) by the distance from ASV-987 site to the glacier front (i.e. by its advance to the fjord and retreat to the land). This, in turn, depends on the relationship between the glacier growth rate in winter (i.e. cyclonic activity, snowfalls) and its melting rate in summer; (2) by the intensity of glacier melting (depending on summer air temperature and duration). Therefore, variations in sedimentation rates indirectly (via the glacier behavior) document climate changes (NAO/AO) and related Atlantic water inflow into the Barents Sea.

High sedimentation rates (1,2–1,8 cm/yr) characterize the early LIA, with maximum at 1430–1490 AD, when a major glacier advance into the fjord likely occurred owing to the increased winter cyclonic activity inferred from the GISP2 ice core (Meeker, Mayewski, 2002). However, the high sedimentation rates would be impossible without intense glacier melting in summer seasons, thus pointing to seasonal air (and surface water) temperature contrasts. Note, the early LIA interval (1400–1600 AD) is also characterized by lamination, high TOC % and MAR, high-amplitude oscillations in oxygen and especially carbon isotopes ($\delta^{13}\text{C}$) measured on benthic foraminifera and several peaks of microfossil abundance suggesting high biological productivity. IRD (mainly iceberg rafting) was especially intensive in 16th century, possibly due to destruction of the advanced glacier in the fjord. Melting of icebergs from below resulting in dropstones release assumes warmer subsurface transformed Atlantic water inflow into the fjord. The late LIA, after 1600 AD, including its culmination in 17th century and following global warming, is worse documented in Core ASV-987. It is characterized by less distinct lamination of sediments, lower coarse fractions content, reduced amount of micro- and macrobenthos, as well as by slowing down of sedimentation rates. Owing to a lack of carbonate material for the radiocarbon dating, we could not estimate the real sedimentation rates. However, dates from other intervals allow us to assume a three-fold drop of the sedimentation rate near the boundary between 16th and 17th centuries which seems to reflect a considerable glacier front retreat from the fjord in 17th century. The productivity drop at ~ 1600 AD possibly reflects cold summer seasons with restricted glacier melting and almost permanent sea ice cover in the fjord. Weakening of the Atlantic water inflow during the LIA culmination likely led to a southward migration of the Polar Front and summer sea ice margin in the Barents Sea. Cold and freshened Arctic waters possibly filled the Russian Gavan' Fjord below the almost permanent ice cover. This assumption is in line with modeling experiments that demonstrated a probable shut-down of the Atlantic water inflow and increase in the sea ice extent in the Barents Sea during the cooling events (Semenov et al., 2009).

The pronounced differences in the early and late LIA environments are consistent with changes in the dominant NAO index controlling winter cyclonic activity in the North Atlantic. So far as paleoclimate data fail to confirm any significant summer temperature decrease at the beginning of LIA, we suggest that the glaciers advance on the Novaya Zemlya was at least partially controlled by winter atmospheric circulation. The remarkable increase of marine salt ions concentration in the GISP2 ice core during the early LIA, at about 1400 AD, pointing to strengthening of the Icelandic Low in winter seasons (Meeker, Mayewski, 2002), with corresponding cyclons penetration into the Barents Sea, supports such suggestion. New NAO record by Trouet and co-authors (2009), although rather different from the Icelandic Low record by Meeker and Mayewski (2002), shows in fact that the dominant positive NAO index during the Medieval Warming gradually changed over the early LIA to a dominant negative NAO index during the late LIA. The latter is in line with our interpretation of the different environmental regimes in the Russian Gavan' Fjord during these three time intervals.

The study is partly supported by the RFBR grant 10-05-91332-DFG_a.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ НА АКВАТОРИИ ЮГО-ВОСТОКА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

И. В. ГРИЩЕНКО

ГУ «Архангельский ЦГМС-Р», г. Архангельск, Россия. e-mail: sevngmc@arh.ru

Температура воздуха является одной из важнейших метеорологических величин, наиболее полно характеризующих физическое состояние атмосферы, погоду и климат данной местности.

С целью анализа изменения климата на акватории юго-востока Баренцева моря по данным 11 прибрежных гидрометеорологических станций рассмотрен термический режим и его изменения за период 1966–2008 гг.

Анализ средних температур воздуха как в месячном, так и в годовом разрезе показывает, что по особенностям температурного режима на акватории юго-востока Баренцева моря можно выделить Канино-Колгуевский район с более высоким фоном температуры и остальную акваторию моря.

Средние годовые температуры воздуха повсеместно отрицательные. На западе акватории составляют $-0,8$ – $-2,0$ °С (м. Канин Нос, м. Микулкин), на востоке понижаются до $-5,3$ °С (Варандей).

Самые холодные месяцы – январь и февраль – мало отличаются по средним месячным температурам воздуха, которые составляют в Канино-Колгуевском районе от $-8,7$ до $-13,9$ °С, на остальной акватории от $-14,8$ до $-18,9$ °С.

Самые теплые месяцы – июль и август – также мало отличаются как в температурном режиме, так и в распределении по акватории, укладываясь в пределах $8,5$ – $11,0$ °С. Исключение составляют средние месячные температуры июля по данным гидрометеорологических станций Нарьян-Мар и Н. Пеша, достигая максимальных значений $13,3$ – $13,7$ °С, где летом сказывается фактор континентальности.

Наибольшая изменчивость среднемесячной температуры ($\sigma = 3,7$ – $5,4$ °) наблюдается в январе и феврале и связана с активной циклонической деятельностью в этих широтах, наименьшая – в сентябре ($\sigma = 1,3$ – $1,6$ °).

Сравнение средних годовых температур воздуха за период 1966–2008 гг. со средними значениями за последние 20 и 10 лет показывают, что произошло повышение средней годовой температуры воздуха, причем наиболее значительное в последние десятилетие и составило $0,7$ – $0,9$ °С (табл. 1).

Для выделения систематической составляющей изменений температуры по этим гидрометеорологическим станциям были построены линейные тренды.

Анализ линейных трендов средней годовой температуры воздуха показывает, что они на всех гидрометеорологических станциях имеют положительный знак и приблизительно одинаковые скорости, равные $0,04$ – $0,05$ °С/год. При этом коэффициент детерминации R^2 составляет 10–15 % (табл.2).

Наибольший вклад в повышение средней годовой температуры воздуха вносит изменения температуры в январе и октябре (приблизительно $0,1$ °С/год). Наименьшие изменения происходят в августе– сентябре (около $0,02$ °С/год). Таким образом, видно, что основной вклад в повышение средней месячной температуры воздуха на акватории юго- востока Баренцева моря вносит циркуляционный фактор.

Таблица 1

Средняя годовая температура воздуха за различные периоды по данным прибрежных гидрометеорологических станций

Г/м станция	1966–2008 гг.	1989–1999 гг.	1989–2008 гг.	1999–2008 гг.
м. Канин Нос	–0,8	–0,7	–0,3	0,0
Северный Колгуев	–2,8	–2,5	–2,2	–2,1
Бугрино	–2,9	–2,8	–2,3	–2,1
м. Микулкин	–2,0	–1,7	–1,4	–1,3
Инди́га	–2,6	–2,1	–1,9	–1,9
Н. Пеша	–1,9	–1,7	–1,4	–1,4
Ходовариха	–4,5	–4,1	–3,8	–3,8
Нарьян Мар	–3,4	–3,1	–2,8	–2,6
Сенгейский Шар	–3,3	–2,7	–2,6	–2,6
Варандей	–5,3	–5,1	–4,7	–4,5
м. Константиновский	–4,7	–4,1	–3,8	–3,8

Характеристики линейного тренда средних годовых температур воздуха по данным прибрежных гидрометеорологических станций

Г/м станция	Коэфф. наклона	Свобод. член	Коэфф. детерминации
	a	b	R^2
м. Канин Нос	0,0393	-78,818	0,1444
Северный Колгуев	0,0419	-86,11	0,1061
Бугрино	0,0464	-5,179	0,1396
м. Микулкин	0,0396	-80,635	0,1227
Инди́га	0,0468	-95,582	0,1268
Н. Пеша	0,0387	-78,895	0,1020
Ходовариха	0,0475	-98,794	0,1287
Нарьян Мар	0,0481	-98,908	0,1356
Сенгейский Шар	0,0495	-101,62	0,1510
Варандей	0,0480	-100,77	0,1335
м. Константиновский	0,0495	-103,05	0,1404

В целом, за исследуемый период устойчивая тенденция повышения средних температур воздуха сохранялась по всему побережью юго-востока Баренцева моря.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА ЮЖНОГО ОКЕАНА НА НАКОПЛЕНИЕ СНЕГА В АНТАРКТИДЕ: МОДЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ И СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

А.Н.КРЕНКЕ, М.Д.АНАНИЧЕВА, Д.В.ТУРКОВ

Институт географии РАН, г. Москва, Россия. e-mail: ankrenke@mail.ru, maria_anan@rambler.ru

Для оценки роли аномалий площади морских льдов в формировании климатического режима и снежного покрова Антарктиды проведена серия экспериментов на модели общей циркуляции атмосферы (ОЦА) Лаборатории климатологии ИГРАН. Климатическая модель создана на основе модели Орегонского университета (OSU).

С 1993 г. версия этой модели совершенствуется в Институте географии РАН. В настоящее время она представляет собой гидродинамическую модель ОЦА на сетке 4° по широте и 5° по долготе с достаточно подробным для целей глобальной климатологии описанием процессов тепло- и влагообмена в климатической системе. Расчеты осуществляются в режиме годового хода. Температура поверхности океана и распределение морских льдов задаются в модели на каждом временном шаге согласно данным наблюдений.

Анализ результатов экспериментов показывает, что аномалии площади морских льдов Южного полушария порождают весьма небольшие аномалии среднемесячных и среднегодовых полей метеоэлементов, влияющих на скорость снегонакопления. Наибольшие изменения испарения (0,5–1 мм/сут) отмечаются в области наибольших изменений площади морского льда. Для континентальных районов Антарктиды они незначимы.

Значимые изменения количества осадков отмечаются в августе (0,1–0,15 мм/сут) лишь в некоторых районах Антарктиды. Несмотря на отмеченные небольшие изменения испарения и скорости выпадения осадков, изменение скорости снегонакопления для континентальных районов Антарктиды довольно значительно. Области увеличения скорости снегонакопления при сокращении площади морского льда отмечаются в прибрежных районах (на 0,2–0,4 м/год), тогда как во внутренние районы Антарктиды характеризуются отсутствием заметных изменений, или небольшим уменьшением снегонакопления (на 0,01–0,05 м/год).

На основании результатов эксперимента можно сделать предварительный вывод об относительно небольшой роли изменения площади морских льдов в формировании климатического режима в высоких широтах Южного полушария в современную эпоху, в отличие от высоких широт Северного полушария, где, согласно результатам ранее поставленных экспериментов изменения площади морского льда могут вызывать значительные изменения климата.

В работе также сделан статистический анализ соотношения ледовитости Южного океана по его секторам и снегонакопления над Антарктическим ледниковым покровом.

Статистический анализ подтверждает заметную (хотя и не ведущую) роль ледовитости океана в питании антарктического ледникового щита.

Эта связь отрицательная и достаточно тесная для прибрежной полосы, что подтверждает наши оценки, сделанные в первом году проекта.

Для внутриконтинентальных районов выявлена положительная связь с ледовитостью моря, что объясняется преобладанием локальной конденсации над осадками, приносимыми с океана и что соответствует вышеописанным модельным экспериментами.

СВЯЗЬ ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АНТАРКТИДЕ С ГЛОБАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ АТМОСФЕРЫ

Н.К.КОНОНОВА, В.Г.ЗАХАРОВ

Институт географии РАН, г. Москва, Россия. e-mail: NinaKononova@yandex.ru

В 1946 г. Б.Л.Дзердзеевским, В.М.Курганской и З.М.Витвицкой была создана типизация циркуляции атмосферы внетропических широт Северного полушария. В 1960 г. П.Д.Астапенко разработал типизацию атмосферных процессов в высоких широтах Южного полушария, а в 1967 г. Б.Л.Дзердзеевский сравнил эти типизации и выявил главнейшие закономерности циркуляции атмосферы над Южным и Северным полушариями. Оказалось, что при зональной циркуляции в Северном полушарии в Южном тоже отмечается зональная циркуляция. При формировании блокирующих процессов в Северном полушарии в Южном синхронно развиваются блокирующие процессы в таком же количестве и на тех же долготах. Работа иллюстрирована типовыми схемами планетарной циркуляции атмосферы, однако схемы циркуляции с низким давлением на полюсах, без блокирующих процессов и с выходом циклонов из низких широт в высокие с большой меридиональной составляющей в работе не представлены.

В развитие этого исследования Н.К.Кононовой с М.Е.Макаровой в 2005 г. и с О.В.Луценко и И.А.Орловым в 2007 г. проанализированы особенности глобальной циркуляции атмосферы современного периода, при этом особое внимание уделено характеру циркуляционных процессов в Антарктике при различных типах циркуляции, а также впервые были представлены планетарные типовые схемы развития атмосферных процессов в теплое и в холодное полугодие с циклонической циркуляцией на полюсах и выходом циклонов из низких широт в высокие. Выявлено, что во внетропических широтах Северного и Южного полушарий одновременно развивается один и тот же тип циркуляции, однако в силу сезонных особенностей в зимнем полушарии развивается его зимний подтип, а в летнем – летний. Различия, кроме смены знака барических полей над материками и океанами, заключаются в том, что при всех типах циркуляции в летнем полушарии количество выходов циклонов из низких широт в высокие больше, чем в зимнем.

Для анализа многолетних изменений циркуляции атмосферы над конкретной территорией Северное полушарие Б.Л.Дзердзеевским поделено на 6 секторов с учетом географического положения континентов и океанов. Выделено 4 континентальных сектора (Европейский, Сибирский, Дальневосточный и Американский) и 2 океанических (Атлантический и Тихоокеанский). Для каждого сектора типы циркуляции распределены по группам с преобладанием широтного, долготного северного или долготного южного направления перемещения барических образований в конкретном секторе. В Южном полушарии сектора выделены в тех же долготных границах: Атлантический ($-60^{\circ}-0^{\circ}$), Африканский (продолжение Европейского, $0^{\circ}-60^{\circ}$), Индийский (продол-

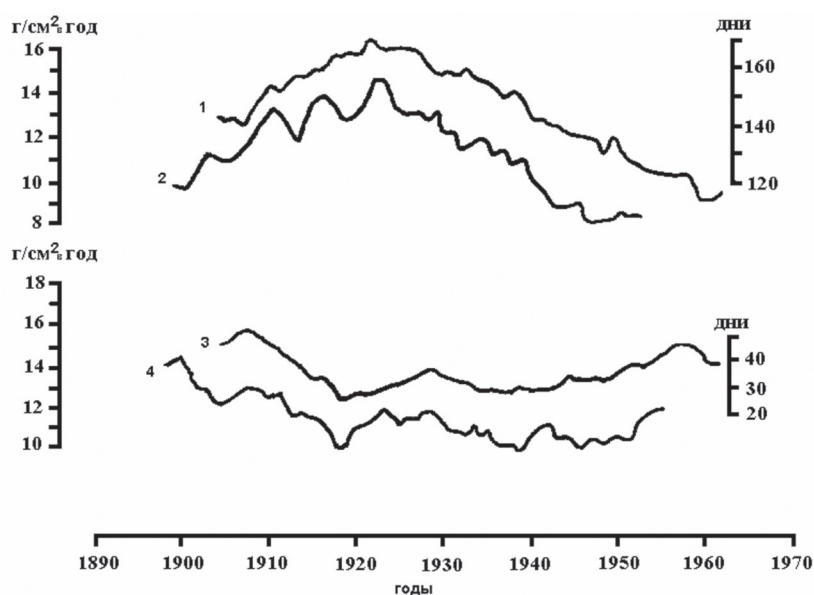


Рис. 1. Связь многолетних колебаний аккумуляции снега в Антарктиде с макроциркуляционными процессами: 1 – продолжительность широтной западной группы циркуляции в Атлантическом секторе; 2 – аккумуляция снега на станции Саут-Айс; 3 – продолжительность блокирующих процессов в сочетании с широтной западной циркуляцией в Тихоокеанском секторе; 4 – аккумуляция снега на станции Берд

жение Сибирского, 60° – 120°), Австралийский (продолжение Дальневосточного, 120° – 170°), Тихоокеанский (170° – -120°) и Американский (-120° – -60°). Ввиду сопряженности циркуляционных процессов в Северном и Южном полушариях, распределение типов по группам циркуляции для секторов не изменилось.

В последние полвека появилось много работ, в которых показана связь многолетних колебаний природных процессов, в частности гляциологических, с флуктуациями циркуляции атмосферы в рассматриваемой типизации. В основном они относятся к Северному полушарию, но в работах В.Г.Захарова гляциологические характеристики антарктических ледников как отражение планетарных атмосферных процессов рассматриваются уже с 1990 г. Приводим многолетние изменения аккумуляции снега в Западной Антарктиде на внутренних станциях Саут-Айс (Море Уэдделла, Атлантический сектор) и Бэрд (купол, Тихоокеанский сектор, рис. 1).

На графиках виден согласованный ход кривых аккумуляции и продолжительности тех групп циркуляции, которые формируют этот процесс в секторах, в которых расположены станции. На станции Саут-Айс максимальная аккумуляция снега наблюдалась в 20-х гг. при максимальной за все время продолжительности широтной западной циркуляции в Атлантическом секторе. На станции Бэрд, напротив, аккумуляция снижается с начала XX века к 20-м годам и растет в 50-е годы вместе с изменением продолжительности формирующей ее группы циркуляции.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ЭКОСИСТЕМУ БЕЛОГО МОРЯ

С.В.БЕРДНИКОВ¹, А.Е.ЦЫГАНКОВА²

¹ – Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия. e-mail: berdnikov@mmbi.krinc.ru

² – Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Несмотря на активно проводимые исследования экосистемы Белого моря, задача ее комплексного описания сохраняет актуальность. Как отмечено в (Матишов и др., 2007), это связано, во-первых, с необходимостью своевременного выявления экосистемных трендов, обусловленных естественными и антропогенными изменениями климата и морской среды, а также растущим уровнем антропогенных нагрузок. На Белом море складываются качественно новые виды хозяйственной деятельности: разработка россыпных месторождений минералов в прибрежной зоне; транспортровка и перегрузка нефтепродуктов в растущих масштабах и по новым маршрутам; освоение новых объектов промысла. Экологические последствия этой деятельности еще не изучены.

Во-вторых, за последние годы получены качественно новые данные о морских экосистемах с использованием новых форм и методов наблюдений (дистанционного зондирования океанологических полей, береговых обрывов и др.). Их научный анализ выполнен только в первом приближении. В последнее время резко повысился спрос на данные о морских экосистемах со стороны разных групп пользователей. Арктические моря стали сферой интересов ряда международных организаций, как со стороны проблем глобальной экологии, так и с практическими целями участия в освоении ресурсов шельфа, получения доступа к Севморпути, квотирования биоресурсов. Федеральным органам управления и компаниям необходимы данные о ресурсном потенциале и экологической безопасности на морях. Приморские регионы заинтересованы в системном развитии прибрежных зон, улучшении демографической и социально-экономической ситуации, привлечении инвестиций в прибрежное рыболовство, аквакультуру, рекреацию.

В связи с этим целью исследований, выполняемых в рамках проекта «Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов Баренцева и Белого морей» подпрограммы «Исследование природы Мирового океана» федеральной целевой программы «Мировой океан» на 2008–2012 гг., является разработка методов комплексного использования современных информационных технологий и математического моделирования для исследования процессов, характеристик и ресурсов Белого моря в условиях влияния климатических процессов и антропогенных факторов.

В соответствии с поставленной целью были решены следующие задачи.

1. Разработка прототипа региональной эколого-информационной системы «Белое море».

В рамках прототипа созданы автоматизированные рабочие места (АРМ): оператора и администратора базы данных мониторинговых исследований (БДМ), оператора и администратора геоинформационной системы (ГИС), АРМы специалистов по обработке телеметрических данных, для работы с метеоданными, по моделированию гидрологического режима Белого моря на основе компартментальной балансовой модели. В качестве основного программного обеспечения для создания ГИС используется ArcGis Desktop 9.2, в качестве системы управления базами данных - Microsoft Access. В состав БДМ вошло свыше 19 тыс. станций с данными по солёности и температуре воды Белого моря из Атласа Арктических морей (2004), экспедиционных исследований последних лет. Разработано специализированное программное обеспечение для ввода данных и контроля их качества, устранения дубликатов, технология и правила для всех участников процесса работы с первичной информацией. Для специалистов реализован доступ к БДМ непосредственно из ГИС с возможностью использования арсенала средств геоинформационных систем по обработке первичной информации. Разработаны специализированные алгоритмы построения полей и разрезов на основе имеющейся в БДМ информации.

2. Информационное наполнение многоцелевых информационных баз данных по экосистеме Белого моря и водосбору основных рек

Созданы БД метеорологических наблюдений на ГМС Архангельск, Мурманск, Онега, Кемь-Порт, Нарьян-Мар, Кандалакша, гидрологических наблюдений на замыкающих створах Северной Двины, Онеги и Мезени за период с 1936 по 2004 гг. Выполнен анализ многолетней изменчивости стока рек и температуры воздуха начиная с 1936 г. по настоящий период по данным гидрологических и метеорологических ежегодников. С использованием компартментальной балансовой математической модели гидрологического режима Белого моря выполнены расчеты режима солёности и температуры воды, элементов теплового баланса для периода 1940–2008 гг., проведён анализ чувствительности гидрологического режима к вариациям внешних факторов (сток, температура воздуха).

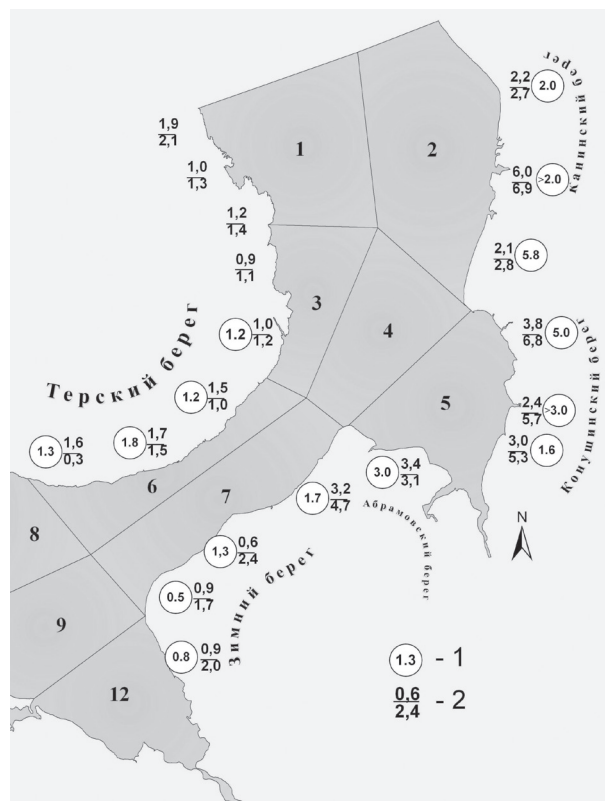


Рис. 1. Схема оценки скоростей абразии для разных участков побережья восточной части Белого моря. 1 – согласно (Невеский и др., 1977); 2 – расчет по результатам автоматической (числитель) и ручной (знаменатель) векторизации космоснимков за 2002 г.

3. Применение спутниковых данных для оценки объемов терригенного материала, поступающего в акваторию Белого моря при абразии берегов

Разработана и апробирована для Белого моря методика анализа данных дистанционного зондирования Земли из космоса (ДДЗ) для оценки динамики береговой линии. По материалам космической съемки за периоды 1988 г. и 1999–2002 гг. выполнена оценка скоростей абразии для Воронки, Мезенского залива и Горла Белого моря (рис. 1), с применением разработанной методики дешифрирования космических снимков сделана оценка объемов терригенного материала, поступающего в прибрежную зону Канинско-Мезенского района Белого моря при абразии – 56,8 млн т.

Это сопоставимо с литературными данными для рассматриваемых участков Белого моря – около 60 млн.т твердого вещества в год. Общий поток обломочного материала, поступающий при абразии в акваторию Белого моря, составляет 100 млн т. По активности проявления абразионных процессов в восточной части Белого моря выделены участки: с очень сильной абразией (>4,0 м/год) – 4 %; с сильной абразией (2–4 м/год) – 36 %; средней скоростью разрушения берегов (1–2 м/год) – 41 %, со слабым отступлением берегового уступа (до 1,0 м/год) – 19 %.

4. Математическое моделирование

Использование компартментальных (боксовых, резервуарных) математических моделей, основанных на балансе масс, является одним из возможных подходов к исследованию пространственной неоднородности в распределении компонентов экосистемы по акватории и глубине водоема (Бердников, 2004). В рамках данного подхода выполнено районирование водоема, разработаны балансовые модели для расчета межрайонного водообмена, режима солености и температуры воды, переноса и седиментации взвеси, поступающей с речным стоком и при абразии, переноса химических соединений, в т.ч. тяжелых металлов (на примере соединений меди). Показано, что поступление металлов вместе с частицами взвеси из абразионных берегов может существенно определять региональные особенности распределения металлов в растворенной и взвешенной формах, влиять на уровни накопления металлов в донных отложениях не только в районах активной абразии, но и в достаточно удаленных районах Белого моря. В результате десорбции подвижной формы металлов из взвеси, поступающей в береговую зону и создающую здесь аномально высокие концентрации взвешенного вещества в воде, содержание металлов в растворенной форме может существенно возрастать. По масштабам районы активного разрушения берегов в геохимическом плане могут быть сопоставимы с маргинальными фильтрами рек.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНТРУЗИИ МОРСКИХ ВОД В УСТЬЕВЫЕ ОБЛАСТИ РЕК АРКТИКИ В УСЛОВИЯХ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

В.В.ИВАНОВ, М.В.ТРЕТЬЯКОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: ivanov@aari.ru; tmv@aari.ru

Оценка и прогнозирование изменений интрузии морских вод в устьевые области рек Арктики на регулярной основе является одной из ключевых задач по ведению мониторинга режима и водных ресурсов и имеет большое значение при решении как научных, так и прикладных задач, особенно для таких устьевых объектов как Обско-Тазовская, Енисейская, Колымская и др. За последние десятилетия исследованию процессов взаимодействия речных и морских вод было посвящено значительное число экспедиционных исследований, проводимых ААНИИ и другими организациями, хотя они в большинстве случаев носили эпизодический характер. Наиболее полные данные о процессах в этой зоне были получены Обь-Енисейской экспедицией ААНИИ, которая выполняла неоднократные серии полигонных съемок в течение года. В результате обобщения всех экспедиционных материалов были получены осредненные за многолетие сезонные характеристики процессов интрузии и детально описаны процессы для отдельных лет, как правило, для летнего периода. К сожалению, из этих материалов не было получено заключений о влиянии многолетних климатических изменений и регулирования стока на процессы интрузии морских вод в Сибирские реки, в частности в устьях Енисея и Колымы.

На решение этой задачи за последние 30 лет разрабатывалось значительное число гидротермодинамических моделей различной детализации и мерности для отдельных устьевых областей. При этом, как правило, они носили исследовательский характер и конечной целью их было получение наилучшего описания устьевых процессов. Хотя некоторые из них по своей разработанности могли быть доведены до введения их в оперативную практику, в случае, если бы они были обеспечены режимно-оперативной информацией о краевых условиях на речной и морской границах и метеорологических условиях над акваторией устьевой области. Таких данных, даже в период интенсивной работы устьевых экспедиций, получено не было.

В настоящее время, когда устьевая гидрометеорологическая сеть сократилась более чем на половину, а экспедиционные наблюдения на реперных разрезах и рейдовых станциях практически полностью прекращены, проблема современного ГМО в этих районах требует внедрения комплексных технологий ведения единого мониторинга устьевых областей рек бассейнов арктических морей, включая организацию и восстановление сети береговых гидрометеорологических наблюдений в этих районах, установку автоматических станций на морской границе устьевых областей и стоковых стаций на речных границах. Дополнительные данные по состоянию акватории должны получаться дистанционными методами, в первую очередь спутниковыми. Систематическое получение этих данных позволяет подключить адаптированные региональные численные модели взаимодействия речных и морских вод для получения регулярных расчетных данных о местоположении и состоянии фронтальных зон, как для оперативных целей, так и для режимных обобщений в рамках ведения ГВК.

На примере Обско-Тазовской устьевой области выполнена реализация комплексной трехмерной гидродинамической модели для целей оценки и прогнозирования интрузии морских вод. Для задания граничных условий используются данные о стоке и температуре впадающих в устьевую область рек и метеорологическая информация станций гидрометеорологической сети, для морской границы задается среднесезонный сезонный ход гидрологических характеристик. Используя фактические данные о граничных условиях на модели проведены расчеты гидрологических процессов в устьевой области нескольких лет, приходящихся на период интенсивной работы Обь-Енисейской устьевой экспедиции. На основе результатов моделирования выполнена оценка сезонных изменений интрузии морских вод в Обско-Тазовскую устьевую область и получены средние, минимальные и максимальные положения границы гидрофронта в различные фазы гидрологического цикла для этого ряда лет. Проведены численные эксперименты на гипотетических ситуациях, для которых были совмещены факторы либо способствующие, либо препятствующие продвижению морских вод в губу, и смоделированы предельно-возможные положения гидрофронта.

В заключении следует отметить, что реализация комплексного подхода к решению задач по мониторингу устьевых областей рек должно быть направлено на разработку усовершенствованных и новых технологий наблюдений, обобщений накопленного материала, оценок и прогнозов состояния водных объектов как единой системы.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА МОЛОДЬ ГИДРОБИОНТОВ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Л.А.ГАЙКО

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: gayko@yandex.ru

В настоящее время в связи с признанным фактом глобального потепления представляет большой интерес оценка возможных последствий климатических изменений на жизнедеятельность гидробионтов. Физико-географические условия Приморья являются предпосылкой развития в его прибрежных водах богатых по видовому разнообразию фауны и флоры. В прибрежных донных сообществах ведущую роль играют двустворчатые моллюски. В докладе рассматривается влияние изменения климата на циклы развития гидробионтов на примере приморского гребешка *Misuchopecten yessoensis* (Jay), являющегося распространенным объектом культивирования. Объекты марикультуры выбраны для изучения влияния на них абиотических факторов потому, что только в марихозяйствах ведется биологический мониторинг и имеется непрерывный ряд наблюдений над биологическими объектами.

Хозяйства марикультуры, расположенные на юге Приморского края, производят выращивание гидробионтов экстенсивным методом, т.е. в естественной среде, поэтому они находятся в большой зависимости от факторов среды, особенно климатических. В качестве исходной информации при изучении влияния факторов окружающей среды на молодь приморского гребешка взяты данные наблюдений в марихозяйстве «ЭМБ Посъет», расположенном в бухте Миноносок (зал. Посъет, зал. Петра Великого). Наблюдения ведутся с 1970 по 2008 г., но, к сожалению, нет данных с 1991 по 1998 гг. Многолетние ряды данных наблюдений над температурой морской воды и воздуха получены на гидрометеорологической станции (ГМС) Посъет. По данным станции за последние 50 лет средняя годовая температура воды в зал. Посъета увеличилась на 0,25 °С, а температура воздуха – на 0,95 °С, что вписывается в общую картину глобального потепления.

Для оценки влияния климатических изменений на годовой цикл развития приморского гребешка было выделено четыре важных периода в годовом жизненном цикле моллюсков: I период – от даты устойчивого перехода температуры воды через 0 °С весной до начала нереста (вторая половина гаметогенеза), II период – период планктонного развития (от нереста до начала оседания личинок), III период – от начала до полного оседания личинок, IV период – период от перехода температуры воды осенью через 14 °С до устойчивого перехода через 0 °С осенью (начало гаметогенеза).

Для дальнейшего анализа был введен термин «урожайность». Под урожайностью понимается плотность осевшего на коллекторы спата гребешка, выраженное в экз./м² (экз./м²). Высокоурожайные и низкоурожайные годы были выделены на основании анализа распределения отклонений урожайности от тренда.

Далее для всех четырех периодов биологического развития гребешка были вычислены: длительности периодов в сутках, среднепериодные значения температуры, средние квадратические отклонения температуры, сумма градусодней от даты начала периода до даты его окончания, коэффициенты вариации температуры, даты устойчивого перехода температуры воды и воздуха через 0 °С весной и осенью и через 14 °С осенью. Результаты показали, что все характеристики испытывают значительную межгодовую изменчивость.

По полученным результатам был проведен сравнительный анализ средних величин для временных периодов 1970–1990 и 1999–2003 гг. Прослеживается тенденция сокращения длительности личиночного периода, но значимый тренд выявлен только для промежутка 1970–1990 гг. Наблюдается увеличение продолжительности I периода. На отрезке 1970–1990 гг. тренд значим на 5 % уровне. Длительность периода оседания (III период) сокращается. Продолжительность IV периода подвержена наименьшей вариабельности, тренд не выявлен. Средняя температура периодов изменилась незначительно. При сравнении экстремальных температур периодов очевидно, что их верхняя граница осталась прежней, с разницей меньше 1 °С (за исключением I периода, где максимальное значение температуры понизилось на 1,5 °С). Нижняя граница температуры для всех периодов повысилась. Уменьшилась величина стандартных отклонений и дисперсии, за исключением IV периода, который приходится на осень. Следовательно, в весенне-летний период температура стала стабильнее, а осенью наоборот. Установлено, что разброс между максимальной и минимальной величинами продолжительности периодов за последние годы уменьшился. Границы периодов как бы сблизились, максимальные значения стали меньше, а минимальные – больше. Средняя многолетняя урожайность за весь период наблюдений с учетом последних лет повысилась и составила 546 экз./м². Для сравнения: за период с 1970 по 1990 гг. средняя урожайность составляла 476 экз./м², а за период 1999–2003 гг. – 650 экз./м².

Таким образом, изменение климата на современном этапе оказывает влияние на молодь гидробионтов в северо-западной части Японского моря.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ СЕКЦИИ «ПОЛЯРНЫЕ ОКЕАНЫ И КЛИМАТ, ПОСЛЕДСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЛЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТА И ПРИПАЙНОГО ЛЬДА В РАЙОНЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ТИКСИ

Н.Е.ИВАНОВ¹, А.П.МАКШТАС¹, С.В.ШУТИЛИН¹, И.И.БОЛЬШАКОВА¹, О.В.ЖУКОВА¹, Р.М.ГУН²

¹ – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: neivanov@ari.nw.ru

² – Тиксинский филиал Якутского управления Гидрометслужбы, г. Тикси, Россия

Будущая Гидрометеорологическая обсерватория Тикси создается на базе гидрометеорологической станции (ГМС) «Полярка» (открыта 12 августа 1932 г.), расположенной на одном из стратегических участков Северного Морского пути вблизи устья реки Лена в зоне влияния на атмосферные процессы как Атлантического, так и Тихого океанов. С 1936 г. на ГМС «Полярка» выполняются 4-разовые, а с 1970 г. – 8-разовые стандартные метеорологические наблюдения. Аэрологические измерения были начаты в 1935 году, с 1946 г. радиозондирование стало регулярным. Полученный практически непрерывный ряд данных зондирований атмосферы, является одним из самых длинных в Арктике. Морские гидрологические наблюдения на ГМС станции «Полярка» были начаты в 1932 г. на прилегающей акватории залива Сого, продолжаются до настоящего времени и включают, в том числе, наблюдения за температурой и солёностью воды и состоянием припайного льда.

Разработана методика и выполнена многошаговая проверка данных, переведенных с бумажного на машинный носитель. Создан максимально возможно скорректированный архив многолетних данных стандартных метеорологических, аэрологических и прибрежных морских гидрологических наблюдений. К настоящему времени архив пополнен данными метеорологических и аэрологических наблюдений на сети ГМС северо-восточной Якутии.

Многолетние ряды данных позволяют описать межгодовую изменчивость, годовой ход, изменчивость синоптического масштаба и суточную ритмику. Поддиапазонный статистический анализ выполнен на основе моделей случайной величины и стационарного случайного процесса (данные за одноименные месяцы и сезоны), периодически коррелированного процесса (годовой и суточный ход), случайного импульсного процесса (синоптическая изменчивость), регрессии (многолетний тренд) системы случайных величин (пространственная и межэлементная сопряженность). Создан архив статистических режимно-климатических характеристик.

Среди наиболее значимых результатов анализа многолетней изменчивости можно отметить следующие.

Установлено, что наиболее существенным компонентом многолетней изменчивости являются годовой ход и сезонно модулированная синоптическая изменчивость.

Тренды среднемесячных значений температуры воздуха и атмосферного давления знакопеременные (в зависимости от месяца), слабые и статистически незначимые. В то же время выявлена согласованность тенденций межгодовой изменчивости температуры воздуха и трендов балла облачности, положительных зимой и отрицательных летом, значимых с вкладом в дисперсию до 25–40 %.

Анализ трендов температуры и давления выявил в отдельные месяцы усиленные тренды (вплоть до появления статистически значимых) для процессов, формирующих аномальные значения температуры и давления. Высказано предположение о влиянии синоптических систем на многолетние тренды температуры воздуха. Так, в апреле тенденция к понижению среднемесячной температуры обусловлена в основном ослаблением положительных аномалий, что может быть вызвано ослаблением циклонической деятельности.

В направлении результирующего ветра и характеристиках его изменчивости чётко выделяются сезонные особенности, что позволяет их использование для уточнения хронологических границ естественных сезонов. Розы ветров демонстрируют сильную анизотропность: в холодный сезон года усилена повторяемость юго-западных, а в теплый сезон – северо-восточных ветров. Наиболее сильные ветры в течение всего года сосредоточены в юго-западной четверти. Зимой усилена контрастность – штормовые ветры достигают 40 м/с (летом до 25 м/с) и одновременно увеличивается повторяемость штилей. Тренды скорости ветра незначимые, отмечается увеличение повторяемости южной составляющей в осенний, зимний и весенний календарные сезоны.

Анализ архивов данных аэрологических зондирований на ГМС Тикси, Черский, Чокурдах и Верхоянск выявил, что максимальная тенденция к потеплению на северо-востоке Якутии прослеживается во все сезоны не в приземном слое, а в нижней тропосфере, в слое от 925 до 700 гПа. В тоже время наблюдается похолодание верхней тропосферы и нижней стратосферы в весенний, летний и осенний сезоны, в принципе соответствующее модельным представлениям о роли увеличения концентрации углекислого газа в изменении климата атмосферы. Зимой на уровнях 30–10 гПа выявлено явно выраженное потепление, обусловленное, вероятно, космическими (фотохимические реакции, изменениями концентрации озона; магнитная активность) и динамическими факторами (планетарные, приливные и гравитационные волны, атмосферная турбулентность).

Анализ ледовых наблюдений показал значительное увеличение продолжительности безледного режима. В тоже время можно отметить некоторое увеличение максимальной толщины припайных льдов в последние годы.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ CDOM В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ

С.П.ПУГАЧ¹, И.И.ПИПКО¹, И.П.СЕМИЛЕТОВ^{1,2}

¹ – Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: pugach@poi.dvo.ru

² – Международный Арктический Научный Центр Университета Аляска, Фэрбенкс, США

Приток речных вод в Арктические моря и Арктический бассейн составляет один из основных источников распреснения верхнего слоя этой части мирового океана. Сюда поступает около 10 % глобального речного стока притом, что доля Арктических морей и Арктического бассейна в Мировом океане не превышает 1,5 % по объему вод. Каждый год арктические реки поставляют в Северный Ледовитый океан (СЛО) 25–36 Tg растворенного органического углерода (DOC). Поэтому трудно переоценить влияние поступающего с речным стоком растворенного и взвешенного органического вещества на биогеохимический режим шельфовых морей. Восточно-Сибирское море (ВСМ) – наименее изученное море СЛО, чей гидрологический и гидрохимический режим определяется, главным образом, взаимодействием трансформированных тихоокеанских вод с распресненными водами арктического шельфа. В работе представлены результаты экспедиционных исследований пространственного распределения CDOM – окрашенной фракции растворенного органического вещества, выполненных в сентябре 2003, 2004 и 2008 гг. в прибрежно-шельфовой зоне ВСМ. Эти данные были получены с помощью флуориметра WETStar CDOM, установленного на гидрологический зонд Seabird 19+.

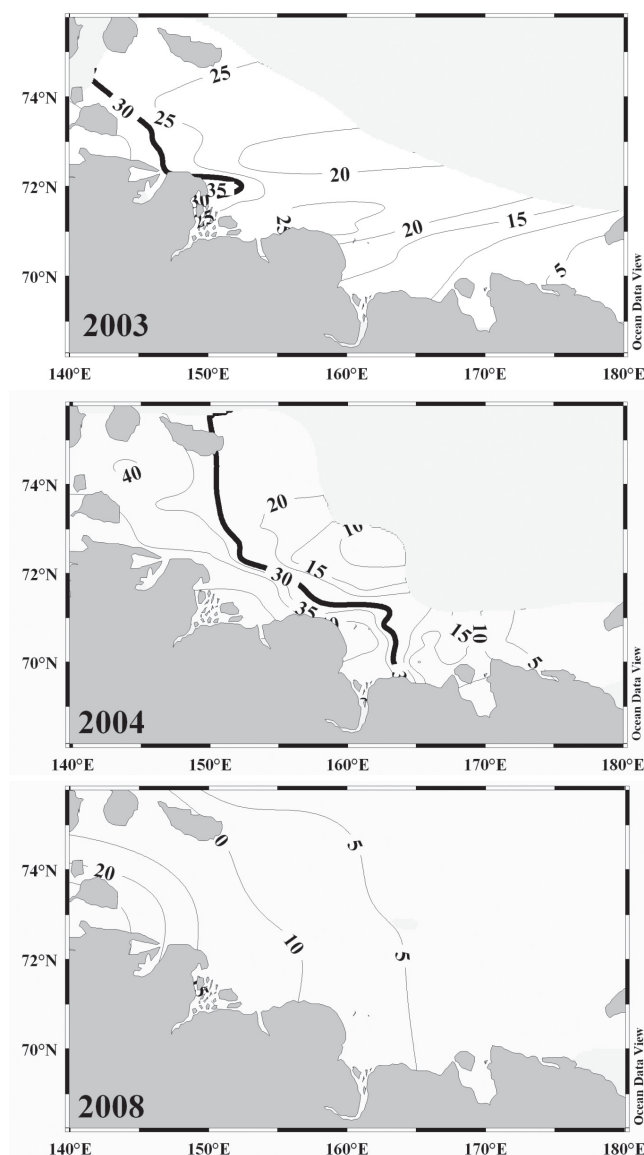


Рис. 1. Пространственное распределение CDOM в поверхностном слое прибрежно-шельфовой зоны ВСМ в сентябре 2003, 2004 и 2008 гг.

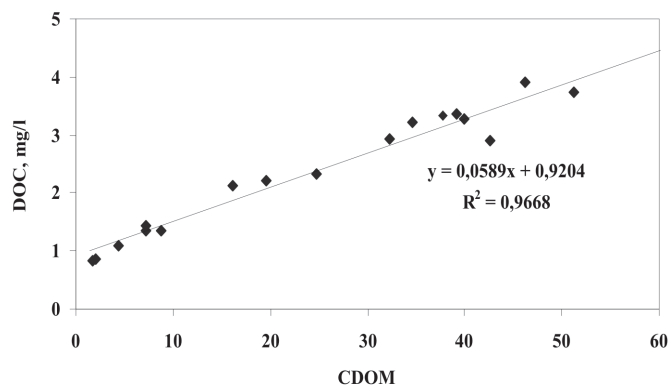


Рис. 2. Зависимость концентрации DOC от CDOM в поверхностном слое прибрежно-шельфовой зоны ВСМ в сентябре 2004 г.

Пространственное распределение CDOM (рис. 1) в разные годы определяется величиной речного стока и метеорологическими условиями. Обнаружена отрицательная линейная корреляция между CDOM и соленостью в поверхностных водах прибрежной зоны ВСМ, что указывает на терригенный источник окрашенного растворенного вещества на исследуемом шельфе, а также на консервативное смешение вод. Величина этой корреляции также зависит от объема речного стока и типа атмосферной циркуляции, определяющей динамику водных масс на мелководном арктическом шельфе.

Синхронные измерения DOC и его окрашенной фракции позволили выявить корреляционные связи, установить степень их устойчивости и получить уравнения, связывающие эти параметры. Коэффициент корреляции в 2004 г. был 0,98 ($n = 18$) (рис. 2). Такая тесная связь позволяет рассчитать концентрацию растворенного органического углерода, используя прямые измерения CDOM.

Показано, что CDOM является достоверным трассером речных вод на арктическом шельфе. Данные по CDOM могут быть использованы для количественной и качественной оценки динамики DOC в прибрежно-шельфовой зоне арктических морей, подверженной влиянию речного стока.

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЕЙ ВЕТРА, ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА И СПЛОЧЕННОСТИ МОРСКИХ ЛЬДОВ В АНТАРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ ПО ДАННЫМ КОНТАКТНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Ю.В.АРТАМОНОВ, М.В.БАБИЙ, А.Е.БУКАТОВ, Е.А.СКРИПАЛЕВА

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь, Украина. e-mail: Artam-ant@yandex.ru

На основе среднемесячных данных о температуре поверхности океана (ТПО), сплоченности морских льдов и скорости ветра за период с 1982 по 2008 гг. (архив National Center for Environmental Prediction) исследована межгодовая изменчивость аномалий этих характеристик в Южном океане. Описаны особенности проявления Антарктической циркумполярной волны (АЦВ) в пространственно-временных распределениях аномалий ТПО, балльности морских льдов и составляющих скорости ветра.

Показано, что на большей части акватории Южного океана наблюдается чередование аномалий противоположного знака с периодичностью 35 лет, при этом положительным аномалиям в поле ТПО соответствуют отрицательные аномалии балльности льда. Появление аномалий одного знака запаздывает с запада на восток. Пространственно-временное распределение аномалий подтверждает волновой характер их распространения. Перемещающиеся на восток от линии смены дат крупномасштабные аномалии, достигают восточной границы Индийского океана примерно за 69 лет.

Наиболее мощные положительные аномалии ТПО сформировались под влиянием интенсивных Эль-Ниньо: в 1982–1983 гг. (до 1,5°C), в 1986–1988 гг. (до 0,8 °C) и в 1996–1997 гг. (до 0,8 °C). Эти аномалии достигли восточной части Индийского океана (110–130° в.д.) соответственно в 1990, 1994 и 2004 гг. Самые мощные аномалии балльности льда прослеживаются в Тихом океане восточнее 170° з.д. и на западе Атлантики. Крупномасштабные отрицательные аномалии балльности, сформировавшиеся в те же годы, что и в поле ТПО, достигли восточной части Индийского океана (130° в.д.) в конце 1989 и 1994 гг. соответственно. Аномалии балльности льда 1997 г. распространились только до 60–70° в.д. Установлено, АЦВ более четко прослеживается в поле меридиональной составляющей скорости ветра. Отмечается чередование отрицательных (1983, 1986–1987, 1991, 1997, 2002 гг.) и положительных (1986, 1989, 1995, 2000 гг.) аномалий скорости, достигающих по абсолютной величине 2 м/с.

Временной период, близкий к периоду зонального обращения АЦВ вокруг Антарктиды, обнаружен в изменчивости широтного положения максимума аномалий (по абсолютной величине) сплоченности морских льдов. Области экстремальных значений положительных или отрицательных аномалий сплоченности льда смещаются на север или на юг с периодичностью порядка 8–10 лет. Это свидетельствует о влиянии АЦВ на изменчивость общего ледяного покрова вокруг Антарктиды.

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ДЛЯ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ РЕК АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА РОССИИ

*В.В.КОВАЛЕНКО¹, Е.В.ГАЙДУКОВА¹, Н.В.ВИКТОРОВА¹, В.А.ХАУСТОВ¹, М.Н.ГРОМОВА¹,
В.С.ДЕВЯТОВ¹, Е.В.ШЕВНИНА²*

¹ – Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: kov_y_v@mail.ru

² – ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

Рассматривается возможный подход к оценке долгосрочных изменений максимального стока весеннего половодья устьевых участков рек Арктического региона России с использованием стохастической модели формирования многолетнего стока на основе линейного формирующего фильтра, статистически эквивалентного уравнению Фоккера–Планка–Колмогорова (ФПК):

$$\frac{\partial p(Q,t)}{\partial t} = -\frac{\partial(A(Q,t)p(Q,t))}{\partial Q} + 0,5 \frac{\partial^2(B(Q,t)p(Q,t))}{\partial Q^2},$$

где $p(Q,t)$ – плотность вероятности расхода воды Q ; $A(Q,t)$ и $B(Q,t)$ – коэффициенты сноса и диффузии, определяемые физико-статистическими характеристиками речных бассейнов и климатических воздействий на них; t – время.

Методология включает следующие этапы:

1. Параметризация модели ФПК на расчетной сетке (примерно 1–2° по широте и долготе) с использованием существующих карт (приложение к СНиПу 2.01.14-83) распределения вероятностных характеристик максимального стока Арктического региона (обратная задача).

2. Формирование, имеющихся в открытом доступе, экстремальных климатических сценариев связанных как с потеплением, так и с похолоданием.

3. Решение прямой (прогностической) задачи для уравнения ФПК на интервале несколько десятилетий для всех расчетных точек Арктического региона.

4. Построение прогнозных карт характеристик максимального стока и выявление аномальных зон его формирования, т. е. статистически значимых отклонений прогнозных характеристик от существующих в настоящее время (точнее от характеристик режима принимаемого обычно за базовый, статистически стационарный, 1950–1980 гг.).

5. Оценка последствий климатических изменений для морской деятельности в устьевых участках рек.

СЕКЦИЯ «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА»

ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ И ПЕРЕСТРОЕК КРУПНОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ И ХАРАКТЕР ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ В ПОЛЯРНОМ РАЙОНЕ АРКТИКИ

В.В.ИВАНОВ, Л.Ю.РЫЖАКОВ, А.Я.КОРЖИКОВ, В.К.КУРАЖОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: v_ivanov@aari.ru

В результате мониторинга развития атмосферных процессов и метеорологических условий в полярном районе Арктики установлено, что в период 1996–2009 гг. отмечалось нарастание крупномасштабных процессов разновидностей западной формы циркуляции с высокоширотными траекториями смещения циклонов северной Атлантики в Арктику. Вследствие этого в полярном районе Арктики преобладала адвекция теплых воздушных масс при западных и южных направлениях. Данное развитие циркуляции воздушных масс в полярном районе определило: постоянный рост температуры воздуха до их крупных аномалий; ранние весной и поздние осенью даты с устойчивыми переходами среднесуточной температуры воздуха через ноль градусов, и как следствие увеличение безморозного периода до максимальных значений.

Результаты исследований структурных элементов общей циркуляции атмосферы (ОЦА) с использованием показателей длинных термобарических волн северного полушария в виде форм циркуляции и их разновидностей по классификации Г.Я.Вангенгейма – А.А.Гирса показывают, что соотношение зональной и меридиональной форм циркуляции может являться хорошим критерием характера макромасштабной циркуляции, погоды и климата.

В настоящий момент мы находимся в стадии крупномасштабной перестройки, т.е. стадии перехода от циркуляционной эпохи с активным меридиональным воздухообменом, когда аномально были развиты процессы форм Е (восточная) и С (меридиональная) циркуляции, в эпоху аномального развития зонального западно-восточного переноса при процессах формы W (западной) циркуляции. Начало роста повторяемости зональных процессов относится к середине 70-х годов XX века. Наиболее ярко эта тенденция проявилась в последние годы. На основе анализа межгодового и внутрigoдового хода развития крупномасштабных атмосферных процессов выделены три стадии с одноподнаправленной циркуляцией: 1996–1999 гг., 2000–2003 гг. и 2004–2009 гг. Показано, что каждая циркуляционная стадия характеризуется индивидуальными особенностями воздухообмена и температурного режима в рассматриваемом полярном районе. При этом в период 2004–2009 гг. отмечались устойчивые положительные аномалии температуры воздуха во все сезоны года.

Отмеченное потепление показало, что температурный фон в регионе близок к максимальному и сравним с потеплением 1930–1940-х гг. С учетом естественного 60-летнего цикла колебаний циркуляции атмосферы и гидросферы, а также космических явлений, следует ожидать тенденцию к понижению температурного фона с переходом от положительных аномалий температуры к отрицательным. В ближайшем будущем может обозначать отрицательный температурный тренд к постепенному переходу в течение 30 лет от потепления Арктики к ее похолоданию.

Во многом такие тенденции возможны при высокой повторяемостью развития процессов западной формы циркуляции с низкоширотным смещением циклонов преимущественно по умеренной зоне Северного полушария.

При данных разновидностях крупномасштабных атмосферных процессов в полярных районах полушария следует ожидать:

- активизации ветвей полярного и арктического фронтов с одновременным смещением зоны этих фронтов в более низкие широты;
- преобладающие траектории циклонов в широтном направлении в умеренной зоне;
- усиление арктического антициклона при высоком фоне давления в полярном районе;
- более низкого фона температур по сравнению с предыдущим периодом;
- уменьшение осадков в высоких широтах и увеличение их в умеренной зоне;
- повышения ледовитости арктических морей, частого выноса и формирования тяжелых льдов на трассе СМП.

Аналогичный сценарий отмечался при переходе от потепления 1930–1940-х гг. к похолоданию 1960–1970-х гг. Естественно было полагать, что столь крупномасштабная перестройка макросиноптических процессов не может произойти в скоротечном плане. Необходим период подготовки условий такого перехода еще в недрах текущей эпохи, т.е. период формирования черт будущего развития на фоне текущих макропроцессов. Возникновение таких условий нами фиксировалось.

Первые признаки развития процессов с данной направленностью отмечались в стадии 1996–1999 гг. текущей циркуляционной эпохи с западной (W) формой циркуляции, а также в развитии атмосферных процессов в период осенне-зимнего охлаждения моря 2009–2010 гг.

ВЛИЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЦИРКУЛЯЦИЮ ВОД БЕРИНГОВА МОРЯ

Г.А.ВЛАСОВА, А.М.ПОЛЯКОВА

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: gavlasova@mail.ru, polyak@poi.dvo.ru

Одним из ключевых вопросов фундаментальной океанологии является изучение сезонной изменчивости циркуляции вод и их связи с различными гидрометеорологическими процессами. Однако, степень изученности циркуляции вод и, в частности, ее синоптической и сезонной изменчивости пока явно недостаточна, а особенности циркуляции вод в холодный период года, отличающиеся гораздо более выраженной динамикой, практически не освещены в исследованиях. В рамках данной проблемы наибольший интерес вызывает акватория Берингова моря как естественная лаборатория со сложными физико-географическими условиями и арктическим климатом, а также многообразием природных ресурсов. Климат Берингова моря достаточно суровый и относится к муссонному типу, особенностью которого является сезонная смена господствующих ветров и заметные различия в ходе метеорологических элементов в течение года. Из-за большой протяженности моря здесь наблюдаются также и значительные климатические различия между отдельными районами моря. В северной части моря климат, особенно в прибрежной зоне, является более суровым, континентальным. Южные районы, где стабилизирующее влияние океана на климат увеличивается, он более мягкий, типично морской. При этом, за счет неравномерного выхолаживания, западные районы моря холоднее восточных.

Целью данной работы является исследование сезонной изменчивости интегральной циркуляции вод под влиянием региональных синоптических процессов на изучаемой акватории за период 1949–2000 гг. Предлагаемый подход для решения вышеуказанной задачи состоит в численном моделировании циркуляции вод под воздействием региональных особенностей синоптических процессов. С этой целью была использована гидродинамическая модель, неоднократно описанная в работах, в рамках которой были рассчитаны интегральные функции тока от поверхности до дна (полные потоки) и построены карты интегральной циркуляции вод.

Входной информацией для расчетов интегральной циркуляции вод послужили: 1) среднемесячные данные по полям атмосферного давления за период 1949–2000 гг. (среднемесячные приземные синоптические карты северной части Тихого океана, составленные в бюро погоды Приморского управления гидрометеослужбы), соответствующие определенному типу атмосферных процессов; 2) архив World Ocean Atlas — массив среднемесячных данных поверхностной температуры и солёности в узлах сетки $1^\circ \times 1^\circ$ за период 1960–1994 гг.; 3) банк экспедиционных данных ТОИ ДВО РАН «Океан-2» за период 1970–1990 гг. по температуре и солёности. Значения глубин брались из массива ЕТОРО-5. Расходы в проливах определялись на основании расчета полных потоков, нормальных к жидким границам исследуемой области. Для расчетов использовалась неравномерная сетка с шагом $30'$ по широте и $60'$ по долготе.

Исходными типами региональных атмосферных процессов послужили: 1) «северо-западный», который характеризуется тем, что основные траектории циклонов располагаются в северо-западной части Тихого океана; 2) «охотско-алеутский», который выделен как система двух барических депрессий (охотской и алеутской); 3) «широтно-алеутский», который характеризуется тем, что основные траектории циклонов располагаются в широтном направлении вдоль Алеутских островов.

При анализе полученной информации были сделаны следующие выводы.

1. На акватории Берингова моря во второй половине XX века в целом наблюдалась циклоническая деятельность, независимо от сезона и воздействия синоптических процессов.

2. В пределах исследуемого региона были выделены квазистационарные гидродинамические структуры, не зависящие от характера атмосферной циркуляции и сезона:

– на акватории мелководной северо-восточной части Берингова моря, где преобладает влияние синоптических процессов, превалировала циклоническая деятельность;

– на акватории западной глубоководной части Берингова моря, где преобладает влияние гидродинамических процессов и рельефа дна, формировались мощные циклонические и антициклонические структуры.

3. В изучаемом регионе были отмечены общие тенденции в схемах течений при действии всех типов атмосферных процессов:

– сезонная изменчивость гидродинамических структур, которые наиболее интенсивны в осенне-зимний период;

– образование крупных циклонических и антициклонических вихрей в глубоководной части Берингова моря;

– формирование антициклонических структур в осенне-зимний сезон.

4. На исследуемой акватории была выявлена зависимость антициклонических структур от типа барических образований в осенне-зимний период:

– в условиях «северо-западного» типа атмосферной циркуляции в районе свала глубин примерно вдоль 500-метровой изобаты и южнее формируются мощные антициклонические вихри, что напрямую связано с высоким барическим полем, наступающим с Тихого океана;

– под воздействием «охотско-алеутского» типа атмосферной циркуляции антициклонические вихри располагаются в основном на акватории центральной части Алеутских островов. Это объясняется тем, что мощное теплое барическое поле своим гребнем упирается в центр Алеутской дуги, тем самым, создавая условия для повышенного теплового фона в данном районе;

– под воздействием «широтного-алеутского» типа наблюдается значительный антициклонический круговорот, вытянутый в широтном направлении вдоль Алеутской гряды, благодаря воздействию надвигающегося мощного высокого барического поля, также вытянутым в том же направлении.

5. На акватории Берингова моря фиксируются все его основные течения, но при различных типах атмосферной циркуляции они своеобразно проявляются в разные сезоны.

ОСОБЕННОСТИ ШТОРМОВОЙ АКТИВНОСТИ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ В 2007–2008 ГГ.

Н.А.ВЯЗИЛОВА

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных, г. Москва, Россия. e-mail: nav@meteo.ru

Введение. Одним из наиболее опасных аспектов глобального изменения климата является усиление экстремальности климата. Одним из важнейших факторов усиления экстремальности климата является повышение штормовой активности. Циклоны представляют основной механизм перемещения тепла и влаги в высокие широты. Прибрежная эрозия, вызываемая штормами, представляет серьезную проблему на арктическом побережье. Значительное потепление Арктики и уменьшение пространственного распределения морского льда в данном регионе на 10–15 % в последние десятилетия также возможно связано с активизацией циклонической деятельности. Согласно научным исследованиям, Северная Атлантика является основным районом циклонического взаимодействия между умеренными широтами и Арктическим регионом в зимний сезон.

Основной целью данной работы является изучение особенностей штормовой активности в Северной Атлантике и Северной части Европейского региона в зимний период 2007–2008 гг., и взаимосвязи этих особенностей с формированием аномалий атмосферных осадков и аномалий температуры поверхности океана в исследуемом регионе. Особое внимание в работе уделено изучению взаимосвязи аномалий циклонической деятельности с развитием Северо-Атлантического колебания.

Данные и методика анализа. Особенности штормовой активности изучались на основе анализа двух характеристик – количества центров циклонов и суммы аномалий атмосферного давления в центрах циклонов за зимнюю половину года (с октября по март). Для расчета характеристик штормовой активности был применен метод автоматической индикации центров циклонов, разработанный Саррезе (1995), и были использованы данные приземного давления в узлах сетки $2,5 \times 2,5$ архива Национального Метеорологического центра США, ре-анализа NCAR/NCEP (6-часовые синоптические данные за период с 1 января 1979 г. по 31 марта 2009 г., и среднемесячные климатические данные за период 1971–2000 гг.). Анализы атмосферных осадков и температуры поверхности океана, средние за зимнюю половину 2007–2008 гг. также были получены на основе среднемесячных данных реанализа NCAR/NCEP.

Для интегральной оценки штормовой активности в предполярном районе Северной Атлантики ($55\text{--}80^\circ$ с.ш., 50° з.д.– 70° в.д.), были вычислены нормированные аномалии суммарной интенсивности циклонической деятельности в регионе в зимний сезон – значения интегрального регионального индикатора циклонической активности. Проведен анализ изменчивости значений этого индикатора за период наблюдений с 1979/80 г.

Анализ результатов. Карты пространственного распределения количества центров циклонов и интенсивности циклонической деятельности показывают значительное усиление штормовой активности в Северной Атлантике и Скандинавии севернее 60° с.ш. в зимнюю половину 2007/08 гг. При этом, усиление штормовой активности в приполярных районах Европы проявилось не столько в увеличении количества центров циклонов, сколько в значительном усилении интенсивности циклонов (аномалий приземного давления в их центрах).

Для анализа взаимосвязи штормовой активности с глобальными климатическими аномалиями – развитием Северо-Атлантического колебания (САК), – проведено сравнение пространственного распределения характеристик штормовой активности в зимние сезоны 2007/08 гг. и 2005/06 гг., отличившихся, соответственно, развитием положительной и отрицательной фазы САК (индекс САК равен, соответственно, +2,11 и –1,09). Анализ показывает, что в зимний сезон 2005/06 гг., в отличие от зимнего сезона 2007/08 гг., в приполярном регионе Европы и Северной Атлантики отмечено значительное ослабление штормовой активности, и ее усиление в более южных районах Европы и Атлантики. Основные отличия в пространственном распределении характеристик штормовой активности (количества центров циклонов и их интенсивности) в сравниваемые зимние сезоны согласуются с отличиями и в пространственном распределении аномалий атмосферных осадков в эти сезоны. А именно, повышенной штормовой активности в приполярном регионе в зимний сезон 2007/08 гг. соответствуют положительные аномалии атмосферных осадков, максимальные значения аномалий осадков отмечены в районах максимальных аномалий количества центров циклонов и их интенсивности. Смещение зон интенсификации штормовой активности и усиления атмосферных осадков в зимний сезон 2007/08 гг. наблюдается на фоне формирования обширной зоны положительных аномалий температуры поверхности океана в Северной Атлантике, с максимальными значениями аномалий вдоль западного и северного побережья Европы. Значение интегрального индикатора циклонической деятельности для зимнего сезона 2007/08 гг. в предполярном регионе Северной Атлантики и Европе превышает по абсолютной величине 1, что подтверждает экстремальное усиление штормовой активности в целом в данном регионе в исследуемый период.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЯХ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-35» И «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-36»

А.П.МАКШТАС, С.В.ШУТИЛИН, В.Т.СОКОЛОВ, Н.С.ЗИНОВЬЕВ, В.Ю.КУСТОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: maksh@aari.nw.ru

На дрейфующих станциях СП-35, СП-36 в период с октября 2007 по август 2009 г. с помощью полуавтоматической метеорологической станции MAWS 110 (Vaisala, Финляндия), представляющей собой комплекс современных метеорологических и актинометрических датчиков, с дискретностью одна минута, были выполнены измерения атмосферного давления, скорости и направления ветра на высотах 2 и 10 м, температуры и влажности воздуха на высотах 2 и 8 м, температуры снежно-ледяного покрова на 3 уровнях, коротковолновой и длинноволновой суммарной приходящей и отраженной радиации. Кроме этого, газоанализаторами ЗАО «ОПТЭК» с дискретностью одна минута проводились измерения концентрации озона и углекислого газа в приледном слое воздуха. Два раза в сутки выполнялись до высоты 25–30 км зондирования атмосферы с помощью современного комплекса радиозондирования «Vaisala» и эпизодически – аэростатные зондирования пограничного слоя атмосферы. С помощью полевых спектрометров «Рамзес» регулярно выполнялись измерения спектрального альбедо снежно-ледяного покрова, спектральные измерения проникающей под лед солнечной радиации.

На основе проведенных наблюдений в ААНИИ создан уникальный совместный электронный архив данных аэрологических, аэростатных, метеорологических, интегральных и спектральных радиационных наблюдений, наблюдений за высотой облачности и газовым составом атмосферы.

Информация, содержащаяся в электронном архиве, совместно с данными об осадках и временной изменчивости толщин снежного и ледяного покрова, использована как в качестве внешнего форсинга, так и для валидации результатов расчетов, выполненных с помощью разработанной в ААНИИ термодинамической модели морского ледяного покрова. В качестве начальных условий использовались осредненные значения толщин снега и льда, полученные в результате ледовых съемок на момент высадки станций. Результаты модельных расчетов сравнивались с данными регулярных ледовых съемок, выполнявшихся один раз в 10 сут. в период дрейфа каждой из станций.

Анализ результатов моделирования показал, что модель несколько завышает высоту снежного покрова в момент его максимального развития (до 25 %), что, вероятно, связано с недоучетом перераспределения снега под воздействием ветра и его уплотнение. При этом она вполне адекватно описывает процессы таяния снега, особенно при задании альбедо подстилающей поверхности на основании натурных измерений. Расхождение между наблюдаемым и модельным временем полного исчезновения снежного покрова в последнем случае не превышает двух дней при общей длительности периода таяния снежного покрова порядка 40 дней. Также адекватно модель описывает изменение толщины льда за весь период наблюдений. Расхождение между рассчитанной и измеренной толщинами на момент окончания периода таяния при использовании измеренных значений альбедо поверхности составила 1–2 см при общем изменении толщины ледяного покрова от 1,2 до 2,3 м. Использование априорно заданных в основном варианте модели значений альбедо привело к занижению рассчитанной толщины льда на 10–12 см, что составляет порядка 10 % общего изменения его толщины. В целом выполненные численные эксперименты продемонстрировали хорошее воспроизведение моделью годового хода толщины льда и снега при реальном атмосферном форсинге.

Данные аэростатных зондирований пограничного слоя атмосферы (до высоты 1,5 км) и аэрологических – до высоты 30 км в настоящее время используются как для анализа изменчивости климата свободной атмосферы СЛО, так и для совершенствования региональной модели прогноза состояния полярной атмосферы, выполняющегося совместно ААНИИ и Гидрометцентром Росгидромета.

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПЕРЕМЕШАННОГО СЛОЯ И ПОТОКАМИ ТЕПЛА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ОКЕАН–АТМОСФЕРА В СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОМ БАССЕЙНЕ

А.В. СМИРНОВ^{1,3}, А.А. КОРАБЛЕВ²

¹ – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: avsmir@aari.nw.ru

² – Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена (Нансен-центр), г. Берген, Норвегия. e-mail: alexander.korablev@nersc.no

³ – Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Санкт-Петербург, Россия

Северо-европейский бассейн (СЕБ) – это область Мирового океана, включающая в себя Норвежское, Гренландское, Исландское и Баренцево моря. Она занимает особое место в климатической системе Северного полушария. В восточных частях Северных морей, направленная на север адвекция теплых и соленых атлантических вод формирует мягкий климат Северо-Западной Европы и характеристики водных масс в Северном Ледовитом океане. В западных частях, направленный на юг поток холодных и распресненных полярных вод оказывает сильное воздействие на характеристики верхнего слоя Северной Атлантики. Регион находится в зоне интенсивного взаимодействия с атмосферой. Благодаря теплоте Северо-атлантическому течению, ветви Гольфстрима проходящей через весь регион, в атмосферу поступает большое количество тепла.

В период зимнего охлаждения происходит образование верхнего квазиоднородного слоя, промежуточных вод, а в периоды благоприятные для развития глубокой конвекции перемешивание может достигать дна. Большая часть атлантических вод после их трансформации в северных морях и Арктическом бассейне возвращаются в Северную Атлантику в виде глубоководного перелива, замыкая тем самым ячейку глобальной термохалинной циркуляции.

Для изучения изменения климата океана в северных морях используется океанографическая база данных, разработанная в Арктическом институте, в рамках проекта Интас, содержащая данные по основным гидрохимическим параметрам с 1870 г. по настоящее время. Пространственное покрытие охватывает весь регион северных морей. Данные собраны более чем из 20 начальных источников. Все станции прошли контроль качества и проверку на дубликаты. В настоящий момент общее число используемых океанографических станций составляет 452821.

Для изучения временной изменчивости термохалинных характеристик были выбраны следующие ключевые районы СЕБ:

- Фареро-Шетландский пролив, 70 км;
- корабль погоды «Майк», 50 км;
- Лофотенская и Гренландская котловины, 100 км;
- область впадения вод Северо-Атлантического течения в Баренцево море, 100 км;
- стандартный норвежский разрез Sordkapp, 50 км.

Временные диаграммы, построенные по данным представленных точек, показывают изменение характеристик толщи вод за период с 1900 по 2009 г. и позволяют выделить несколько характерных периодов:

- общий холодный фон до 1920-х гг.;
- соленостная аномалия начала 1920-х гг.;
- потепление 1920–1940-х гг.;
- потепление 1950–1960-х гг.;
- похолодание конца 1960-х гг., с сопутствующим усилением вертикального обмена, Великая соленостная аномалия;
- распреснение 1990-х гг.;
- потепление в начале 2000-х гг.

Интенсивность процессов взаимодействия океана и атмосферы определяется циркуляцией атмосферы. Особенно следует отметить похолодание конца 1960-х гг., сопровождающееся усилением конвекции. Чтобы связать эти события необходимо проанализировать взаимосвязь потоков тепла на границе океан-атмосфера с толщиной перемешанного слоя, основным элементом через который океан и атмосфера обмениваются энергией.

Данные корабля погоды «Майк» содержат все необходимые данные для расчета теплового баланса по приведенным выше алгоритмам. Это единственная точка в регионе, которая имеет длинный непрерывный ряд измерений, достаточных для расчета потоков тепла. Составляющие теплового баланса были рассчитаны по формулам Reed и Josey и алгоритму COARE.

В суммарном потоке тепла отчетливо прослеживаются три пика, совпадающие по времени с аномальными событиями конца 1960-х, середины 1980-х и 1990-х гг. Периоды увеличения потоков тепла соответствует сильному снижению температуры воздуха, которое в свою очередь связано с усилением выноса льда из Арктического бассейна. Конец 1960-х — так называемые ледовые годы вокруг Исландии. Вынос льда в середине 1990-х гг., подтверждается рядами наблюдений в проливе Фрама.

Отклик океана на изменение тепловых потоков на границе раздела океан—атмосфера заключается в изменении толщины верхнего квазигомогенного слоя (ВКС). Расчет толщины перемешанного слоя производился по трем методикам:

- метод порогового критерия;
- градиентный метод;
- метод оценки кривизны профиля;

Из перечисленных алгоритмов метод оценки кривизны профиля является наиболее предпочтительным, поскольку не зависит от заранее принимаемых констант. Однако все методы критично зависят от подробности профиля. Расчеты, проведенные по всем перечисленным алгоритмам, наглядно доказывают, что толщина перемешанного слоя по историческим данным имеет высокую нестабильность. В точке «Майк» до 2002 г. глубоководные наблюдения выполнялись только батометрами и имели низкое вертикальное разрешение. С 2002 г. измерения стали выполняться CDT-зондами. Временные серии толщины перемешанного слоя, рассчитанные после 2002 г. по подробным данным, имеют высокую взаимосвязь с потоками тепла (0,75), тогда как расчеты по историческим данным практически не коррелируются.

Результаты, полученные на основе совместного анализа временных диаграмм термохалинных характеристик, атмосферных данных, потоков тепла и толщины перемешанного слоя позволяют сделать вывод о наличии тесной взаимосвязи между этими параметрами, которая наиболее ярко проявляется в аномальные периоды.

Обсуждаемые алгоритмы расчета тепловых потоков и толщины перемешанного слоя позволяют произвести количественную оценку, но очень чувствительны к качеству исходных данных. Для отработки приведенной методики требуются более точные ряды данных, как по атмосферным, так и по океанологическим параметрам.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СВЕРДРУПОВСКОГО ПЕРЕНОСА В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Е. И. КЛИМЧУК

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия. e-mail: kuchmilk@mail.ru

Проблема исследования глобальных меридиональных переносов массы и тепла в океане является важнейшей составляющей современных климатических исследований. Именно эти переносы осуществляют перераспределение вод и тепла между широтами Атлантического океана и, в конечном счете, оказывают непосредственное влияние на климат Европы. Принято считать, что главными слагаемыми таких меридиональных переносов являются, переносы, осуществляемые в результате прямого воздействия ветра на поверхность океана (дрейфовый перенос – S_{dr}), переносы, возникающие из-за неравномерного распределения в океане плотности воды (обычно к ним относят геострофические переносы – S_{geost}), а также, так называемые меридиональные свердруповские переносы, осуществляемые в результате завихренности поля ветра (S_{sv}). Исследование каждого из названных видов переносов представляет собой самостоятельную задачу. Исследованию сезонной изменчивости свердруповского переноса в Северной Атлантике посвящена данная работа.

В работе были использованы данные о распределении составляющих тангенциального напряжения ветра τ_{0x} и τ_{0y} в узлах 2-градусной сетки, взятые с ресурса HELLERMAN: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/HELLERMAN/>. По этим данным для акватории всего Мирового океана для всех 12 месяцев года были вычислены среднемесячные поля S_{sv} . Далее, следуя поставленной задаче, основное внимание в работе было сосредоточено на описании особенностей годового цикла изменчивости свердруповского переноса в пределах Северной Атлантики.

Одной из важных океанологических характеристик является, так называемый, интегральный свердруповский перенос, дающий обобщенное представление о меридиональном переносе масс в океане. В данной работе он оценивался путем поширотного интегрирования единичных значений S_{sv} от восточного берега Атлантического океана к западному.

Нами было рассчитано, что максимальный интегральный меридиональный свердруповский перенос наблюдается на 57–59° с.ш. В декабре–январе он достигает 30 Св и более ($1 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с} = 1 \text{ Св}$). В это же время года интенсифицируется и отрицательный (направленный на юг) интегральный перенос в северном субтропическом антициклоническом круговороте (ССАК), в декабре его величины также могут достигать 30 Св. Такая синхронная интенсификация разнонаправленных меридиональных переносов, имеющая место в северном тропическом циклоническом круговороте (ССЦК) и ССАК, по всей видимости связана с зимней интенсификацией зональной атмосферной циркуляции, имеющей место в области взаимодействия ССЦК и ССАК. Помимо отличий в направлениях свердруповского переноса в ССЦК и ССАК имеется и другое отличие принципиального свойства: в ССЦК знак переноса не меняется в течение всего года, тогда как в ССАК в марте месяце интегральный свердруповский перенос не просто ослабевает, а меняет знак.

ВОЛНЫ РОССБИ НА ПОЛЯРНОЙ ПЛОСКОСТИ И ВЛИЯНИЕ БАТИМЕТРИИ НА ГЕОСТРОФИЧЕСКУЮ АДАПТАЦИЮ В МОДЕЛИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

М.В.ЛУНЕВА, Э.УИЛМОТТ, М.А.МАКЕДА

National Oceanographic Centre Liverpool, Liverpool, United Kingdom. e-mail: mane1@pol.ac.uk

To investigate the barotropic response of the Arctic Ocean to large-scale atmospheric forcing perturbations we consider the idealised problem of barotropic adjustment in a circular basin when sea surface height anomalies are introduced. Shelves of arbitrary depth and width, as well as ocean ridges and escarpments are introduced in the basin in various experiments. The numerical model used for these experiments is NEMO 3. The horizontal resolution is of 10 km.

In the case of a uniformly rotating basin and prescribed step or bump, analytical solutions for the sea surface height anomalies are derived for a semicircular basin. These semicircular-basin solutions are identical to the solutions that one would obtain in a circular basin containing a central step or ridge, and are used as part of the validation of the numerical ocean circulation model.

We find that the initial adjustment (the first 5-to-20 model days, say) to a sea surface height anomaly on the polar plane is very similar to the solution of the same problem on the f -plane. However, on the longer time scales, topographic Rossby waves are responsible for further evolution of the flow.

The characteristics of the Rossby waves in the numerical solution are in good agreement with the ones from the solution of LeBlond equation (1964) for free waves on the Polar plane in a circular basin. A simple parameterisation for the phase and group velocities of Rossby waves on the polar plane in a circular basin are found. As in the beta plane, the phase velocity of Rossby waves is always directed westward, while the group velocity, responsible for energy transport, is westward for long waves (first and second zonal modes) and eastward for much shorter waves with zonal wave-numbers 4–8. The periods of the first zonal mode are between 105 and 125 days, depending on the radial mode. The second zonal mode has periods of about one year. For a given radial number, the westward group velocities for long Rossby waves are typically an order of magnitude higher than the group velocities of eastward propagating short waves.

It is shown that solutions with axisymmetric topography (high central ridge or steep central step) are identical to the corresponding solutions in the semicircular basin. Steep topography creates a potential vorticity barrier which precludes the propagation of Rossby waves across the topographic feature. Upon hitting the ridge or step, Rossby waves are reflected backwards as by a wall. For the first zonal mode, the period of westward propagation of energy is about 130 days, while the eastward propagation period is about 1000 days, in good agreement with estimates from Le-Blond equation.

An interesting case is encountered in the semicircular basin (or circular basin with ridge or step) when the initial perturbation in SSH is a radially symmetric bump, which corresponds to radial number two. In this case, the fastest modes that are able to transfer energy eastwards are relatively short (mode 7–9) with semi-period of energy transport of about 30 years. As an initial response, a two-gyre system consisting of a cyclonic gyre and an anticyclonic gyre starts to propagate westward with group velocity corresponding to zonal mode 1 and radial number 2. Approaching the western boundary, these gyres are unable to reflect and eventually break into barotropic eddies with length scales of 200 km concentrated near the western boundary.

The results from these idealised configurations will be compared with solutions obtained for a realistic Arctic bottom topography, with/without ridges and shelves.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА В МОРЯХ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

И.А.РЕПИНА, А.С.СМИРНОВ, Д.Г.ЧЕЧИН

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, г. Москва, Россия. e-mail: repina@ifaran.ru

Механизм энергообмена между атмосферой и подстилающей поверхностью в Арктическом бассейне очень сложен, поскольку эта подстилающая поверхность обладает сложной структурой. Здесь присутствуют самые разнообразные типы поверхности: открытая вода в состоянии штиля, развитого волнения и шторма; сплошной ледяной покров (гладкий, заснеженный, покрытый торосами); таящий лед; лед с полыньями и разводьями; льды разного возраста и различной толщины; континентальный лед сложной орографии. С одной стороны, ледяной покров существенно препятствует теплообмену между атмосферой и океаном, а с другой стороны, наличие и развитие ледяного покрова определяется интенсивностью процессов теплового и динамического взаимодействия двух сред. Интерес к исследованиям морского льда и связанных с ним процессов объясняется тем, что его пространственно-временная изменчивость играет важную роль в крупномасштабных атмосферных и океанских процессах. Ледяной покров определяет изменение альбедо, потоки тепла и влаги, а также динамическое взаимодействие между океаном и атмосферой. На формирование термического режима приповерхностного слоя атмосферы существенное влияние оказывают и фазовые превращения на поверхности океана, связанные с замерзанием водной поверхности и таянием льдов. Особый интерес представляет изучение влияния на тепловой баланс полярных районов полыней и разводий (трещин, каналов). В работе рассматривается влияние структурных и температурных неоднородностей на поверхности, покрытой льдом на энерго-, и газообмен между атмосферой и подстилающей поверхностью. Используются данные, полученные в арктических экспедициях 2007–2008 гг. Исследуется трансформация воздушного потока при переходе с поверхности одного типа на другую (лед – открытая вода; торосы – ровный лед). Получены значения турбулентных потоков тепла, импульса и углекислого газа в различных условиях, получена зависимость коэффициентов обмена от возраста и толщины льда, исследованы теплофизические свойства покрытой льдом морской поверхности. По данным измерений рассчитывается параметр шероховатости различных поверхностей. Измерения потоков углекислого газа проводились над льдом различной сплоченности и над открытой водой. В основном океан поглощает углекислый газ из атмосферы. Над сплошным льдом поток отрицателен и близок к 0. Положительные аномалии в морях Восточной Арктики могут быть связаны с наличием речного стока. А увеличение поглощения CO_2 из атмосферы в море Лаптевых объясняется влиянием снежниц на газообмен. По данным проведенных наблюдений в полынье на расстоянии порядка десяти метров от ее границы существуют области выхолаживания, образующие холодный скин-слой. При измерении на подветренной границе полыньи подобный эффект не обнаружен. Чтобы исследовать влияние изменчивости температуры поверхности на температуру атмосферы нами были проведены одновременные измерения пульсаций температуры поверхности T_0 и температуры воздуха T . Удалось обнаружить, что температурные неоднородности на поверхности передаются атмосфере и модулируют низкочастотные возмущения температуры и влажности воздуха. Изменчивость температуры поверхности вызывает значительный отклик в атмосфере даже при сильно устойчивой стратификации. Работы проводились в рамках международного проекта IAOOS (N 14), а также при поддержке проекта Президиума РАН «Природные процессы в полярных областях Земли и их вероятное развитие в ближайшие десятилетия» и Российского фонда фундаментальных исследований.

ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТОРОСОВ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ ОБЛАСТИ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

С.П.ПОЛЯКОВ, О.М.АНДРЕЕВ, А.М.БЕЗГРЕШНОВ, Б.В.ИВАНОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: poliakov@aari.nw.ru, ambezgreshnov@mail.ru, b_ivanov@aari.nw.ru

Представлены результаты работ, выполненных на дрейфующем снежно-ледяном покрове в центральной части арктического бассейна в период международного полярного года (2007–2009 гг.). В ходе сезонных исследований на СП-35, СП-36 (на базе «Барнео») и экспедиции «Арктика-2008» получен ряд уникальных данных о характеристиках радиационного баланса морского ледяного покрова в зависимости от неоднородностей его поверхности.

Проведены экспериментальные исследования радиационных характеристик торосистых образований в центральной Арктике. В том числе проведены измерения отражающей способности подстилающей поверхности при наличии торосов разного возраста, а также для ровной поверхности; определено поглощение коротковолновой солнечной радиации при различных углах наклона боковых граней паруса тороса; проведены измерения ослабления коротковолновой солнечной радиации в толще паруса тороса различной формы и возраста.

Получены зависимости количества поглощенной коротковолновой солнечной радиации в толще паруса тороса от его геометрической формы.

На основе полученных зависимостей рассчитаны коэффициенты экстинкции для различных типов снега и льда, из которого состоит толща паруса тороса.

ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ДРИФТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗУЧЕНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ, ПУТИ ЕЕ ДАЛЬНЕЙШЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Н.Н.ЖИЛЬЦОВ

*ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт», Санкт-Петербург, Россия.
e-mail: 12345nik1@rambler.ru*

Начиная с 2000 г. активизировалась реализация крупной международной программы по созданию глобальной инструментальной сети мониторинга океана и приводной атмосферы. В состав наблюдательных средств входят прибрежные и глубоководные якорные буи; профилирующие поплавки, станции уровня океана, попутные судовые наблюдения, спутниковые измерения и другие методы и средства. Актуальность создания этой наблюдательной системы связана с контролем изменчивости климата, изучением взаимодействия системы океан-атмосфера, улучшением прогноза погоды, предсказанием и снижением негативных последствий стихийных и опасных гидрометеорологических явлений.

Одним из важнейших компонентов создаваемой наблюдательной сети являются поверхностные дрейфующие буи или дрейфтеры, предназначенные для контроля параметров деятельного слоя океана и приводной атмосферы. Развиваемая в последние годы дрейфтерная технология предполагает создание и применение таких буйковых систем, которые, являясь с одной стороны океанографическими, позволяют также контролировать метеорологические параметры приводной атмосферы. Такая технология удовлетворяет нуждам как океанографов, так и гидрометеорологов и обеспечивает унификацию буйковых носителей для решения широкого класса научных и прикладных задач.

В настоящее время спутниковая дрейфтерная технология является современным результативным методом контроля состояния деятельного слоя океана и приводной атмосферы в интересах оперативной океанографии и гидрометеорологии.

К сожалению отечественные аналоги дрейфующих буйев отсутствуют.

Существующие аналоги зарубежных дрейфующих буйев измеряют, как правило, скорость и направление поверхностного течения и температуру воды, последние модификации начали измерять атмосферное давление.

Есть отдельные буи, которые измеряют температуру воздуха, направление и скорость ветра, температуру воды. Некоторые модификации измеряют только параметры волнения.

Комплексное изучение взаимодействия океана и атмосферы требует получения всех перечисленных гидрометеорологических параметров и желательно их получение с одной измерительной базы для приведения всех параметров в один ряд наблюдений.

До настоящего времени единого средства, измеряющего этот набор параметров в открытом море не существует.

По нашему мнению разработка нового метода измерения параметров волнения с использованием Глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС позволит создать отечественную дрейфующую автоматическую гидрометстанцию мирового уровня, существенно превосходящую зарубежные аналоги по информативности.

Используя волномерный дрейфующий буй с приемником спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС как платформу, предлагаем на нем разместить датчики измерения температуры воды в поверхностном слое и приводной температуры воздуха, атмосферного давления. Это позволит в одной точке в один момент времени получать следующие параметры: температура воздуха, атмосферное давление, температура воды, расширенные параметры волнения, период волн, высота волн, длина волн, скорость и направление распространения волн, крутизна волн, направление и скорость дрейфа буя.

Созданное средство найдет применение в различных отраслях деятельности: безопасность мореплавания, поисково-спасательные операции, ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, изучение взаимодействия океана и атмосферы, развитие сети наблюдений с целью предупреждения стихийных явлений и улучшения качества разрабатываемых прогнозов.

ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В ПЕРИОД МПГ 2007/08

А.И.РЕШЕТНИКОВ, Н.Н.ПАРАМОНОВА, В.М.ИВАХОВ

Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: reshal@peterlink.ru

Одним из основных факторов определяющих рост температуры приземного воздуха в Арктике является рост концентрации парниковых газов (ПГ) – углекислого газа CO_2 и метана CH_4 . Поэтому измерениям концентрации этих газов в Арктике и их вариациям в зависимости от изменений параметров окружающей среды в настоящее время в мире уделяется большое внимание. Россия, обладая самой протяженной территорией Арктического побережья, имеет только 2 станции мониторинга парниковых газов. В акватории Северного Ледовитого океана (в ее Российской части), насколько нам известно, измерений парниковых газов в атмосфере до настоящего практически не проводились. Поэтому исследования ПГ, выполненные на судах Росгидромета в период МПГ должны были внести весомый вклад в понимание природных процессов происходящих в этом крупномасштабном регионе. В докладе представлены результаты совместных с ААНИИ наблюдений за концентрацией парниковых газов, полученные в период рейсов НЭС «Академик Федоров», а также на дрейфующей станции СП-35.

В 2007 г. измерения были выполнены в период двух рейсов НЭС «Академик Федоров» июле-августе и сентябре месяце. В первом рейсе НЭС «Академик Федоров» маршрут проходил от Мурманска до Северного полюса и наблюдения были выполнены вдоль этого маршрута. Во втором рейсе измерения выполнялись в северо-восточной части СЛО. В 2008 г. в апреле месяце были выполнены измерения концентрации CO_2 и CH_4 на дрейфующей станции СП-35, а в августе-сентябре на маршруте НЭС «Академик Федоров» от Мурманска вдоль северного побережья России в восточном направлении почти до Чукотского п-ва. На протяжении этой части маршрута было проведено 13 парных отборов проб воздуха с борта судна, 5 отборов проб были выполнены на обратной части маршрута, проходящего значительно севернее. Северная часть маршрута проходила в более высоких широтах СЛО и при больших глубинах океана за исключением шельфов островов Северной Земли и земли Франца-Иосифа. На этой части маршрута было выполнено 5 парных отборов проб воздуха.

В докладе будут представлены данные наблюдений за концентрациями обоих парниковых газов на указанных выше маршрутах и изложены результаты предварительного анализа данных измерений. В качестве иллюстрации приведены (рис. 1) результаты морских измерений 2008 г.

Как следует из рисунка объемная концентрация CO_2 изменялась в пределах от 372,5 до 378,8 млн⁻¹, что вполне соответствует вариациям концентрации газа, наблюдаемого на стационарных станциях Териберка (РФ) и Барроу (США). В целом по данным этих наблюдений не наблюдается тенденции изменений концентрации CO_2 с изменением долготы.

Что касается CH_4 , то здесь картина другая. Наблюдался целый ряд точек отбора проб, где концентрация газа превышала фоновые значения для тех же месяцев года на 30, а в ряде случаев на 50 и более млрд⁻¹. Наиболее, как казалось, очевидное объяснение этого превышения должно было бы состоять в том, что перенос воздушных масс был в дни наблюдений с материка, естественные источники эмиссии метана которого могли способствовать в летние месяцы при определенных условиях повышению его концентрации в районе измерений. Критерий качества данных по концентрациям CH_4 соответствовал 6 млрд⁻¹ для парных отборов проб. Расчет обратных траекторий переноса воздушных масс, выполненный с использованием программы NOAA

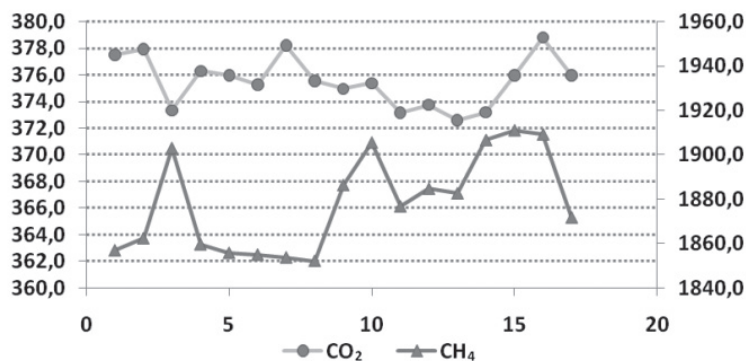


Рис. 1. Результаты измерений концентраций CO_2 и CH_4 в период рейса НЭС «Академик Федоров» в августе-сентябре 2008 г.

«HYSPLIT» показал, что из 9 точек концентрация CH_4 в которых существенно превышала фоновую, только одна траектория (высоты 100, 500 и 1000 м) проходила над материком, все остальные были с северных направлений. В связи с чем требовалось искать другую причину измеренного прироста концентрации CH_4 . Еще в ранних работах геологов, исследующих район газовых месторождений Западной Сибири и прилегающих к ним шельфах морей высказывались опасения, что в связи с тем, что верхняя часть чехла морей сложена из слабokonденсированных илов, песка и глин, сцементированных с газовыми гидратами, то можно предсказать, значительные осложнения при разработке газовых и нефтяных месторождений, которые вызовут протаивание в этом слое. В результате оттаивания гидратов, как на море, так и на суше возможны появления неконтролируемых фонтанов нефти и газа (Якушев, 1994).

Специалистами Дальневосточного института географии РАН отмечались повышенные концентрации метана на шельфе в восточных морях СЛО (Шахова, 2009, Семилетов, 2004) и, как считают авторы, эти проявления свидетельствуют о наличии источников метана на шельфе морей, прилегающих к территории Восточной Сибири, под морской поверхностью на глубинах 300 и более метров. Хотя авторами работы не приводятся конкретных данных наблюдений, кроме визуальных, тем не менее, подобная гипотеза имеет право на существование. Тем более что по данным других многочисленных работ, запасы метана в виде гидратов в российской Арктике по объему превышают объемы всех разведанных запасов. Вопрос лишь в том, что может служить причиной наблюдающихся проявлений метана, поскольку гидраты метана при тех условиях, в которых они находятся, представляют собой устойчивые соединения, для распада которых на воду и метан необходимо либо понизить давление, либо увеличить температуру.

ПОСТУПЛЕНИЕ МЕТАНА ИЗ ОКЕАНА В АТМОСФЕРУ

Х.ЛЮАН¹, А.ОБЖИРОВ²

¹— Key lab of marine geology and process, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, China. e-mail: xluan@ms.qdio.ac.cn

² — Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

Shallow gas hydrates had already been retrieved by gravity corer, busyness fishing net, and submersible machine on the sea floor and in the sediment near to the sea floor. For the most of occurrences, the sea floor topography where shallow gas hydrates had been retrieved, is closely related to the dome structures. Take the Okhotsck sea for example, the dome structures were commonly found on the slope, especially along the Middle and Lower Sakhalin Slope which were about several hundred meters wide and several ten meters high. Different from sea floor sand waves and sand ridges, the dome structures were isolated structures but with a slightly longer lower wing than that of the upper wing. A joint compress stress field from Deryugin basin to the Sakhalin Slope and also from north Sakhalin Slope to the South Sakhalin Slope along the strike slip fault along Sakhalin Slope was the main cause of the formation of the dome structures, and also the main cause of the diapir structures among the dome structures. Acoustic turbidity beneath the diapir structures clearly shows the migration of free gases from deep to the gas hydrate stability zone and to the sea water body from the mini crater on top of the dome structure.

Methane bubbles from the mini crater on top of the dome structure gathered together are migrating up in the sea water column in a special flare shape. This kind of methane flares are imaged by hydroacoustic complex created on the basis of several echo-sounders and multichannel digital registration system of hydroacoustic signals. A typical methane flare on Sakhalin Slope at water depth of 840 m, is about 400 m in height, and 150 m in wide. So, in the case of water depth less than 400 m, the methane bubbles can reach the atmosphere through the water column, On this point of view, the oceanic water can be also a sources of methane contributing to the atmosphere not only the sinks of methane from the atmosphere as traditionally believed by scientists. However, the amount of methane from the oceanic water to the atmosphere is quite complex to be calculated.

ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РАЙОНЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА В РЕЖИМЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

В.Е.ЛАГУН, Н.Е.ИВАНОВ, А.И.КОРОТКОВ, А.В.КЛЕПИКОВ, С.В.ЯГОВКИНА

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: lagun@aari.nw.ru

Южная полярная область, являясь уникальным компонентом земной климатической системы, оказывает значительное влияние на формирование глобального климата, и в то же время является чутким индикатором климатических изменений, происходящих на планете. Наличие морского льда делает климат Антарктики особенно чувствительным к изменению климата вследствие разнообразных обратных связей в климатической системе. Очевидность изменения климата, произошедшего на планете в двадцатом столетии, определяет необходимость количественного изучения изменчивости параметров земной климатической системы для построения обоснованных сценариев будущих климатических изменений. Наиболее заметные изменения климата зарегистрированы на Антарктическом полуострове. Район Антарктического полуострова лучше обеспечен гидрометеорологической информацией по сравнению с другими районами Антарктики. В настоящее время доступны данные 30 пунктов наблюдений, работавших различное время за период 1944–2010 гг., из которых 16 выполняют круглогодичные наблюдения. За последние полвека средняя годовая приземная температура воздуха выросла здесь почти на 3 °С, что намного превышает аналогичные величины для других районов Южного полушария. Климат Антарктического полуострова формируется в результате сложного взаимодействия между атмосферой, океаном и морским льдом. Местные климатические условия чувствительны к изменениям, происходящим в тропической части Тихого океана, например, в связи с явлением Эль-Ниньо – Южное колебание, повторяемость которого выросла в последние десятилетия. Это явление ответственно за формирование значительной короткопериодной изменчивости климата в регионе и отражено в результатах метеорологических измерений, наблюдений за морским льдом и параметрами динамики морского биоразнообразия. Локальные изменения параметров гидрологического режима также могут влиять на поддержание режима потепления в районе Антарктического полуострова. Например, интрузия относительно теплой циркумполярной глубинной воды на шельф западного побережья полуострова влияет на процессы таяния морского льда и через систему обратных связей в земной климатической системе на потепление в атмосфере. Окраинные моря, разделенные Антарктическим полуостровом, существенно различаются по ледовым условиям. В море Уэдделла к западу от 40° з.д. располагается ядро Атлантического ледяного массива, которое на протяжении всего года блокирует восточное побережье полуострова. Западное побережье, напротив, в течение в среднем до полугода, с ноября по апрель, по большей части свободно от существенных скоплений льда. При этом максимальная толщина льда местного образования по данным станции Беллинсгаузен, как правило, не превышает 1 м, тогда как ядро Атлантического массива сложено в основном двухлетним льдом толщиной 2 м. По данным спутниковой информации, прием которой осуществляется на станции Беллинсгаузен с 1980 г., внутригодовое изменение ледовых фаз в районе Антарктического полуострова сводится к следующему: усиление в мае выноса льда на север из моря Уэдделла в районе 50° з.д. с образованием между Южными Оркнейскими островами и островом Мордвина (Элефант) пучности Атлантического ледяного массива, достигающей проливом Брансфилд у 60° ю.ш.; распространение языка льда в проливы Брансфилд и Лопер под воздействием западного ответвления круговорота Уэдделла, которое фактически является региональным звеном циркумполярного антарктического прибрежного течения; колебания синоптического масштаба положения указанного ледового языка в зависимости от преобладающих погодных условий с поступлением льда в залив Максвелл; развитие в июне-июле аналогичного языка льда, но противоположной направленности – из района 65° ю.ш. 70° з.д. на восток, в пролив Дрейка, с внешней стороны островных архипелагов по восточной периферии «большого» круговорота Беллинсгаузена; образование в районе Южных Шетландских островов в августе-сентябре из-за разнонаправленного дрейфа льда в проливах Брансфилд и Дрейка ярко выраженной излучины кромки ледового пояса (залива во льду) с вершиной в проливе Брансфилд, а нередко и замкнутой, локализованной в проливе полынни; быстрое сокращение с середины сентября ширины ледового пояса у тихоокеанского побережья полуострова, приводящее к полному очищению к началу ноября района Южных Шетландских островов, включая пролив Брансфилд; замедление процесса очищения от льда остального побережья полуострова южнее 65° ю.ш., находящегося в круговороте Беллинсгаузена. Таким образом, Антарктический полуостров является водоразделом двух ярко выраженных антиподов ледово-гидрологического режима: холодной западной части круговорота Уэдделла и относительно теплого круговорота Беллин-

сгаузена. Район Южных Шетландских островов, располагаясь на стыке названных циркуляционных систем, подвержен их обоюдному влиянию. Поэтому он представляется наиболее репрезентативным для оценки региональных изменений морского ледяного покрова. Наиболее представительными рядами ледовой информации по району Южных Шетландских островов являются данные прибрежных наблюдений на станции Беллинсгаузен за наступлением основных ледовых фаз в бухте Ардли залива Максвелл за период 1968–2010 гг. и на побережье залива Адмиралти с 1948 г. по данным наблюдений и реанализа. Сравнительный анализ интенсивности процессов условий ледообразования в двух заливах острова Кинг Джордж показал зависимость степени суровости ледовых условий от преобладающих аномалий скорости ветра и температуры воздуха, а также падение повторяемости формирования мощных ледяных полей, сокращение периода ледостава, толщины льда и связь с фазой явления Эль-Ниньо- Южное колебание (более суровые ледовые условия наблюдаются в годы с Эль-Ниньо, менее суровые – в годы с Ла-Нинья). Интенсивное таяние морского льда и покровных ледников на севере Антарктического полуострова привело к распреснению поверхностного слоя моря, изменению содержания растворенного кислорода в морской воде из-за вымывания осадочных пород. В период подготовки и проведения Международного полярного года организованы программы регулярных гидрологических наблюдений на станции Беллинсгаузен, мониторинга биоразнообразия, фотофиксации основных ледовых фаз в рамках международного проекта CLICOPEN, что позволило оценить воздействие потепления на эволюцию биологических сообществ, включая сообщества зоопланктона. В отличие от других частей антарктического побережья в районе Антарктического полуострова происходит сокращение морского ледяного покрова, тесно связанное с изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции и динамикой водных масс.

ШИРОТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОЗОЛЯ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ТРАНСАТЛАНТИЧЕСКОМ ГАЛСЕ ПО ДАННЫМ ПОПУТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА НЭС «АКАДЕМИК ФЕДОРОВ» В НОЯБРЕ 2009 Г.

В.В.ПОЛЬКИН¹, Ю.В.АРТАМОНОВ², В.П.БУНЯКИН³, С.П.КИСЛИЦИН³

¹ – *Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН, г. Томск, Россия. e-mail: victor@iao.ru*

² – *Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь, Украина*

³ – *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

Несмотря на возросший в последние годы интерес к экспериментальным исследованиям пространственно-временной изменчивости атмосферного аэрозоля над океаном, как важнейшего индикатора климатических изменений, его взаимосвязь с распределением гидрометеорологических параметров изучена слабо. В 30-м рейсе НЭС «Академик Федоров» наряду с подробными измерениями метеорологических характеристик и параметров верхнего навигационного слоя океана, проводились детальные измерения параметров аэрозоля, что позволяет частично заполнить существующий пробел в изучении влияния внешних факторов на пространственное распределение аэрозоля. В докладе анализируется широтное распределение счетной (N_A – для частиц с диаметром более 0,3 мкм), массовой (M_A – для частиц с диаметром более 0,23 мкм) концентраций аэрозоля и массовой концентрации поглощающего аэрозоля, «сажи» (M_{BC} – субмикронного диапазона), в связи с изменчивостью гидрометеорологических параметров на трансатлантическом галсе, выполненном в ноябре 2009 г.

Показано, что разные параметры атмосферного аэрозоля по-разному реагируют на изменение гидрометеорологических условий. В северной части галса на участках между 44 и 48° с.ш. и 33 и 38° с.ш. отмечалось усиление западных ветров, волнения моря и повышение относительной влажности воздуха. Это способствовало образованию частиц морского происхождения («пузырьковый» механизм генерации и срывание частиц пены с гребней волны) и, соответственно, росту значений аэрозольных параметров. Наибольшие значения отмечаются для счетной концентрации частиц (N_A). Ослабление скорости ветра между 32 и 24° с.ш. привело к уменьшению концентраций аэрозолей.

Южнее 24 и 12° с.ш. отмечался рост всех аэрозольных параметров (N_A , M_A и M_{BC}), который обусловлен усилением пассата, приносящего с северо-востока терригенный аэрозоль из пустынных районов Африканского континента. Максимальных значений параметры N_A , M_A достигают на северной границе ВЗК (12–14° с.ш.), где аэрозоль подвергается воздействию высокой относительной влажности воздуха. Между 5 и 10° с.ш., где наблюдаются максимальные значения температуры воздуха и воды, отмечался рост массовой концентрации «сажи» (M_{BC}). Здесь, в условиях минимальной скорости ветра, аэрозоль в пылевых выносах максимально поглощает солнечную радиацию в видимом диапазоне длин волн. На юге галса, на участке между 16 и 25° ю.ш., снова отмечалось повышение значений N_A и M_A , которое, связано с выносом юго-восточными ветрами пылевого аэрозоля из пустыни Калахари.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ СЕКЦИИ «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ»

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА СТАНЦИЯХ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС»

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛИННОВОЛНОВЫХ И КОРОТКОВОЛНОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА (СРБ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНСТРУКТИВНО ИНТЕГРИРОВАННОГО БАЛАНСОМЕРА CNR 1 KIPP&ZONEN

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ РАБОЧИЕ МЕСТА (АРМ) ДЛЯ ОБРАБОТКИ АКТИНОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ (MAWS v110 И SONE 7v02)

А.А.РЕЧНОВ, А.А.МИШИН, Е.Е.СИБИР

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: rechnov@aari.nw.ru

Показан современный уровень инструментальных измерений составляющих радиационного баланса (СРБ) на станциях высокоширотной арктической экспедиции (ВАЭ) АНИИ «Северный полюс» (СП). Описан путь восстановления и развития актинометрических измерений на дрейфующих станциях СП-33–СП-36. От регистрации суммарной солнечной радиации (Q) и ручной обработки данных, до регистрации отдельных длинноволновых и коротковолновых СРБ интегрированным балансометром CNR 1 (KIPP&ZONEN) и автоматизированной обработкой данных АРМ. Результаты измерений (месячные суммы радиации) сопоставлены с климатическими данными СП-2–СП-31. Впервые получены ежеминутные данные непрерывной регистрации по нисходящим (W_a) и восходящим потокам (W_o) длинноволновой радиации в условиях СП. Даны максимальные и минимальные значения W_a (нисходящее длинноволновое излучение атмосферы) и W_o (восходящее длинноволновое излучение подстилающей поверхности) по месяцам СП-35, СП-36. Для станций СП-35, СП-36 приведена сводная таблица измеренных и расчетных составляющих радиационного баланса. Приведены структурные схемы разработанных для этих целей АРМ полуавтоматической станции MAWS 110 (MAWS v110 первичная обработка) и АРМ для обработки актинометрической информации (SONE 7v02). Описаны основные функции программных модулей и этапы обработки АРМ. Дана примерная технологическая схема получения и обработки актинометрической информации станций СП. Описана технология метрологического обеспечения данных измерений по коротковолновым составляющим Q и R_k (отраженная радиация). Отмечена необходимость дальнейшего развития технической и приборной базы актинометрических наблюдений СП для получения полного комплекса СРБ с использованием следящих систем, а также проведения работ по подготовке методик выполнения измерений (МВИ) для новых технических средств измерения и регистрации данных.

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЗОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОТОКОВ ТЕПЛА И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СТ. БЕЛЛИНСГАУЗЕН В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2008–2009 ГГ.

А.Ю.АРТАМОНОВ

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова, РАН, г. Москва, Россия. e-mail: arseniy_ur@mail.ru

Изменение потоков тепла является одним из факторов колебаний климата в обширных районах земного шара. В Антарктике механизм энергообмена между атмосферой и подстилающей поверхностью очень сложен, поскольку, с одной стороны, сама подстилающая поверхность обладает сложной структурой (открытая вода в состоянии штиля, развитого волнения и шторма; сплошной ледяной покров (гладкий, заснеженный, покрытый торосами); таящий лед; лед с полыньями; континентальный лед и т.д.). С другой стороны в Антарктике наблюдается интенсивная синоптическая изменчивость, связанная с формированием циклонов, особенно активных в районе Антарктического полуострова. Этот регион вызывает особый интерес для изучения особенностей энергетического режима полярных областей.

В январе–феврале 2009 г. на ст. Беллинсгаузен проводились инструментальные измерения потоков тепла и импульса в приповерхностном слое атмосферы при различных фоновых условиях. Измерялись пульсации температуры, горизонтальной и вертикальной компонент скоростей ветра и измерения температуры поверхности. При работе использовался комплекс метеорологический МК-15(32) с акустическим анемометром. Потоки тепла и импульса рассчитывались методом турбулентных пульсаций.

Анализ результатов показал, что поверхности покрытые мхом и камнями в дневное время хорошо прогреваются за счет поступления солнечной радиации. Градиенты температуры в это время достигают $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$. Расчеты потоков тепла выявили четкий суточный ход интенсивности теплообмена, при этом для дневных измерений поток тепла положителен (направлен от поверхности). Его значение изменяется от десятков до сотен $\text{Вт}/\text{м}^2$ в зависимости от метеоусловий (интенсивности циклонической деятельности). Обычно, наибольшей интенсивности энергообмен достигал с 12:00 до 16:00 местного времени, потом его интенсивность ослабевала и к 22 часам местного времени практически исчезал. Ночью временами наблюдался отрицательный поток тепла. Над ледником, который является естественным изолятором, суточные контрасты в изменении потоков тепла существенно сглаживаются.

На основе экспериментальных данных получены значения параметра шероховатости поверхности для разных направлений ветра, и значения коэффициентов обмена для потоков тепла и импульса. Его наибольшее значение соответствуют сектору с морской поверхностью, откуда дуют сильные ветра, вызывающие волновые возмущения на поверхности моря. Исследована зависимость коэффициентов обмена от скорости ветра, динамической скорости ветра, устойчивости атмосферы. Получены значения коэффициентов теории подобия, позволяющие рассчитывать статистические характеристики турбулентных полей. При неустойчивой стратификации установлена зависимость этих коэффициентов от параметра устойчивости атмосферы.

ОСОБЕННОСТИ РАДИАЦИОННОГО ЭНЕРГООБМЕНА В АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ РОССИЙСКИХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЙ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-35, 36»

В.Ю.КУСТОВ, Н.С.ЗИНОВЬЕВ, А.П.МАКШТАС, С.В.ШУТИЛИН

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: kustov@aari.nw.ru

Основная информация о турбулентных и радиационных потоках тепла и тепловом балансе поверхности Северного Ледовитого океана была получена по данным наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс-4» (Яковлев, 1958, Назинцев, 1964, Jordan et al. 1999) и «Северный полюс-22, 23» (Макштас, 1984). В 1997–1998 гг. различные аспекты процессов взаимодействия атмосфера – морской лед – поверхностный слой океана были исследованы во время экспедиции SHEVA (Uttal T. et al, 2002). Некоторые недостатки предыдущих исследований теплового баланса ледяного покрова были обусловлены либо использованием менее точных средств наблюдений, соответствующих уровню развития измерительной техники того времени («Северный полюс-4, 22, 23»), либо слабым взаимодействием между различными группами исследователей (SHEVA). Во время организации наблюдений на дрейфующей станции «Северный полюс-35, 36» нами была сделана попытка объединить достоинства методики экспериментальных исследований на российских дрейфующих станциях и преимуществ, связанных с современным состоянием средств измерений, характерным для эксперимента SHEVA.

На основе данных измерений спектрального альbedo подстилающей поверхности на маршруте, ежеминутной регистрации составляющих радиационного баланса в точке, а также измерений спектра солнечной радиации, проникающей через ледяной покров, проведенных на дрейфующих станциях «Северный полюс-35, 36» (2007–2009 гг.), выполнено описание характеристик радиационного энергообмена в системе атмосфера – морской лед – океан.

Анализ показал, что с началом периода таяния величина интегрального альbedo подстилающей поверхности уменьшается с 84 % до 55 %. При этом впервые было отмечено, что альbedo снежной поверхности при низких углах солнца имеет ярко выраженный суточный ход, амплитуда которого при ясном небе составляет до 16 %. Предложено объяснение этого явления наличием застрогов, влияние которых аналогично эффекту отражения на наклонных поверхностях (Кондратьев, 1978). При наличии просвечивающей облачности амплитуда величины альbedo в течении суток составляет до 4 %. В пасмурную погоду, при наличии плотной слоистой облачности, дневной ход альbedo не имеет отчетливо выраженного характера.

Исследования спектрального ослабления солнечной радиации, проникающей через лед, показало, что в спектральном диапазоне 780–950 нм солнечная радиация полностью поглощается ледяным покровом. Минимум поглощения радиации приходится на длину волны 535 нм. При этом величина проходящей под лед солнечной радиации составляет 2,4 % в июне и порядка 40 % в июле. Указанный фактор до настоящего времени не учитывался в термодинамических моделях морского ледяного покрова.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НА ДРЕЙФУЮЩЕЙ СТАНЦИИ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-36» (АПРЕЛЬ 2009 Г.)

*Н.С.ЗИНОВЬЕВ¹, В.Ю.КУСТОВ¹, А.П.МАКШТАС¹, С.В.ШУТИЛИН¹,
К.ДЭТЛОФФ², А.РИНКЕ², М.МИЛКЕ²*

¹ – ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: zinoviev@aari.nw.ru

² – Потсдамский филиал института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, г. Потсдам, Германия

В последние годы одной из самых актуальных проблем гидрометеорологии является проблема изменения климатических условий в Арктике. Одним из главных инструментов исследования причин и прогноза будущих изменений окружающей среды в арктическом регионе служит численное моделирование сезонной и межгодовой изменчивости морского ледяного покрова под воздействием заданного атмосферного форсинга. В свою очередь успех моделирования зависит от описания процессов взаимодействия в системе «атмосфера – морской лед – верхний слой океана», определяющих формирование и таяние морского льда. При этом, если в системе «атмосфера – морской лед – верхний слой океана» лед и океан довольно хорошо описаны, то атмосфера, в особенности ее пограничный слой, описаны довольно слабо, что на выходе дает нечеткое описание процессов энерго-массобмена в системе «атмосфера – морской лед – верхний слой океана».

На основе натуральных данных, полученных в результате аэрологического и аэростатного зондирования атмосферы во время сезонных работ на дрейфующей станции «Северный полюс-36» (апрель 2009 г.) было произведено сравнение реальных данных с моделями ECMWF и NIRNAM по следующим параметрам: скорости ветра, температуре и влажности воздуха. Было проанализировано порядка 160 вертикальных профилей до высот 30 км. Анализ данных показал довольно хорошую воспроизводимость моделями вертикальных профилей метеорологических параметров, особенно по температуре и влажности воздуха. В тоже время для слоя атмосферы ниже 3 км результаты моделирования оказались недостаточно адекватными наблюдениям инверсий и струйных течений нижнего уровня. Температура в слое до 500 м по модельным данным в основном была завышена, что связано, скорее всего, с недостаточно корректным описанием теплового баланса подстилающей поверхности.

РАДИАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, CDOM И ВЗВЕСИ В РОССИЙСКИХ ШЕЛЬФОВЫХ МОРЯХ

Р.Е.ВЛАСЕНКОВ, А.П.МАКШТАС, А.В.СМИРНОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vre@otto.nw.ru, maksh@aari.nw.ru

На основе данных натурных исследований, выполненных на доступных для плавания акваториях морей Карского и Лаптевых, получены эмпирические зависимости между коэффициентом ослабления коротковолновой радиации, концентрацией взвеси и глубиной исчезновения диска Секки. Впервые для исследуемой акватории получены оценки пространственного распределения желтого вещества (CDOM), важные как при оценке воздействия солнечной радиации на морские организмы, так и при интерпретации спутниковых изображений.

В ходе выполнения работы получены следующие результаты:

– обработаны и проанализированы новые данные о глубине исчезновения диска Секки и пробы воды для исследования концентрации взвесей (более 700 проб) и CDOM (500 проб), полученные в период экспедиции нис «Иван Петров» в июле–ноябре 2007 и 2008 гг.;

– на основе результатов лабораторного анализа, проведенного с использованием оборудования российско-германской лаборатории им. Отто Шмидта, построены детальные карты распределения взвеси и коэффициента ослабления для двух полигонов в Карском и Лаптевых морях, выполненных в 2007 и 2008 гг., и проведено их сравнение с данными о тех же характеристиках, рассчитанных по историческим данным (Госфонд ААНИИ) о глубине исчезновения диска Секки (1950-е–1980-е гг.), показавшее их разумное соответствие;

– данные об оптических характеристиках верхнего слоя морей и глубине перемешанного слоя использованы для оценки потенциального радиационного прогрева слоя перемешивания;

– впервые получены данные о пространственном распределении параметров, характеризующих CDOM в Карском и Лаптевых морях, показавшие их сильную пространственную неоднородность, в целом полученные результаты соответствуют данным для шельфовых районов других акваторий Мирового океана.

ОБЩИЙ НЕОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД В ОДНОЛЕТНЕМ МОРСКОМ ЛЬДУ ВЫСОКОШИРОТНОЙ АРКТИКИ И ОЦЕНКА РОЛИ АРКТИЧЕСКОГО ЛЬДА В ОБМЕНЕ CO₂

А.П.НЕДАШКОВСКИЙ, А.П.МАКШТАС

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: nedal@poi.dvo.ru, maksh@aari.nw.ru

Углекислый газ — один из основных парниковых газов. Важнейшим природным процессом, определяющим содержание CO₂ в атмосфере, является обмен CO₂ между океаном и атмосферой. Для Северного Ледовитого океана, большая часть поверхности которого покрыта льдом, вопрос о роли морского льда в выделении и поглощении CO₂ представляет несомненный интерес. Морской лед — сложная физико-химическая система. При образовании морского льда в него включается морская вода, содержащая растворенные вещества, которые в процессе роста льда могут вступать в химические превращения. В частности в лабораторных условиях при замерзании морской воды имеет место следующая реакция:



Если такая реакция протекает и в природных условиях, то процесс образования морского льда должен сопровождаться выделением углекислого газа в атмосферу. С физико-химической точки зрения вопрос о выделении CO₂ в атмосферу при образовании морского льда сводится к определению во льду общего неорганического углерода и изучению его изменчивости в процессе роста льда. Определение общего неорганического углерода в морском льду основывается на измерении общей щелочности и pH в талой воде, получаемой без газообмена с атмосферой, с последующим расчетом общего неорганического углерода на основании теории карбонатной системы морской воды. Исследовались образцы однолетнего льда и снега на его поверхности, полученные на дрейфующей станции «Северный полюс-35» в период с ноября 2007 по май 2008 гг. Выполненные наблюдения показали, что общий неорганический углерод включается в морской лед в той же пропорции к солёности, в которой он находится в подледном слое воды. При этом анализ показал, что в снеге на поверхности льда и в верхнем его слое наблюдается потеря углекислого газа, обусловленная протеканием вышеприведенной реакции разложения гидрокарбоната кальция с образованием CaCO₃ и CO₂. Количество углекислого газа, выделившегося за период с начала образования льда до начала летнего таяния, можно оценить величиной 20 ± 4 ммоль/м² CO₂. Это составляет примерно 10 % от максимально возможного количества CO₂, которое могло бы выделиться в атмосферу при условии полного разложения гидрокарбоната кальция во льду толщиной 1 м. В свою очередь вода, получающаяся при таянии однолетнего морского льда в летний период, резко ненасыщенна углекислым газом, и, следовательно, таяние льда должно приводить к стоку углекислого газа из атмосферы. Суммарный результат, вызываемый образованием и последующим таянием льда, по данным исследований на СП-35 позволяет сделать вывод, что в годовом цикле однолетний ледяной покров обуславливает поглощение углекислого газа из атмосферы, величина которого составляет 30 ммоль/м².

СЕКЦИЯ «МОРСКОЙ ЛЕД»

РАЗВИТИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ И МОРЯХ СИБИРСКОГО ШЕЛЬФА В ПЕРИОД МЕЖДУНАРОДНОГО ПОЛЯРНОГО ГОДА

И.Е. ФРОЛОВ, З.М. ГУДКОВИЧ, В.П. КАРКЛИН, В.М. СМОЛЯНИЦКИЙ, А.В. ЮЛИН

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: karklin@aari.nw.ru

В целом для Арктического бассейна и его отдельных морей анализируется изменчивость основных характеристик ледяного покрова (ледовитость, общая сплоченность, границы распространения старых льдов, площадь припайных льдов, фазы ледовых явлений) за период 2007–2009 гг. Выполнено сравнение наблюдаемых величин и знака аномалий ледовых параметров с изменчивостью ледяного покрова в теплые и холодные эпохи XX – начала XXI века на основе исторических данных ледового картирования (для Арктики с 1900-х гг.) и данных пассивного микроволнового зондирования (с октября 1978 г.).

Анализ данных постоянного мониторинга (сети полярных станций, данных ИСЗ) показал, что в 2007–2009 гг. наблюдались поздние даты устойчивого ледообразования, медленное нарастание ледяного покрова, уменьшенные площади припая в большинстве районов арктических морей и ранние сроки очищения морей ото льда. В то же время, в последние два года наметилась тенденция к более раннему началу формирования ледяного покрова арктических морей, чем в 2007 г.

В начале XXI века в ходе температуры воздуха, площади льда в Северном Ледовитом океане и в ряде показателей общей циркуляции атмосферы наметился перелом в сторону похолодания климата, хотя содержание CO_2 в атмосфере продолжало расти. Наименьших за последний век значений ледовитость северной полярной области достигла в 2007 г, после чего, вопреки ожиданиям ряда климатологов, она начала расти (табл. 1). Увеличение площади льдов в Северном Ледовитом океане за последние годы соизмерим с ее уменьшением в арктических морях Евразийского шельфа за весь XX век (около 0,8 млн км²).

Таблица 1.

Площадь льдов в Северном Ледовитом океане в сентябре

Годы	S, млн км ²	Аномалии, млн км ²	
		от среднего	от 2007 г.
1978–2009	6,584	–	–
2007	4,345	–2,239	–
2008	4,706	–1,878	+0,361
2009	5,200	–1,384	+0,855

О начавшемся похолодании Арктики говорит и тот факт, что в 1990-х гг. тренд индекса высокоширотной зональности, характеризующего среднюю разность высоты поверхности АТ-500 между 60 и 80° с.ш., изменил знак, а тренд повторяемости арктического антициклона стал положительным. Все наблюдающиеся явления и факты свидетельствуют о происходящем переломе в изменениях климата, которое начало происходить в период МПГ в 2007–2009 гг.

ТОЛЩИНА ЛЬДА И ЕЕ ИЗМЕНЧИВОСТЬ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ В ПЕРИОД МПГ 2007/08 ПО ДАННЫМ СУДОВОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО КОМПЛЕКСА

*С.В.ФРОЛОВ¹, В.Ю.ТРЕТЬЯКОВ¹, А.Э.КЛЕЙН¹, Е.А.ГРИШИН¹, Т.А.АЛЕКСЕЕВА¹,
С.С.ПРЯХИН²*

¹ – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: svf@aari.nw.ru

² – Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: machet@bk.ru

В докладе приводятся новые данные измерений толщины ровного дрейфующего льда (вне торосистых образований) в летний период (июль–август) в Арктическом бассейне. Измерения проводились в 2007–2008 гг. с борта российских судов и ледоколов с помощью разработанного в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте цифрового телевизионного комплекса.

Телевизионный комплекс представляет собой стандартную систему видеоконтроля, адаптированную специалистами ААНИИ для специфических условий судовых ледовых наблюдений. Общий объем данных составляет более 55 000 измерений толщины льда и высоты снега.

В докладе представлены результаты исследований межгодовой и внутрисезонной изменчивости толщины льда в период МПГ 2007/08, характеризующийся масштабными изменениями в распространении ледяного покрова в Северном Ледовитом океане.

Проведенное сравнение данных наблюдений за толщиной льда полученными перед началом современного потепления Арктики 1990–1996 гг. с данными, собранными в 2007–2008 гг. показало уменьшение средней толщины льда в районе плавания судов. Одновременно с этим, в период 2007–2008 гг. зафиксировано существенное снижение количества старых льдов в Арктическом бассейне.

Измерениями зафиксировано уменьшение толщины льдов различных возрастных категорий (однолетних и старых), однако это уменьшение не выходит за пределы межгодовой изменчивости толщины льда. В связи с этим, выполненное исследование позволяет утверждать, что на общее распределение толщины льда в Арктическом бассейне главным образом влияет соотношение однолетних и старых льдов в районе, что в свою очередь обуславливается циркуляцией льдов в бассейне под воздействием атмосферных процессов.

АНАЛИЗ ДАННЫХ О ТОЛЩИНЕ СНЕГА И МОРСКОГО ЛЬДА В АРКТИКЕ ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИЙ «СЕВЕР»

В.Ю.АЛЕКСАНДРОВ^{1,2}, С. САНДВЕН^{2,3}, Й. ВАЛИН², О.М.ЙОХАННЕССЕН², Л.П.БОБЫЛЕВ^{1,2}

¹ – Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Санкт-Петербург, Россия. e-mail: Vitali.Alexandrov@niersc.spb.ru

² – Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена (Нансен-центр), г. Берген, Норвегия

³ – University of Svalbard (UNIS), Longyerbyen, Norway

In situ measurements of Arctic sea ice from the airborne «Sever» expeditions provide one of the most extensive data sets of sea ice and snow parameters collected over many years including 1928, 1937, 1941, 1948–1952, and 1954–1993. The total data set includes measurements from 3771 aircraft landings and is available at NSIDC. The «Sever» expeditions took place mainly from mid March to early May, when landing on ice floes was possible, so all data represent late winter conditions before melting starts. After landing ice thickness was measured at 3–5 locations 150–200 m apart on the runway, and, when second-year and multiyear ice prevailed in the landing area, at 10–20 points on the neighboring ice floes and at fresh fractures. Ice freeboard measurements were only obtained in a subset of total data set from the «Sever» expeditions. In this study freeboard measurements from 689 landings in the period February–May of 1980–1982, 1984–1986 and 1988 have been used. Snow depth was measured at 10–20 random points over the entire ice floe, and on adjacent floes, as well as at 3–5 points on the runway on level first-year and, whenever possible, on multiyear ice, as well in snow-covered ridges, and in snow dunes stretching from ice ridges. Snow density was measured in March–May in 1959, 1961, and 1963–1971.

In this study in situ data have been used to establish an empirical relation between ice thickness and freeboard. Estimates of snow depth, snow density and ice density were produced based on many field investigations, and have been used in the hydrostatic equilibrium equation to estimate ice thickness as function of ice freeboard, snow depth and snow/ice density. Analysis of Sever data revealed that the average snow depth on FY-ice in the end of winter amounts to 0,05 m, which is significantly less than that on MY-ice. The average snow density amounts to $324,1 \pm 49,6 \text{ kgm}^{-3}$. Ice density was calculated based on the hydrostatic equilibrium equation, where input data are ice thickness, ice freeboard, snow depth and snow density from «Sever» data. Its average value is $916,7 \pm 35,7 \text{ kgm}^{-3}$. The accuracy of the ice thickness retrieval has been calculated from the estimated variability in ice and snow parameters and error of ice freeboard derivation. It was found that uncertainties of ice density and freeboard are the major sources of error in ice thickness calculation from freeboard values. The derived relations have been verified by comparing with independent in-situ measurements of ice thickness and freeboard. The results of this study will be used in processing RA data from ERS-1/2, Envisat and Cryosat satellites.

In situ measurements in «Sever» expeditions were used for studying interannual variability and trends in ice thickness. Using this dataset changes of fast ice thickness were estimated from 1960-s to 1980-s in the Laptev and East-Siberian Seas. Analysis of the average ice thickness values in Vilkitsky Strait for April in the period of 1968–1971 shows significant interannual variability in the range from 108,4 cm to 210,8 cm. Significant interannual variability of the average ice thickness in this period was also observed in May. The average thickness of fast ice in the Laptev Sea and Vilkitsky Strait slightly decreased from the period 1959–1961 to the middle of 1980-s.

ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ В ПЕРИОД МЕЖДУНАРОДНОГО ПОЛЯРНОГО ГОДА

А.Б.ТИМОФЕЕВА

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: karklin@aari.nw.ru

Мониторинг ледяного покрова арктических морей охватывает годовой цикл в его состоянии от начала ледообразования и последующего нарастания льда в осенне-зимний период до разрушения в весенне-летний период и очищения морей ото льда.

Ледовые условия в море Лаптевых в период Международного полярного года (2007–2009 гг.) формировались на фоне продолжающегося в Арктике потепления климата особенно заметного в летнее время. Если для большинства арктических морей 2007-й год по ледовым условиям оказался самым легким, то в море Лаптевых ледовые условия в этом году были близки к средним многолетним. Произошло это вследствие поступления льдов из Арктического бассейна в западную часть моря, которые в течение всего летнего периода пополняли Таймырский ледяной массив. Льды этого массива блокировали Таймырское побережье моря и подходы к проливу Вилькицкого с востока в течение всего летнего сезона вплоть до начала ледообразования. Восточная часть моря в начале августа полностью очистилась ото льда.

2008-й год в море Лаптевых был более ледовитым чем предыдущий 2007-й год. В течение июня-августа площадь льдов в море превышала среднюю многолетнюю величину в среднем на 7 %, а площадь Таймырского ледяного массива – на 12 %. И только в сентябре ледовые условия в море были несколько легче нормы.

Наиболее легкие ледовые условия в море Лаптевых наблюдались в летний сезон 2009 г. Западные воздушные переносы, сопровождавшиеся выносом тепла, способствовали интенсивному таянию льда и очищению западной части моря. К началу июля половина этого района моря была свободна ото льда, что обычно происходит в сентябре. Начиная с середины августа, в море наблюдались отдельные пятна льда.

Для колебаний ледовитости моря Лаптевых характерны межгодовые колебания без длительных однонаправленных трендов. Эти колебания были характерны и для периода Междуна-

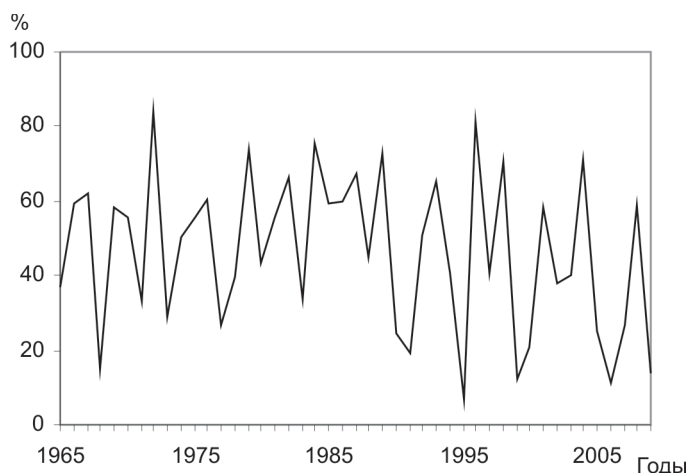


Рис. 1. Изменения ледовитости моря Лаптевых в период 1965–2009 гг. в августе, %

ного полярного года (рис. 1).

В течение двух последних лет (2008 и 2009 гг.) наметилась тенденция к более раннему, чем в 2007 г, ледообразованию. Так, если в 2007 г. по данным полярных станций замерзание в прибрежных и островных районах произошло в среднем на 14 суток позже средних сроков, то в 2008 и 2009 гг. – на 11 и 8 суток, соответственно.

Становление и развитие припая в море Лаптевых в зимние периоды 2007–2009 гг. начиналось в более поздние, чем обычно, сроки вследствие поздних сроков устойчивого ледообразования. Однако припай, сформировавшийся в море Лаптевых в 2007–2009 гг., оказался самым мощным в арктических морях. Его площадь превысила среднюю многолетнюю величину, при этом происходило ежегодное приращение площади припая по сравнению со средней величиной от 2 % в 2007 г. до 26 % в 2009 г. По данным полярных станций в этот же период увеличивалась также

толщина припайного льда в среднем от 209 см в 2007 г. до 227 см в 2009 г.

В среднем окончательное разрушение припая в районах полярных станций в 2007 г. произошло на 17 суток раньше, а в 2008 и 2009 гг. — на 2–4 суток позже средних сроков.

2007–2009 гг. оказались благоприятными для образования полыней. Повторяемость всех полыней в море Лаптевых существенно увеличилась. Даже эпизодические (по средним многолетним оценкам) полыньи наблюдались устойчиво (повторяемость 50–74 %) в течение всего осенне-зимнего сезона, а устойчивые полыньи существовали стационарно (повторяемость более 75 %).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРОСОВ И СТАМУХ В КАРСКОМ МОРЕ И АРКТИЧЕСКОМ БАСЕЙНЕ В ПЕРИОД МЕЖДУНАРОДНОГО ПОЛЯРНОГО ГОДА

Е.У.МИРОНОВ, В.С.ПОРУБАЕВ, В.В.ХАРИТОНОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: mir@aari.nw.ru

Выполнен анализ морфометрических характеристик и внутреннего строения торосов, измеренных с помощью термобурения в период МПГ 2007–2009 гг. на дрейфующих станциях СП-35, СП-36 и на ледовой базе Барнео. В этот же период на акватории юго-западной части Карского моря были проведены исследования гряд торосов и стамух.

Исследования проводились с применением установки водяного термобурения льда (УВБЛ-2) и электромеханической термобуровой установкой (ЭТИ-3М) с записью параметров на компьютер, разработанных и изготовленных в ААНИИ.

Исследования показали, что в Арктическом бассейне изменчивость морфометрических параметров однолетних, двухлетних и многолетних торосов существенна. Морфометрические параметры двухлетних и многолетних торосов более сглажены. Особенностью внутреннего строения многолетних торосов является их низкая пористость, которая в большинстве случаев близка к нулю.

Толщина консолидированного слоя многолетних торосов в Арктическом бассейне выше, чем у однолетних и двухлетних торосов. Диапазон толщины составляет соответственно 4,7–7,0 и 1,5–3,4 м.

Распределение температуры льда в торосах Арктического бассейна не всегда информативна, с точки зрения, определения нижней границы консолидированного слоя многолетних торосов.

Выполненные исследования на дрейфующих льдах юго-западной части Карского моря позволили в первом приближении определить основные морфометрические параметры и внутренние характеристики торосов и стамух, а также определить эмпирические функции распределения. На основании полученных данных были рассчитаны и построены статистические модели торосов и стамух этого района.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА В ЗАЛИВЕ ГРЕН-ФЬОРД,
АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН
(МНОГОЛЕТНИЙ РЕЖИМ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ, МОДЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ)**

Б.В.ИВАНОВ¹, О.М.АНДРЕЕВ¹, А.П.ПАВЛОВ¹, П.Н.СВЯЩЕННИКОВ^{1,2}, Д.М.ЖУРАВСКИЙ²

¹ – ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: b_ivanov@aanii.nw.ru

² – Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Проанализированы данные стандартных метеорологических и прибрежных ледовых наблюдений, результаты полевых исследований и модельных расчетов, выполненных специалистами ААНИИ и ГУ «Мурманское УГМС» по программе Международного полярного года. Регулярные инструментальные и визуальные наблюдения за характеристиками морского льда в заливе Грен-фьорд выполняются в ГМО «Баренцбург» с 1936 г. Регулярные метеорологические наблюдения начались в сентябре 1932 по программе II Международного полярного года. Как показывает предварительный анализ этих данных, а также результаты полевых исследований, состояние и изменчивость характеристик морского льда в заливе является существенным индикатором процессов происходящих в атмосфере, океане и на суше. Одними из наиболее значимых внешних факторов являются: «интервенция» теплых и соленых атлантических вод из пролива Фрама, режим осадков и радиации, речной сток, таяние снежного покрова и ледников. Анализ среднемесячных температур воздуха, выполненный для периода 1947–2009 гг. (репрезентативный ряд без пропусков) выявил статистически значимый положительный тренд (0,03 град/год). При этом положительные тенденции в зимние месяцы выше по сравнению с летним периодом. Аналогичные результаты (положительные тренды) были выявлены и при анализе таких характеристик как продолжительность ледового периода, даты установления устойчивого припая, даты перехода через 0 °С значений температуры воды и воздуха. Статистически значимых трендов для оценок максимальной толщины припая выявлено не было. Однако, полевые исследования 2007–2009 гг. позволили зафиксировать устойчивый рост толщин припая за этот период, что, в свою очередь, соответствует тенденциям, наблюдаемым в центральной части Арктического бассейна. Многолетний ход солености поверхностного слоя воды в фиорде (1970–2009 гг.), в целом, не плохо соответствует наблюдаемым аномалиям поступления атлантических вод (АВ) в Арктический бассейн через пролив Фрама и многолетней изменчивости режима осадков и материкового стока. Для исследования степени влияния АВ вод мы использовали одномерную нестационарную термодинамическую модель морского льда, разработанную в ААНИИ. Верификация модели была обеспечена данными зимних океанографических наблюдений, выполненных с припая в 2008 и 2009 гг. в рамках экспедиции А-162Ш. Данные о вертикальном распределении температуры и солености в подледном слое воды были получены на разрезе, пересекающим фиорд с востока на запад. В точках океанографических станций производились измерения толщин припая и снежного покрова, измерялось вертикальное распределение температуры во льду и снежном покрове, отбирались пробы льда и снега для анализа концентрации взвешенных частиц и мутности. Для количественной оценки вертикальных потоков тепла от подстилающих подледный слой АВ мы использовали выводы и приближения теории двойной диффузии. Было достигнуто удовлетворительное соответствие между данными модельных расчетов и результатами инструментальных наблюдений (максимальные толщины припая).

Исследования выполнялись при поддержке следующих научных проектов: «Метеорологический режим и климатические изменения на арх. Шпицберген (ААНИИ – «Трест Арктик-Уголь»); «Норвежско-Российское сотрудничество по исследованию формирования и разрушения припая в фиордах Западного Шпицбергена» (НПИ–ААНИИ); «Исследования радиационных характеристик климата архипелага Шпицберген на примере российской станции ГМО «Баренцбург» Мурманского УГМС и норвежской станции в поселке Ну-Алесун» (региональная тематика ЦНТП, ААНИИ-МУГМС).

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МОРСКИХ ЛЬДАХ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЯХ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС»)

В.Н.СМИРНОВ, С.М.КОВАЛЕВ, Л.В.ПАНОВ, И.Б.ШЕЙКИН

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: smirnov@aari.nw.ru

В Северном Ледовитом океане протекают физико-механические ледовые процессы различного масштаба и различной интенсивности, приводящие к образованию дискретной структуры ледяного покрова. Мозаичные фрагменты ледяных образований, наблюдаемые на аэрофотоснимках и спутниковых изображениях, образуют самоподобные фигуры, линейные размеры которых достигают сотни километров. Основными параметрами кинематики и динамики льдов являются: скорость дрейфа, напряжение трения на поверхности разделов воздух–лед и лед–вода, горизонтальная составляющая отклоняющей силы вращения Земли, проекция силы тяжести на поверхность моря, горизонтальная составляющая приливообразующей силы, сила внутреннего взаимодействия между ледяными образованиями (ровными полями, грядами торосов, дрейфующими островами, айсбергами).

Физика и механика деформирования и разломов ледяного покрова изучается на дрейфующих станциях «Северный полюс» на основе непрерывных инструментальных измерений параметров деформаций в ледяных полях с помощью деформометров, акселерометров, наклономеров, GPS-приемников и спутниковых изображений льда. Исследуются процессы, характеризующие природу деформирования ледяного покрова различного масштаба: относительные деформации и смещения, горизонтальные и вертикальные ускорения ледяных полей при торошении и подвижках, масштабные автоколебания при взаимодействии льдов, поверхностные волны во льдах океана, воздействие течений и внутренних волн на ледяной покров, явления самоподобия и самоорганизации морских льдов.

Временной диапазон наблюдаемых периодических процессов в ледяном покрове составляет от единиц секунд до часов. Пространственные масштабы — от десятков метров до сотен километров. При обработке исходных ледовых данных используются сопутствующие гидрометеорологические параметры. Анализ результатов проводится на основе разделов механики сплошных и дискретных сред, физики колебаний и волн в различных средах, теории самоподобных процессов пространственных изображений льда и временных рядов его динамики. Выявлено, что параметры масштабных автоколебаний не зависят от характера внешней силы, а определяются свойствами самой ледовой системы. Процесс автоколебаний служит ярким примером явления самоорганизации в хаосе временных ледовых событий.

Длительные ряды наблюдений отклика ледяного покрова на динамические процессы в океане и атмосфере, параметры собственных процессов во льдах подвергаются статистической обработке для выявления связей и получения прогностических элементов, изучения физических свойств крупномасштабных явлений и механических характеристик самого ледяного покрова, в том числе масштабной прочности льда. Подспутниковые инструментальные наблюдения на дрейфующих станциях «Северный полюс» и сопутствующие спутниковые изображения льда создают подходы к объяснению природы мезомасштабных явлений при взаимодействии океана и атмосферы (механика возникновения протяженных на сотни километров разломов и развождений, природа ромбовидных форм ледяных образований и др.).

Получены статистически обеспеченные оценки ускорений ледяного поля и намечены пути к определению ледовых сил, действующих в ледяном покрове при дрейфе. Значительные ускорения возникают при сравнительно кратковременных взаимодействиях ледяных образований при ударах, сжатии, разломе и сдвиге. При средней погрешности измерений ускорений ледяного поля $0,25 \text{ мкм/сек}^2$ выявлено распределение внешних сил, действующих на ледяное поле вдоль траектории его дрейфа. Распределения ускорений ледяного поля дрейфующей станции СП-33 при торошении и ледяного поля дрейфующей станции СП-35 в момент разлома 28 ноября 2007 г. характеризуют хаотическое распределение внутренних ледовых сил. Интенсивность локальных ускорений значительно превосходит ускорения, связанные с крупномасштабным воздействием ветра и течений. Особенно эти эффекты значительны при взаимодействии мощных ледяных образований. Такие события часто наблюдались в прошлые годы на дрейфующих ледяных островах и айсбергах. С учетом массы ледяного образования и развиваемых ускорений значения глобальных сил ледового взаимодействия достигали 1000 МН и более. Масштабные внутренние силы, их перераспределение и самоорганизация определяют эволюцию процессов разрушения в ледяном покрове и, в конечном счете, его структуру.

Представленное направление изучения морских льдов создает предпосылки для организации мониторинга состояния ледяного покрова мезо- и макромасштаба, совершенствования методов прогноза сжатия и торошения, возникновения протяженных разломов и формирования развождений — важных факторов в климатообразующих процессах и в инженерных задачах при судоходстве во льдах и обеспечения безопасности шельфовых сооружений.

ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОЛЯ ДРЕЙФУЮЩЕЙ СТАНЦИИ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС»

Л.В.ПАНОВ, С.М.КОВАЛЕВ, К.В.СОБОЛЕВСКИЙ, А.А.НЮБОМ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: smirnov@ aari.nw.ru

Связь физики и механики морского льда с процессами в океане и атмосфере позволяют выявлять природу экстремальных ледовых явлений, разработать теоретические основы физико-механической модели масштабной динамики и механики разломов и формирования структуры и строения морского льда. Получены новые результаты по деформации морского льда при возникновении экстремальных ледовых явлений, связанных с приливными явлениями, ветром, зыбью, торошением.

Параметры динамических процессов в ледяном покрове (напряжения, относительные деформации и смещения, горизонтальные ускорения ледяных полей при подвижках и изменениях дрейфа, наклоны ледяной поверхности) определялись с помощью трех групп наклономеров и сейсмометров, расставленных на поверхности ледяного поля в виде равностороннего треугольника со стороной 110 м.

Сигналы от приборов с помощью разработанной специализированной программы, работающей в круглосуточном режиме, архивировались на магнитный носитель. Частота оцифровки параметров оставляла 100 Гц. В режиме реального времени полученные данные использовались для оперативного определения времени и направления на место образования разлома, трещины или зоны торошения. Для определения неравномерности скорости дрейфа ледяного поля использовались три, разнесенных по льдине, GPS-приемника. Полученные координаты станции архивировались с интервалом в 1 мин. Объем полученного архива измерений составил более 600 Гб.

Для выделения события от фоновых шумовых значений ряд наблюдений подвергался статистической обработке, определялись среднее значение, стандартная ошибка, медиана, мода, стандартное отклонение, дисперсия выборки, эксцесс, асимметричность. Построены графики временного хода колебаний льда и гистограммы для каждого отдельного события. Временной диапазон наблюдаемых динамических процессов в ледяных полях составлял от единиц секунд до полусуточных приливных явлений. Пространственные масштабы – от десятков метров до сотен километров. Для выявления процессов различного масштаба и происхождения полученные данные наблюдений отклика ледяного покрова на динамические процессы в океане и атмосфере подверглись спектральному анализу, что позволило для каждого процесса определить характерный интервал частот. Также полученные данные подверглись комплексным методам обработки для выявления корреляционных связей, получения прогностических элементов, определения физических свойств крупномасштабных явлений в системе атмосфера–лед–океан. Для решения этой задачи скорость и направление дрейфа льда, уровень волн зыби, проявление внутренних волн, автоколебания при сжатии льдов, разломы и торошения сравнивались с локальными метеопараметрами (температура воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра).

По результатам наблюдений создана база данных параметров физико-механических процессов в ледяном покрове (сжатие и торошение льдов, автоколебательные процессы во льдах, образование трещин и разломов ледяного поля, поверхностные и внутренние волны).

GPS ОЦЕНКИ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

И.Б.ШЕЙКИН, В.Н.СМИРНОВ

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: sheikin@aari.nw.ru, smirnov@aari.nw.ru

Методы точного позиционирования с использованием спутниковых навигационных систем находят все большее применение в геофизических и гляциологических исследованиях. В предлагаемой работе рассматриваются возможности использования спутниковых навигационных систем для изучения кинематики и динамики морского льда на примере полевых GPS-измерений скорости дрейфа, ускорений и вращений ледяного поля дрейфующей станции «Северный полюс-35». В течение последних нескольких лет было разработано специальное методическое обеспечение для спутниковых навигационных измерений, позволяющее производить настройку полевого измерительного комплекса, контролировать состояние глобальной измерительной системы и в реальном времени оценивать ошибки измерений. Это позволило оптимизировать параметры измерительной системы с целью улучшения точности оценивания кинематических и динамических характеристик движения станции.

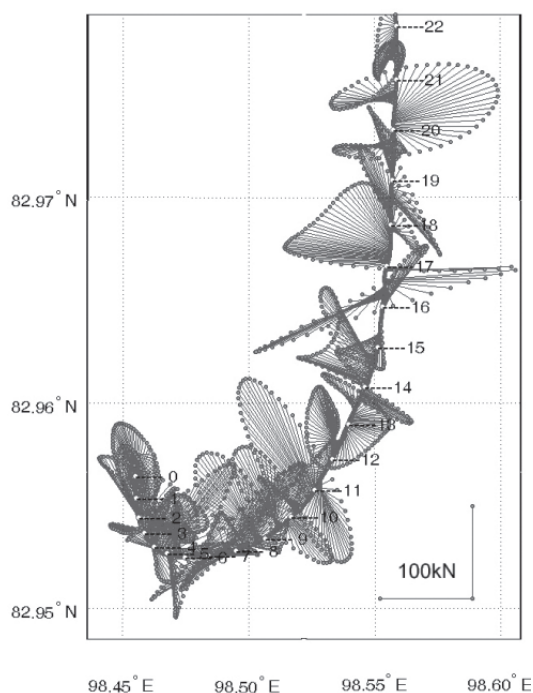


Рис. 1. Распределение внешних сил, действующих на ледяное поле СП-35 28 ноября 2007 г., вдоль траектории дрейфа станции показаны часовые временные метки

Особенно интересным представляется исследование активных динамических событий, когда ледяной покров, являясь частью глобальной диссипативной системы, аккумулирует и перераспределяет внешнюю энергию движения атмосферы и океана. Неоднородности и неустойчивости диссипативных процессов порождают пространственно-временные циклические флуктуации и внутреннюю самоорганизацию, изучение которых является основным моментом полевой программы лаборатории физики льда. Одно из таких событий можно видеть на рис. 1, где показано распределение результирующей внешних сил, действующих на ледяное поле СП-35 28 ноября 2007 г., когда в течение 12 час произошел быстрый разворот дрейфа, и ледяное поле было расколото. При этом погрешность измерения ускорений ледяного поля составила $0,25 \text{ мкм/сек}^2$ или $0,25 \text{ мГал}$, что в первом приближении позволяет исследовать распределение внешних сил вдоль траектории дрейфа ледяного поля. При активных динамических событиях в ледяном покрове преобладает в основном хаотическое распределение действующих сил, что характерно для процессов самоорганизации в дискретно иерархических средах, которые являются предметом активных исследований в фундаментальной геофизике. Новые технологии с использованием спутниковых навигационных систем значительно расширяют наши возможности по изучению механики деформирования и разрушения морского льда.

ДЕЙСТВУЮЩИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РОССИЙСКИЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ ЗЕМЛИ И ИЗУЧЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

В.В.АСМУС, В.А.КРОВОТЫНЦЕВ, О.Е.МИЛЕХИН, И.С.ТРЕНИНА

*ГУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии “Планета” (ГУ «НИЦ “Планета”»), г. Москва, Россия.
e-mail: krvt@planet.iitp.ru*

Космическая система наблюдений Росгидромета основана на использовании данных отечественных и зарубежных космических аппаратов наблюдения Земли, в том числе зарубежных полярно-орбитальных спутников серий NOAA, MetOp, EOS (Terra, Aqua), FY-1 и геостационарных спутников серии METEOSAT, GOES, MTSAT и других.

Федеральная космическая программа России на 2006–2015 гг. (ФКП-2015), предусматривает создание к 2015 г. и дальнейшее постоянное поддержание на орбите российской группировки спутников наблюдения Земли в составе:

- 2 геостационарных метеорологических спутника серии «Электро»;
- 3 полярно-орбитальных спутника серии «Метеор», два из которых являются метеорологическими и один океанографический;
- 2 полярно-орбитальных природно-ресурсных спутника серии «Канопус-В».

Кроме того, к 2012 г. предполагается создать группировку из 2-х природно-ресурсных спутников серии «Ресурс-П».

Первый, из запланированной серии запусков, российский космический аппарат (КА) метеорологического назначения «Метеор-М» № 1 был запущен 17 сентября 2009 г. КА «Метеор-М» № 1 является первым после долгого перерыва спутником, продолжившим ряд (более 30) отечественных метеорологических спутников, функционировавших в 70–90-е г. прошлого столетия. «Метеор-М» относится к спутникам нового поколения, с характеристиками бортовой измерительной аппаратуры соответствующими мировому уровню. Информация с КА будет передаваться на Землю в международных форматах данных. С запуском КА «Метеор-М» № 1 у России снова появилась возможность проводить наблюдения атмосферы и поверхности Земли за пределами зон радиовидимости приемных пунктов Росгидромета; осуществлять глобальный мониторинг окружающей среды. Введение в эксплуатацию КА «Метеор-М» будет способствовать выполнению обязательств Российской Федерации по международным договорам, в том числе Конвенции Всемирной метеорологической организации (ВМО), касающейся международного обмена гидрометеорологической информацией.

В рамках подготовки к запуску КА «Метеор-М» № 1 проведена модернизация технических средств приема спутниковых данных на НКПОР Росгидромета, в том числе подготовлены и введены в эксплуатацию в городах Долгопрудный и Хабаровск две станции ПК-9 (диаметр зеркала 9 м) для приема информации КА «Метеор-М» № 1 по радиолинии сантиметрового диапазона.

По результатам летних испытаний КА «Метеор-М» № 1 был передан в опытную эксплуатацию. Определены области применения данных КА «Метеор-М» № 1 на этапе опытной эксплуатации. По данным многоканального сканирующего устройства МСУ-МР можно осуществлять глобальный и региональный мониторинг облачного, снежного, ледяного и растительного покровов; производить контроль чрезвычайных ситуаций (пожары, наводнения и др.). Данные комплекса многозональной съемки среднего разрешения КМСС могут быть использованы для проведения регионального мониторинга снежного, ледяного и растительного покровов, водной среды, картирования наводнений. По данным измерений модуля температурно-влажностного зондирования атмосферы МТВЗА можно определять интегральное влагосодержание атмосферы и модуль приводного ветра. Кроме того, проверена работоспособность бортовой аппаратуры БИС-МР, позволяющей осуществлять передачу данных МСУ-МР (4 канал; 3,5–4,1 мкм) на автономные пункты приема информации (АППИ) в международном формате LRPT, а также системы сбора данных с наземных платформ (ССПД). Было также рекомендовано продолжить отработку функционирования МСУ-МР (4–6 каналов), МТВЗА (каналов зондирования атмосферы), БРЛК, БИС-МВ, СПД; а также доработку и совершенствование программных комплексов предварительной обработки данных МСУ-МР, МТВЗА, КМСС, БРЛК, СПД.

К наиболее важным задачам, решаемым на основе данных КА «Метеор-М» № 1, следует отнести мониторинг ледяного покрова полярных областей Земли и замерзающих морей России, а также дополнение рядов климатических данных. Ежедневные глобальные покрытия космической съемкой в видимом и инфракрасном диапазонах акваторий Арктики и Антарктики служат источником информации о динамических процессах морского льда (изменениях границ распространения, дрейфе ледяных полей, сжатиях, растяжениях и др.), а также для дополнения рядов

климатических данных. Оперативные данные МСУ-МР и КМСС используются для построения карт-схем ледовой обстановки Арктики, Антарктики и замерзающих морей России.

В дополнение к ФКП-2015 по инициативе Росгидромета (ГУ «НИЦ «Планета») и Роскосмоса (НПО им. С.А. Лавочкина) осуществляется также разработка многофункциональной космической системы «Арктика» (МКС «Арктика»), предназначенной для мониторинга северного полярного региона. Цель создания данной системы состоит в информационном обеспечении использования арктической зоны РФ в качестве стратегической ресурсной базы, необходимой для устойчивого социально-экономического развития страны, и Северного морского пути в качестве единой национальной транспортной коммуникации в Арктике. Основу МКС «Арктика» будут составлять два космических аппарата на высокоэллиптических орбитах типа «Молния» с наклоном ~63° и периодом обращения вокруг Земли 12 час (подсистема «Арктика-М»). Взаимное расположение орбит спутников обеспечит высокую периодичность наблюдений (1 раз в 15 мин) в арктическом регионе при смене одного космического аппарата на другой, что позволит проведение оперативного гидрометеорологического мониторинга северного полярного региона в течение всего срока активного существования МКС. Использование данных «Арктика-М» существенно улучшит точность прогноза погоды по всему северному полушарию, вплоть до тропической зоны.

Кроме двух космических аппаратов на высокоэллиптических орбитах в состав МКС «Арктика» будут входить два полярно-орбитальных КА, оснащенных радиолокаторами с синтезированной апертурой X-диапазона (подсистема «Арктика-Р»). Основная задача, решаемая с помощью этих космических аппаратов – выполнение всепогодного мониторинга ледовой обстановки, чрезвычайных ситуаций, состояния водной среды и др., районов проведения хозяйственной деятельности в Арктике.

МКС «Арктика» не только функционально дополнит и территориально расширит международную геостационарную метеорологическую систему, но также будет иметь большое самостоятельное значение для стратегических интересов Российской Федерации, что позволит комплексно решать качественно новые задачи экономического развития Арктического региона, национального и международного авиационного и морского сообщения, обороны и иных видов деятельности.

В рамках создания МКС «Арктика» предполагается также расширение и развитие НКПОР Росгидромета, в частности, в дополнение к существующим региональным центрам приема и обработки спутниковых данных Росгидромета планируется создать три специализированных приемных центра в г. Баренцбург, п. Тикси и г. Анадырь.

Создание космических систем нового поколения находится в тесной взаимосвязи с разработкой и развитием методов и технологий обработки спутниковых данных. Для решения оперативных задач спутникового мониторинга в ГУ «НИЦ «Планета»» создана технология построения карт ледовой обстановки по спутниковым данным видимого, инфракрасного или микроволнового диапазонов с использованием автоматизированных и интерактивных методов обработки. В автоматизированном режиме осуществляется предварительная обработка спутниковых изображений (географическая привязка, трансформирование космических изображений в сформированные заранее, картографические основы, составление обзорных монтажей). В интерактивном режиме осуществляется дешифрирование на космических снимках ледовых параметров (возраст, сплоченность, формы льда, обобщенные характеристики и др.) и их представление на карте в соответствии со стандартами и требованиями ВМО. По данной технологии в ГУ «НИЦ «Планета»» ежегодно выпускается более 600 карт ледовой обстановки Арктики, Антарктики и замерзающих морей России. Данная информационная продукция передается для использования руководству Росгидромета, в Гидрометцентр РФ, в организации Минтранса, МО, РАН и др., а также размещается на интернет-сайте нашей организации: <http://planet.iitp.ru/>.

Проводятся работы по изучению долговременных изменений характеристик ледяного покрова на основе анализа рядов спутниковых данных Госфонда РФ. В частности, продолжены работы по оценке межгодовых изменений площади многолетнего льда в западном секторе Арктики. В 1983–1999 гг. такие оценки проводились на основе радиолокационных данных КА серии «Океан». В 2002–2009 гг. эти ряды были дополнены данными микроволнового скаттерометра SeaWinds КА QuikSCAT. Выделение границы многолетнего льда осуществлялось с использованием технологий автоматизированного распознавания и интерактивного дешифрирования. Оценка межгодовых изменений площади многолетнего льда проводилась в западном секторе Арктики, ограниченном 40° в.д. и 105° в.д. Установлено, что в исследуемом районе имеют место значительные межгодовые вариации площадей от 180 тыс. км² до 540 тыс. км². Наибольшая площадь многолетнего льда была отмечена за этот период в декабре 1988 и 2003 гг., наименьшая – в 1985, 1999, 2005, 2006, 2007, 2008 и 2009 гг. В целом, за период наблюдения с 1983 по 2009 гг. в западном секторе Арктики отмечается существенное уменьшение площади многолетнего льда.

На основе анализа долговременных рядов данных КА QuikSCAT проведена оценка сезонных

и межгодовых изменений протяженности и границ распространения многолетнего льда в российском секторе Арктики и морского льда в Антарктике в 2002–2009 гг. Оценка сезонных изменений площади многолетнего льда проводилась в российском секторе Арктики, ограниченном 10° в.д. и 160° з.д. Наибольшая площадь многолетнего льда в российской Арктике приходится на сентябрь месяц. В последующие месяцы площадь многолетнего льда неравномерно уменьшается за счет перемещения его в канадский сектор Арктики и вынос через пролив Фрама. С сентября по декабрь ежемесячная скорость изменения площади многолетнего льда в российской Арктике составляет 20–70 тыс. км²/мес, с января по май 110–140 тыс. км²/мес. Обращает на себя внимание существенное сокращение протяженности многолетнего льда в российском секторе Арктики в зимний период 2007–2009 гг. Было также установлено, что сезонные и межгодовые вариации площадей покрытия морского льда Антарктики существенно ниже, чем в Арктике за аналогичный период наблюдения.

Проводится оценка изменчивости характеристик ледяного покрова на замерзающих морях России с использованием комплексной обработки спутниковых данных видимого, ИК и микроволнового диапазонов, а также данных наземных наблюдений. В частности, были исследованы сезонные и межгодовые изменения площади припая и плавучего льда в Каспийском море в зимние периоды 2004–2009 гг. Выявлены существенные межгодовые различия в декадном распределении площадей припая и плавучего льда, а также в продолжительности ледового периода.

Данные о долговременных изменениях характеристик ледяного покрова в западном и российском секторах Арктики, в Антарктике и в Каспийском море представлены на интернет-сайтах Североевразийского климатического центра <http://seakc.meteoinfo.ru> и <http://neacc.meteoinfo.ru>.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА АРКТИКИ СОГЛАСНО СПУТНИКОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Е.В.ШАЛИНА^{1,2}, Л.П.БОБЫЛЕВ², С.САНДВЕН³

¹ – Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: Elena.shalina@niersc.spb.ru

² – Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена», Санкт-Петербург, Россия

³ – Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена, г. Берген, Норвегия

Спутниковые измерения в микроволновом диапазоне, начавшиеся в конце октября 1978 г. с использованием радиометра SMMR, продолженные в 1987 г. с использованием прибора SSMI и продолжающиеся по сей день благодаря запущенному недавно на борту спутника F17 серии DMPS прибору SSMIS предоставляют уникальную возможность мониторинга ледяного покрова Арктики. Представленный доклад посвящен описанию трансформации морского ледяного покрова Арктики за период с ноября 1978 г. по настоящее время на основе спутниковых измерений в микроволновом диапазоне и анализу полученных результатов. Поскольку наибольшие изменения наблюдаются для многолетних льдов, трансформации льдов этого типа уделено особое внимание. При проведении расчетов параметров морского ледяного покрова на основе указанных данных использовался алгоритм NORSEX, который, используя данные измерений на 19 и 37 ГГц, позволяет различать морскую поверхность, свободную ото льда, однолетний и многолетний лёд, а также количественно оценивать сплочённость указанных типов льда.

Расчеты показывают, что за период микроволновых спутниковых наблюдений с ноября 1978 г. по декабрь 2009 г. площадь морских льдов сокращалась в среднем на $4,6 \pm 0,2$ % за декаду, причем тенденция сокращения площади морских льдов Арктики постоянно усиливается.

В последние годы в Арктике наблюдаются существенные изменения, одним из наиболее значимых из которых является сокращение многолетних льдов. Заметим, что наблюдение за многолетними льдами с использованием пассивных микроволновых наблюдений осложняется проблемой появления ошибок при разделении классов однолетнего и многолетнего льда, причем количество ошибок возрастает с течением зимы. Однако использование данных скаттерометра QuikSCAT позволяет разделить классы и тем самым решить проблему. Данные скаттерометра доступны, начиная с июля 1999 г., однако, к сожалению, они перестали поступать 24 ноября прошлого года из-за поломки антенны, что лишило нас очень важного источника данных для исследования многолетних льдов.

Оценивая изменение площади многолетних льдов за весь период спутниковых пассивных микроволновых наблюдений, мы опираемся на данные, полученные для ноября месяца (начало арктической зимы), когда упомянутые ошибки разделения многолетних и однолетних льдов минимальны. Для указанного месяца площадь многолетних льдов уменьшалась в среднем на $12,7 \pm 1,8$ % за декаду, что дает оценку сокращения этой площади за весь период наблюдения чуть более 40 %.

Совместная обработка данных скаттерометра и пассивных микроволновых наблюдений позволяет проследить изменения многолетних льдов в течение зимы. Наиболее впечатляющие изменения наблюдались в 2007 г., когда площадь многолетнего льда сократилась к концу зимы очень значительно, а в течение весны не произошло сколько-нибудь значительного нарастания однолетнего льда, что привело к уникально малой площади сентябрьского льда в указанном году. За следующие два года многолетний лед не мог восстановиться, в итоге, хотя площадь ледяного покрытия Арктики в сентябре 2009 г. была больше наблюдавшихся в 2007 и 2008 гг., эта площадь была существенно меньше средней за весь период наблюдений и, что наиболее важно, в Арктике осталось мало старого льда, имеющего значительную толщину.

СРАВНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Л.П.БОБЫЛЕВ^{1,2}, С.И.КУЗЬМИНА¹, О.М.ЙОХАННЕССЕН²

¹ – Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Россия, Санкт-Петербург. e-mail: leonid.bibylev@niersc.spb.ru

² – Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена, г. Берген, Норвегия

Была проведена оценка изменений ледяного покрова Арктики, включая наблюдаемые и моделированные данные о протяженности ледяного покрова и толщине льда. Использовались спутниковые пассивные микроволновые данные о концентрации льда, а также наземные наблюдения (Charman and Walsh). Применялись данные о толщине льда, полученные с помощью подводных лодок и ICES (Kwok and Rothrock). Оценки будущих изменений ледяного покрова в XXI веке выполнены с использованием данных шестнадцати глобальных моделей климата Межправительственной Группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) по сценарию А2. Результаты сравнения показали, что модели в целом переоценивают протяженность ледового покрова и недооценивают скорость его изменения. Такая переоценка отмечается для Баренцова моря в течение всего года, для остальных арктических морей – только для лета и ранней осени. Во все остальные сезоны моделями недооценивается величина Арктического ледяного покрова. Средняя разница между наблюдаемыми и промоделированными сплоченностью ледяного покрова наиболее велика для Баренцова, Карского морей, а также Восточно-Сибирского моря и моря Лаптевых, где эти различия превышают 80 %. Сравнение наблюдаемых и моделированных величин толщины ледяного покрова показало, что наблюдаемые значения находятся в границах изменения модельных данных. Однако, отрицательные тренды в данных наблюдений значительно превышают модельные.

Данные моделирования для XXI века для арктического ледяного покрова в сентябре сравнивались с результатами экстраполяции данных наблюдений. Было найдено хорошее согласие между модельными и экстраполированными величинами только для моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Для всех остальных морей между ними отмечены значительные расхождения. Наибольшее расхождение было найдено для моря Бофорта, Чукотского и Баренцова морей. Экстраполяция данных наблюдений показала, что уже в середине XXI века море Бофорта, а также Баренцево и чукотское моря могут оказаться свободными ото льда, что значительно раньше, чем предсказывают модели. Данные моделирования указали также на очень сильное уменьшение толщины ледяного покрова летом в конце XXI века, в то время как экстраполяция данных наблюдений показывает, что это может случиться уже в 2020–2030 гг. Таким образом, проведенное сравнение показывает значительное расхождение между наблюдаемыми и моделированными параметрами ледяного покрова в Арктике, что указывает на необходимость совершенствования климатических моделей для более точного расчета параметров ледяного покрова в Арктике.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Н.Ю.ЗАХВАТКИНА^{1,2}, В.Ю.АЛЕКСАНДРОВ², В.Г.СМИРНОВ¹

¹ – ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² – Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Санкт-Петербург, Россия. e-mail: natalia.piotrovskaya@niersc.spb.ru

Получение достоверной ледовой информации необходимо для обеспечения безопасности мореплавания, хозяйственной деятельности на шельфе арктических морей, проведения режимных и климатических исследований. Спутниковые радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) позволяют проводить съемку ледяного покрова Северного Ледовитого океана (СЛО) с высоким пространственным разрешением независимо от естественной освещенности и облачности. По РСА-изображениям идентифицируются основные возрастные виды и формы льда, участки ровного, слабо, умеренно и сильно деформированного льда, границы припая, а также прибрежных и заприпайных польней и разрывов. В летний период определяются положение кромки и сплоченность льдов, выделяются отдельные поля и полосы льда.

Автоматизированное определение видов льда по спутниковым изображениям является основной задачей, стоящей перед ледовыми экспертами, обеспечивающими получение информации о состоянии ледяного покрова для решения прикладных и научных задач. Целью классификации является отнесение пикселей РСА-изображений к различным категориям морских льдов. Типичная цепочка автоматизированной обработки изображений включает в себя этапы предварительной обработки и классификации с использованием набора вычисленных признаков. Основным прямым признаком РЛ-изображений является яркость радиолокационного изображения, определяемая удельной эффективной площадью рассеяния (УЭПР) морских льдов. Этап предварительной обработки включает в себя калибровку изображений и приведение УЭПР морских льдов к фиксированному углу падения.

Для решения задачи автоматизированной классификации морских льдов на изображениях РСА с широкой полосой обзора, полученных со спутника ENVISAT, использован алгоритм, основанный на модели нейронных сетей (НС) с обратным распространением ошибки в комбинации с экспертными оценками. Выбор топологии сети осуществлялся исходя из условий поставленной задачи и качества исходных и анализируемых данных. Основным входным параметром является УЭПР морского льда. В результате исследований было установлено, что автоматизированная классификация на основе УЭПР не позволяет однозначно выделить различные классы льдов. Их разделение может быть улучшено путем использования текстурных признаков изображения.

Установлено, что текстурные признаки всегда являются особенностью какого-либо вида льда при определенных на основе экспериментов оптимальных параметров расчета: размер окна вычислений и межпиксельное расстояние. Рассчитанные по серии РСА изображений текстурные характеристики и значения УЭПР использовались в качестве входных данных для алгоритма классификации методом НС. Ледовые эксперты по контрольным (тестовым) изображениям выбирали наиболее характерные участки трех видов льдов – ровного однолетнего, однолетнего деформированного и многолетнего, для каждого из которых рассчитывается набор текстурных характеристик. По этим данным была натренирована нейронная сеть для выделения этих видов льдов.

Оптимальная конфигурация нейронной сети для классификации скорректированного изображения морского льда, полученного с ENVISAT ASAR, состоит из 9 нейронов во входном слое, соответствующих количеству используемых признаков, одного скрытого слоя с 6 нейронами и 3 нейронами в выходном. На вход уже обученной НС подается набор признаков РСА-изображения, определенных ранее для тренировки сети. Выходные параметры НС соответствуют классам многолетнего, однолетнего ровного и однолетнего деформированного льдов СЛО в зимний период.

Для оценки достоверности результатов работы сети на основе их визуальной интерпретации был классифицирован ряд РСА-изображений. Результаты применения методики оценивались с помощью сравнения с визуальным анализом и ледовыми картами, построенными специалистами ААНИИ. Ошибка классификации изображений методом НС составила 15 % для однолетнего ровного льда, 20 % – для многолетнего и 17 % – для однолетнего деформированного льда. Верификация алгоритма была выполнена на примере ледяного покрова в районе дрейфующей станции «Северный полюс-35» (СП-35). В этом районе была возможность проводить натурные наблюдения с определением точных координат того или иного ледяного образования.

Использование предложенного алгоритма позволит получить реальную информацию о состоянии ледового покрова и его изменений в Арктике с достаточной оперативностью и уменьшить затраты человеческих ресурсов и времени, необходимого для визуальной интерпретации радиолокационных изображений.

МЕТОДИКА СЛЕЖЕНИЯ ЗА ЛЕДЯНЫМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ДИНАМИКО-ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

*В.Г.СМИРНОВ, И.А.БЫЧКОВА, З.М.ГУДКОВИЧ, С.В.КЛЯЧКИН,
В.С.ЛОЩИЛОВ, В.В. СТЕПАНОВ*

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: vgs@aari.nw.ru

Освоение углеводородных месторождений на шельфе замерзающих морей является важной компонентой экономического развития Российской Федерации и должно сопровождаться совершенствованием технологий ледового менеджмента с использованием данных мониторинга состояния ледяного покрова. Ледяные образования являются основным фактором риска для шельфовых сооружений арктических морей. В этих условиях особо актуальное значение приобретает разработка методик обнаружения и слежения за опасными ледяными образованиями (ОЛО) с помощью технических и аналитических средств, а именно с помощью средств спутникового дистанционного зондирования и модельных расчетов. Наибольшую угрозу для шельфовых инженерных сооружений представляют многолетние ледяные поля, айсберги, поля толстого однолетнего льда с большими грядами торосов и всплывшие стамухи.

Изучение возможностей современной спутниковой аппаратуры позволило заключить, что наиболее достоверное обнаружение и трассирование ОЛО достигается на основе совместного комплексного анализа данных радиолокаторов с синтезированной апертурой (SAR спутников RADARSAT, Envisat и др.), данных радиометров видимого и инфракрасного спектральных диапазонов (спутники NOAA, Terra, Aqua и др.), наземных наблюдений на судах и береговых станциях, а также модельных расчетных данных. Важным условием таких комплексных наблюдений является регулярный, а не эпизодический спутниковый мониторинг состояния ледяного покрова.

В качестве основной составляющей спутниковой системы мониторинга ОЛО (рис. 1) должны рассматриваться всепогодные спутниковые средства дистанционного зондирования, а именно: системы пассивной и активной локации в микроволновом диапазоне спектра. Низкое пространственное разрешение пассивных микроволновых радиометров (не выше 6 км) не позволяет обнаруживать крупные ледяные поля, айсберги и ряд других опасных ледяных образований. Однако ежедневные микроволновые данные позволяют независимо от условий погоды отслеживать перемещение кромки или локальных зон морских льдов, в которых высока вероятность включения ОЛО. Регулярный мониторинг изменения сплоченности льдов, скорости и направления их перемещения позволяет оценивать степень угрозы для ближайших морских и прибрежных инженерных сооружений.

Оптимальное сочетание спутниковых средств наблюдений за ОЛО на различных этапах мониторинга может изменяться. На этапе фонового мониторинга необходима совокупность спутниковых средств с преобладающим вкладом данных оптического диапазона. При переходе в режим постоянного слежения за обширными зонами, где есть вероятность наличия ОЛО, наряду с данными оптического диапазона, предпочтительно использование общедоступной микроволновой информации пассивного зондирования с последующим переходом на дорогостоящие радиолокационные снимки высокого пространственного разрешения.

Для обнаружения и слежения за перемещением скоплений или отдельных ОЛО в виде крупных многолетних и торосистых однолетних ледяных полей, локальных «пятен» сплоченного сильно торосистого льда, а также всплывших стамух, должны использоваться данные SAR высокого разрешения спутников типа RADARSAT, Envisat, TerraSAR X.

Для мониторинга перемещения ОЛО требуемый временной интервал между последовательными спутниковыми снимками зависит от расстояния до морских инженерных объектов и в случаях опасного приближения не должен превышать одного дня. Одновременно должны выполняться расчеты перемещения ледяных образований с использованием ледовых моделей. При этом мониторинг перемещения айсбергов требует использования специализированных моделей дрейфа айсбергов.

Для трассирования ОЛО в виде полей многолетнего и однолетнего льда используется созданная в ААНИИ численная динамико-термодинамическая модель эволюции ледяного покрова, интегрирующая уравнения на основе конечно-разностной аппроксимации производных и «сеточной» аппроксимации расчетной области. В результате такого решения получается пространственное распределение характеристик ледяного покрова в заданный момент времени с пространственным разрешением, соответствующим шагу регулярной сетки. При прогнозе перемещения ОЛО, представляющего собой точечный объект, необходимо уточнить области его предполагаемого положения. Это выполняется путем повторного расчета с использованием сетки с более подробным шагом, на меньшую по площади расчетную область.

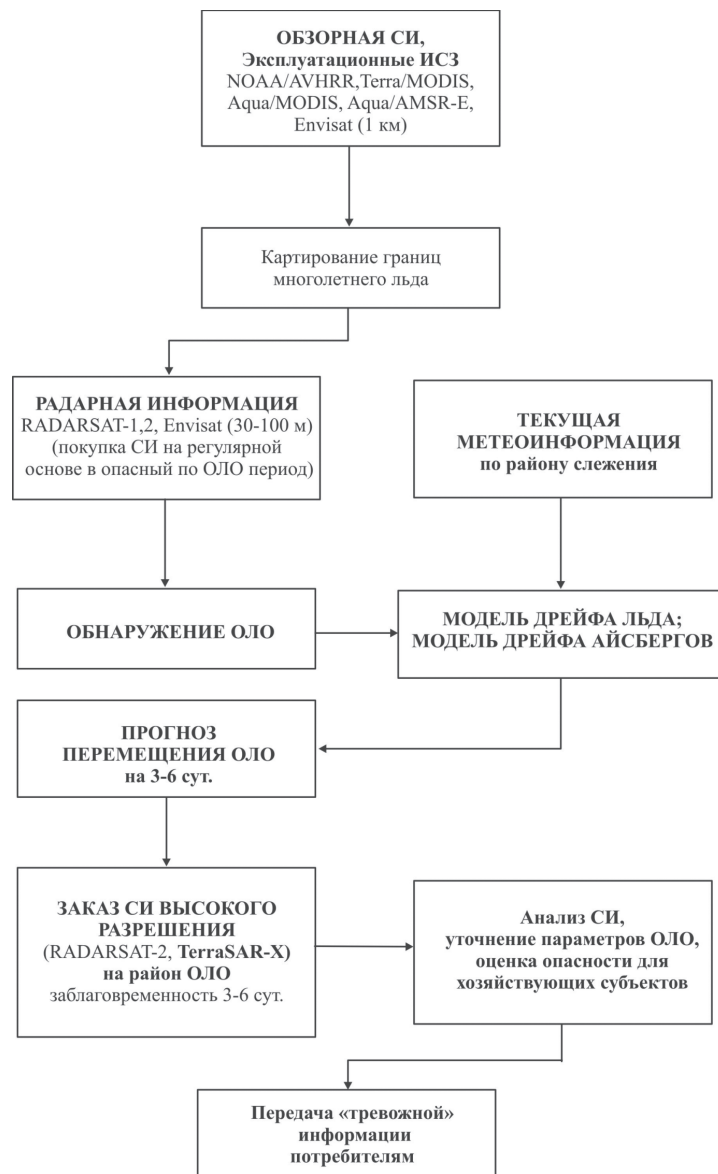


Рис. 1. Схема использования спутниковой информации при мониторинге ОЛО

Выполнение таких расчетов в один этап вызывает значительные затруднения, так как, не зная заранее, хотя бы приблизительно, направления и дальности предполагаемого смещения объекта, придется выполнять расчет с подробным шагом сетки по сравнительно большой расчетной области. В то же время, интегрируя уравнения с малым пространственным шагом, необходимо, соответственно, уменьшать и шаг по времени, т.к. в противном случае может нарушиться условие Курранта. Тогда, при выполнении прогноза по большой области с малым пространственным и временным шагами, резко увеличивается время, необходимое на выполнение расчета, что весьма нежелательно при работе в оперативном режиме.

По материалам наблюдений в арктических морях, в том числе с использованием информации дрейфующей станции СП-35 (рис. 2), выполнена оценка прогностических ошибок, возникающих при использовании этой модели. Абсолютные значения ошибок прогнозов скорости дрейфа составили около 5 см/с, направления – около 35°, что составляет примерно 19 % от максимально возможной ошибки, равной 180°.

Многочисленные серии испытаний численной прогностической модели эволюции ледяного покрова показали возможность рассчитывать и прогнозировать (с достаточной оправдываемостью при положительной эффективности) основные параметры ледяного покрова: сплоченность, дрейф, толщину, торосистость и сжатия, что может быть весьма полезно при решении многих практических задач.

Таким образом, использованная для целей слежения за ледяными образованиями модель дает возможность прогнозировать с удовлетворительной точностью перемещение объекта, а также распределение основных характеристик океана и ледяного покрова с заблаговременностью до 5 сут.

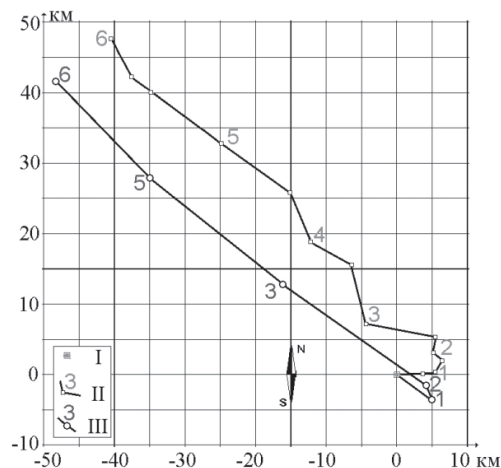


Рис. 2. Расчетные и наблюдаемые траектории дрейфа льдины СП-35 в Центральном полярном бассейне в период с 14 по 20 января 2008 г.: I – начальная точка траектории, II – расчетная траектория, III – наблюдаемая траектория (фактический дрейф – по Envisat); (цифрами на рисунке обозначено количество суток после начала слежения).

Модель позволяет прогнозировать положения ОЛО в момент проведения дорогостоящей заказной спутниковой съемки, имеющей малые размеры сцены (около 10×10 км). Тем самым обеспечивается снижение издержек на покупку спутниковой информации, так как стоимость информации в приоритетном режиме съемки (заказ не позднее 24 час до съемки) существенно выше, чем в стандартном режиме (с заказом не позднее 3 сут. до дня съемки).

Наши исследования на материалах наблюдений в арктических районах подтвердили перспективность совместного использования модельных расчетов и спутниковой информации для определения наиболее вероятного местоположения ОЛО при различной временной дискретности спутникового мониторинга.

МЕТОДИКА ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ НА БЕЛОМ МОРЕ И ЮГО-ВОСТОКЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

И.О.ДУМАНСКАЯ, А.М.КОТИЛЕВСКАЯ

ГУ «Гидрометцентр России», г. Москва, Россия. sea-ice@metcom.ru

В области долгосрочных ледовых прогнозов в настоящее время основными являются физико-статистические методы, основанные на предположении о преемственности и цикличности процессов, происходящих в природе. Но статистические связи не являются устойчивыми и нуждаются в постоянном обновлении. Поэтому назрела необходимость совершенствования методики долгосрочного прогноза ледовых условий на европейских морях России.

Осуществленная в лаборатории ледовых прогнозов ГУ «Гидрометцентр России» оценка эффективности работы прогностических схем, разработанных в 70–80-х годах прошлого века, показала их недостаточную надежность. Ряды, используемые в то время, были весьма короткими (20–30 лет), что делало невозможным привлечение большого числа предикторов. Из-за сложности природных процессов использование 3–4 предикторов может обеспечить устойчивость связи только на коротком отрезке времени. С другой стороны, с увеличением аргументов величина коэффициента корреляции может увеличиваться с одновременным уменьшением его достоверности. Использование наиболее значимых коэффициентов позволяет исключить метеорологические шумы, т.е. составляющие полей, характеризующих мелкомасштабные флуктуации. Однако фильтрация мелких предикторов неминуемо приводит к потере эффективности и экстремальных результатов прогноза.

Долгосрочный прогноз ледовых характеристик на неарктических морях европейской части России включает прогноз элементов ледового режима, ежегодно публикуемых в бюллетене «Долгосрочный прогноз ледовых условий на неарктических морях на предстоящий ледовый сезон». Бюллетень готовится в ГУ «Гидрометцентр Россия» и рассылается заинтересованным потребителям в начале октября. При этом прогнозируются следующие характеристики:

- дата начала ледообразования в портах;
- максимальная за сезон ледовитость моря;
- максимальная за сезон толщина припайного льда в портах;
- дата очищения моря ото льда в портах;
- продолжительность ледового периода в портах.

Информационной основой методики прогноза являются материалы электронного архива метеорологической и ледовой информации, созданного в лаборатории ледовых прогнозов. Архив включает в себя:

- данные наблюдений за температурой воздуха и приземным давлением:
 - а) на морских гидрометеорологических станциях (ГМС) неарктических морей;
 - б) в пунктах, расположенных в районах центров действия атмосферы (ЦДА): Сибирского максимума (Иркутск), Исландского минимума (Рейкьявик) и Азорского максимума (Понта Делгада);
- таблицы дат наступления ледовых фаз, продолжительности ледовых периодов и толщин припайного льда, составленные по данным наблюдений на ГМС;
- таблицы ледовитости российских морей.

Технология долгосрочного прогноза представляет собой ансамблевый метод, включающий в себя три самостоятельных компонента.

1. Расчет ледовых параметров по уравнениям множественной корреляции на основе использования характеристик поля температуры над евроатлантическим сектором.
2. Расчет ледовых параметров по уравнениям множественной корреляции на основе использования характеристик поля давления над евроатлантическим сектором.
3. Разложение кривых хода межгодовой изменчивости ледовых характеристик на гармонические составляющие с последующей экстраполяцией их суммы на предстоящий ледовый сезон.

В окончательном результате учитываются вклады всех трех компонент, величины которых пропорциональны обеспеченности расчета по полным рядам наблюдений в рамках каждой компоненты.

Разработке методики прогноза предшествовала большая работа по изучению изменчивости характеристик ледового режима неарктических морей европейской части России во взаимосвязи с макроциркуляционными атмосферными процессами. Были исследованы предполагаемые предикторы:

- среднемесячные значения давления в ЦДА и разности этих давлений на фиксированных направлениях;

– среднемесячные значения температуры воздуха, характеризующие сибирскую и североатлантическую воздушные массы, и разности этих температур на фиксированных направлениях.

Корреляционный анализ осуществлялся по данным 9 месяцев, предшествующих ледовому сезону (с января по сентябрь включительно). Ограничение набора предикторов сентябрьскими данными было определено тем, что результаты прогноза предоставляются потребителям ледовой информации уже в начале октября. По результатам корреляционного анализа были выбраны наиболее существенные предикторы, которые и вошли в окончательные уравнения множественной корреляции.

Для морей европейской части России был выбран единый набор предикторов (28 характеристик поля температуры и 29 характеристик поля давления). Расчетные уравнения для всех портов имеют аналогичный вид, differing только весовыми коэффициентами.

В основу методики прогноза заложено предположение о том, что на будущую суровость зимы в любом пункте европейской части России (и, следовательно, ледовых характеристик) влияют:

- состояние, интенсивность и взаимодействие крупных термобарических атмосферных структур;
- положение пункта прогноза относительно центров этих структур;
- наличие накладывающихся друг на друга циклов, определяемых внешним (космическим) воздействием.

Отфильтрованные и вошедшие в уравнения предикторы обладают метеорологической памятью, наличие которой количественно подтверждается корреляционной зависимостью. Изменение всех коэффициентов в уравнениях происходит в пределах от 0 до 0,70. Таким образом, возможно оценить степень влияния того или иного предиктора на конечный результат (прогнозируемую ледовую характеристику) в зависимости от географического положения объекта прогноза (моря, района моря).

Разложение кривых хода межгодовой изменчивости ледовых характеристик на гармонические составляющие осуществлено для всех рядов сумм градусодней мороза, значений ледовитости морей и ледовых фаз по 13 гармоникам.

Периоды циклов для гармоник были определены по ряду температуры воздуха в Санкт-Петербурге, для которого имеется наибольший ряд наблюдений. Разложению подвергался 200-летний ряд отклонений СГДМ от генерального тренда. Мерой согласованности реальных и расчетных отклонений от генерального тренда являлся максимальный, полученный в процессе пере-

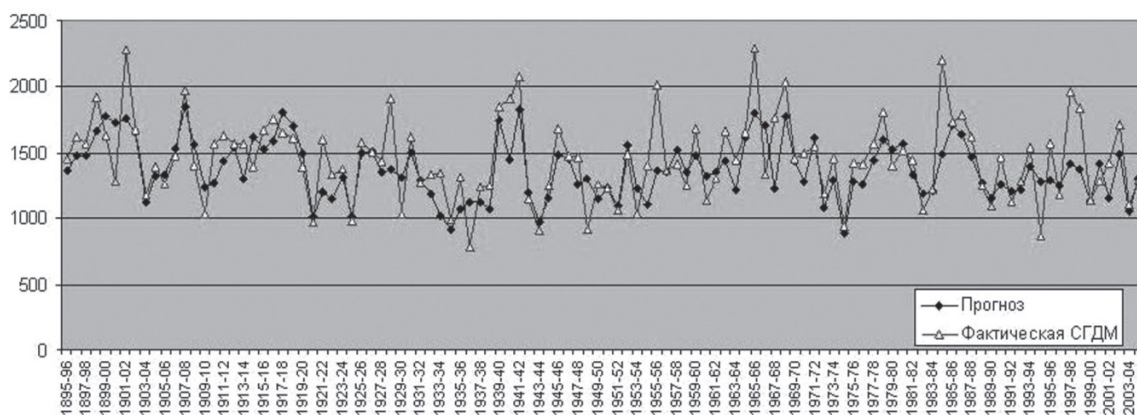


Рис 1. Расчет СГДМ в Архангельске ансамблевым методом.

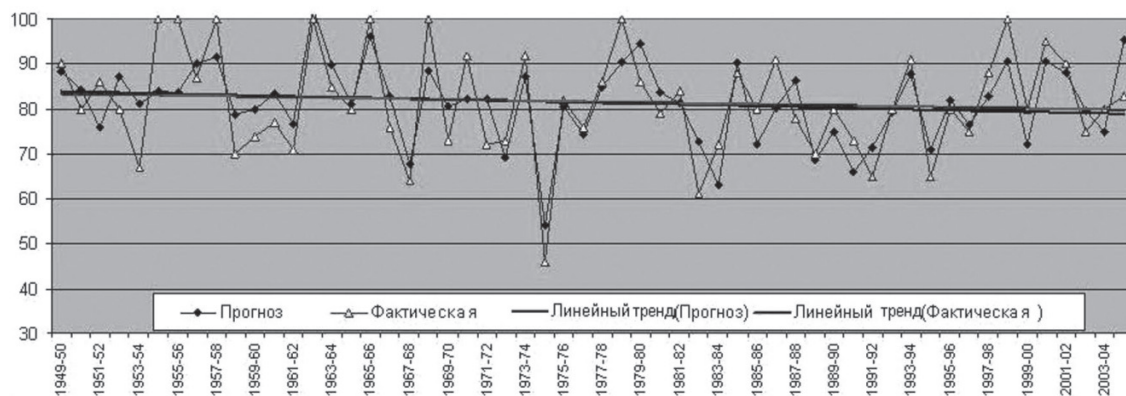


Рис. 2. Расчет ледовитости в Белом море ансамблевым методом.

бора вариантов, коэффициент корреляции между значениями двух рядов: фактических отклонений СГДМ и соответствующих значений гармоника.

На рис. 1 приведен пример расчета СГДМ в Архангельске ансамблевым методом. Эффективность расчета по зависимому ряду составляет 15,5 %. Суммарный коэффициент корреляции равен 0,71.

На рис. 2 приведен пример расчета ледовитости по Белому морю. Эффективность расчета по зависимому ряду составляет 19,6 %. Суммарный коэффициент корреляции равен 0,76.

Результаты прогноза ледовых характеристик для ряда пунктов Белого и Баренцева морей по независимому ряду (4 года – ледовые сезоны с 2005–2006 гг. по 2008–2009 гг.), а также ледовитости морей дали хороший результат.

Для ряда перечисленных выше прогнозируемых элементов за 4 ледовых сезона оправданность по климатическому прогнозу составила 54 %. По прогностической методике оправданность прогноза, выполненного ансамблевым методом по независимому ряду, составила 85 %. Данный положительный результат дает надежду на возможность дальнейшего совершенствования настоящей методики и ее распространения на все российские моря.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ И СОПРЯЖЕННОСТЬ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В СИСТЕМЕ МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ (ЛАПТЕВЫХ, ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ, ЧУКОТСКОЕ)

В.В. ПЛОТНИКОВ

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: vlad_plot@poi.dvo.ru

Оценка многолетней изменчивости и сопряженности ледовых процессов в системе морей восточной Арктики представляет несомненный интерес, особенно, в связи с проблемой глобального потепления.

Для анализа использовались данные о ледовых условиях на морях за период июнь–ноябрь с 1950 по 2008 гг. Объектом исследования выбрана ледовитость, как наглядный, легко определяемый интегральный показатель ледового, а в более общем случае и климатического состояния акваторий.

Для оценки вероятности существования трендовой составляющей в развитии ледовых условий использовался фильтр, выделяющий линейную функцию времени (t) из смеси с белым шумом. Расчетные параметры приведены в таблице.

Таблица

Оценки трендовой составляющей и вероятности ее проявления в многолетних распределениях ледовитостей морей восточного сектора Арктики

Оценки	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
Море Лаптевых						
$L_{av}(\%)$	96,8	91,2	73,2	59,7	92,9	99,3
α	0,067	0,140	0,154	-0,043	-0,026	-0,004
Вероятность наличия линейного тренда	99 %	98 %	78 %	27 %	30 %	26 %
Восточно-Сибирское море						
L_{av}	98,5	96,1	79,4	61,6	91,2	99,9
α	0,032	0,005	-0,082	-0,528	-0,279	-0,005
Вероятность наличия линейного тренда	81 %	10 %	47 %	99,9 %	98 %	78 %
Чукотское море						
L_{av}	92,5	75,8	57,5	44,4	56,1	91,0
α	-0,023	-0,139	-0,272	-0,477	-0,616	-0,422
Вероятность наличия линейного тренда	36 %	97 %	99 %	99,9 %	99,9 %	99,9 %

Здесь $L_{av}(\%)$ – среднее многолетнее значение, α – угол наклона линии тренда,

Видно, что характер многолетнего тренда и вероятность его существования имеет свои пространственно-временные особенности. Если в западной части сектора (море Лаптевых) тренд, отмеченный в июне–августе положителен (рост площади льда), то в восточной части сектора (Чукотском море) тренд уже отрицательный (уменьшение площади льда) и явно выраженный. Исходя из этих оценок, выделяются обособленные интервалы в развитии ледовых условий на морях, с направленными многолетними изменениями ледовых характеристик (наличием значимых трендов): для моря Лаптевых это начальный период разрушения льда (июнь–июль); для Восточно-Сибирского моря это период следующий за периодом максимального теплонакопления (сентябрь–октябрь); для Чукотского моря это практически весь период летнего разрушения льда (август–ноябрь). При этом замедление процесса разрушения льда в море Лаптевых, особенно в начальный период, сопровождается ускорением этого процесса в Чукотском море, особенно в заключительный период.

Для Восточно-Сибирского моря отмечается смена знака тренда – с положительного в начальный (июнь–июль) период (доминирующее влияние моря Лаптевых), на отрицательный – в заключительный (сентябрь–ноябрь) период (доминирующее влияние Чукотского моря). Отмеченные особенности свидетельствуют о противофазности ледовых процессов на западной и восточной перифериях восточной Арктики.

Проведенный анализ позволил сделать вывод, что в общей оценке ледовых условий всей совокупности морей восточной Арктики не выделено статистически значимое их изменения. Однако наличие разноразностных оценок существования тренда в течении анализируемых периодов свидетельствует об изменении характера внутрисезонных процессов. Отмечается некото-

рое смещение периода сезонной перестройки ледовых условий — в сторону календарной осени. При этом, изменения ледовых условий более выражены на восточной чем на западной периферии восточного сектора Арктики.

Анализ спектральных составляющих анализируемых рядов позволил выделить квазипериодических составляющих с периодами 2–3 года, 7–8 лет, 11 лет и 22-х. При этом вклад высокочастотных флуктуаций, включающий чисто случайную компоненту и квазипериодические составляющие с периодами до трех лет составляет порядка 30–35 %.

При анализе корреляционных матриц распределений декадных ледовитостей (Лаптевых — Чукотского, Лаптевых — Восточно-Сибирского и Восточно-Сибирского — Чукотского морей) показано, что в целом процессы эволюции ледовых условий на акваториях Чукотского и Восточно-Сибирского морей находятся в одной фазе, а для Лаптевых и Чукотского морем — имеет волновой характер и меняет знак связи от отрицательной в начале (июнь — начало августа для Чукотского моря и июнь — начало июля для моря Лаптевых) на положительный в середине (с середины августа — до середины октября для Чукотского моря и с начала июля по сентябрь для моря Лаптевых) и обратно на отрицательный, в конце (с конца октября одновременно для обеих акваторий) рассматриваемого периода. Связи между ледовыми условиями морей Лаптевых и Восточно-Сибирским не так однозначны: если с июня по начало октября развитие ледовых процессов на этих морях идет синхронно, то начиная с конца октября отмечается перестройка ледовых процессов и при увеличении площади льдов на одном из морей происходит его уменьшение на другом. В целом характер связей между ледовыми процессами в системе морей восточной Арктики свидетельствует о существовании неких механизмов генерирующих волновые процессы в климатической системе Арктического бассейна, отражением которых и явилась противофазность развития ледовых условий на западной и восточной перифериях рассматриваемого бассейна.

СВЕРХДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ МЕСЯЧНОЙ ЛЕДОВИТОСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ

А.М.ПОЛЯКОВА

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: polyak@poi.dvo.ru

Исходной информацией для выполненных исследований послужили декадные карты ледовых авиаразведок Берингова моря и суммарная продолжительность действия в сутках типов атмосферных процессов с учетом перемещения циклонов и положения антициклонов над акваторией северной части Тихого океана. В процессе исследований применялись классические статистические методы. Проведенный многовариантный анализ связи месячной ледовитости Берингова моря и всех 6 типов атмосферной циркуляции показал, что ледовитость Берингова моря зависит, преимущественно, от времени действия типов Цн и, в меньшей степени, от ОА и СЗ. При действии типа Цн ледовитость Берингова моря увеличивается, так как на его акваторию обрушиваются холодные сухие массы воздуха с американского континента. Процессы ледообразования усиливаются, с одной стороны, из-за морозного воздуха, с другой – сильного северо-восточного ветра, который относит плавучие льды от американского побережья. В результате действия низкой температуры на открытой поверхности полыньи интенсивно образуется новый лед, который вновь относится ветром, вызывая последующее интенсивное ледообразование. Подобным образом на ледообразование в Беринговом море действует ОА тип атмосферной циркуляции, так как при его действии в тылу алеутской депрессии на акваторию Берингова моря с американского континента в холодное время года обрушиваются холодные северо-восточные ветры. Обратным образом на процессы ледообразования в Беринговом море действуют типы атмосферных процессов СЗ и ОГ. При действии СЗ типа циклоны, следующие в залив Бристоль, выносят на акваторию Берингова моря теплые океанические воздушные массы с южными и юго-восточными ветрами, которые одновременно создают перенос теплых океанических вод на акваторию Берингова моря, что способствует замедлению ледообразования. Подобным образом на ледообразование в Беринговом море действует ОГ тип атмосферной циркуляции, вынося теплые морские воздушные массы и теплые океанические воды океана на акваторию Берингова моря. Был выявлен внутрисезонный и межгодовой характер хода суммарной продолжительности действия типов Цн, СЗ, ОА и ОГ, их цикличность, которая составила 2–3, 5–7, 10–11 лет. Исследование изменчивости месячной ледовитости Берингова моря позволило сделать вывод, что она имеет похожую цикличность, то есть обладает периодичностью 2–3, 5–7, 10–11 лет.

Таким образом, обе величины (суммарная продолжительность действия типов атмосферной циркуляции Цн, СЗ, ОА и ОГ и ледовитость Берингова моря) обладают сопоставимой временной изменчивостью асинхронного характера, что указывает на наличие прогностического фактора, позволяющего с большой заблаговременностью предсказать ледовитость Берингова моря. Существенным является то, что предикторами в данном случае оказываются фактические данные наблюдений о суммарной продолжительности действием типов атмосферных циркуляций Цн СЗ, ОА и ОГ т.е. заявляемый способ прогноза базируется не на прогностических, а на фактических данных. Для всех месяцев со льдом был проведен многовариантный анализ взаимосвязей предикторов и предиктантов. Предикторами явились суммарные значения продолжительности действия типов атмосферных процессов Цн СЗ, ОА и ОГ в сутках, за месяц, год, три года и пять лет, а предиктантами, соответственно, месячная ледовитость Берингова моря за все месяцы со льдом. Были рассчитаны вначале частные (r), а затем общие (R) коэффициенты корреляции. Затем были выполнены расчеты уравнений регрессии с использованием одного, двух и трех предикторов. Уравнения регрессии рассчитывались в виде: $y = f(x...) \pm \sigma$ с указанием степени его точности, σ . Для прогноза месячной ледовитости Берингова моря были получены прогностические уравнения на март и апрель. Именно в эти периоды, когда ледовитость Берингова моря наибольшая, она с большей степенью вероятности и с большой заблаговременностью может быть предсказана. Для прогноза среднемесячной ледовитости Берингова моря на март получено одно прогностическое уравнение заблаговременностью 7 лет; на апрель – три прогностических уравнения, два из которых имеют заблаговременность 8 лет, а третье – 4 года. В соответствии с имеющимися нормативными документами прогностические уравнения должны удовлетворять целому ряду определенных требований. Все множественные коэффициенты корреляции для полученных прогностических уравнений имеют значения от 0,68 до 0,74. Показателями надежности связи является вероятное отклонение коэффициента корреляции E , высокое значение которого иногда, при коротких рядах наблюдений, является случайным совпадением. Связь считается надежной, если коэффициент корреляции достаточно велик, в 6–10 раз превышает E . В нашем случае для всех принятых уравнений коэффициент корреляции R превышает E больше чем в 10 раз.

Существует еще один критерий, характеризующий точность зависимостей, а именно соотношение S/σ , среднеквадратической ошибки связи к среднеквадратическому отклонению. Чем меньше это отношение, тем надежнее зависимость. При величине ряда наблюдений более 25, и заблаговременности метода более 6 месяцев, что соответствует нашим условиям, отношение средней квадратичной погрешности к среднему квадратичному отклонению должно соответствовать следующему условию: $S/\sigma \leq 0,80$. Это критерий применимости метода прогноза. В нашем случае для всех полученных уравнений отношение S/σ соответствует принятым требованиям. Практическое использование способов прогнозов заблаговременностью 2–6 месяцев является целесообразным, если их обеспеченность (под обеспеченностью понимается средняя оправдываемость прогнозов, по данному уравнению, составленная на весь период наблюдений) на 10 % выше природной обеспеченности. Превышение обеспеченности метода над природной обеспеченностью называется эффективностью метода. Для сверхдолгосрочных прогнозов (заблаговременностью более 6 месяцев) эффективность метода не устанавливается. Тем ни менее для заявляемого способа такая оценка была выполнена и оказалось, что эффективность прогностических уравнений составила 31–37 %, что выше требований даже для краткосрочных прогнозов. Способ был проверен на независимом материале, не вошедшем в ряды наблюдений, использованных для расчетов прогностических уравнений. Была проведена проверка на базе двух сезонов со льдом: 1987–1988 гг. и 1988–1989 гг., в соответствии с предъявляемыми нормативными требованиями, где для сверхдолгосрочных прогнозов, необходима проверка на материалах двух независимых лет наблюдений. В Беринговом море средняя оправдываемость прогнозов составила 75%. Общая оправдываемость проверочных прогнозов весьма высока, что на 8–14 % превышает принятую по нормативным требованиям для долгосрочных и тем более сверхдолгосрочных прогнозов, а сами уравнения соответствуют всем принятым к ним требованиям. Заявляемый способ позволяет составить сверхдолгосрочный прогноз среднемесячной ледовитости Берингова моря на период максимального развития ледяного покрова (март–апрель), (заблаговременностью 4, 7 и 8 лет), оправдываемостью 75 % при эффективности метода 31–37 %.

ТИПИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ОХОТСКОГО МОРЯ

А.Г. ПЕТРОВ, Е.И. ТРИНЬКО

Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт (ДВНИГМИ), г. Владивосток, Россия. e-mail: KT_L@mail.ru

Типизация – это один из методов классификации по определенным признакам, являющимися критериями для выделения типа. Каждому выделенному типу соответствуют свои средние значения параметров или показателей ледяного покрова.

Для дальневосточных морей типизация элементов ледяного покрова практически не проводилась, за исключением типизации зим по ледовитости, величины которой использовались в качестве предикторов при физико-статистическом моделировании и разработке прогнозов.

В представленной работе проведена типизация по ледовитости и объему (мощности) льда Охотского моря, как по декадам, месяцам, сезонам, так и в межгодовом плане, а также по сплоченности льда для оценки существования полыньи в районе о. Ионы и б. Кашеварова, как пример использования результатов для конкретной цели.

1. Данные

Исходными данными для выделения типов послужили декадные значения ледовитости Охотского моря, а также сплоченности и возраста льда по квадрату (1° по широте и $0,5^\circ$ по долготу), за период с 1961 г. Данные получены на основе:

- карт ледовых авиаразведок над дальневосточными морями;
- спутниковых снимков ледяного покрова морей;
- гидрометеорологических ежемесячников (ежегодников) по дальневосточному региону, содержащие данные прибрежных гидрометеорологических станций и постов;
- прибрежные радиолокационные и вертолетные наблюдения за льдом, попутные судовые наблюдения, сведения, получаемые при исследовании на ледовых полигонах, и т.д.

Средняя толщина льда рассчитывалась по соотношению: $h_i = 0,1(Ah_6 + Bh_{сб} + Ch_c + D_{л*})$, где h_i – средняя толщина льда, см; A, B, C, D – сплоченность однолетнего, серо-белого, серого и первичных видов льда соответственно; $h_6, h_{сб}, h_c, h^*$ – толщина соответствующих возрастов видов льда.

2. Типизация мощности и ледовитости Охотского моря

Типизация элементов ледяного покрова проводилась по пяти равным градациям, соответствующим 20 % изменчивости величин ледовитости и объему. Проведена типизация, как в межгодовом плане, так и по сезонам, месяцам и декадам, что позволяет с большей подробностью выделить типы полей.

В табл. 1 представлена типизация суммарной ледовитости и объема льда в межгодовом плане, по пяти градациям (минимальной, умеренно-минимальной, средней, умеренно-максимальной и максимальной), соответствующих типам зим (очень мягкая зима, мягкая, умеренная, суровая, очень суровая).

Таблица 1

Типизация зим по суммарной ледовитости (ΣL) и суммарному объему (ΣV) с 34-ю по 15-ю декаду

Очень мягкая зима	ΣL	1973	1975	1983	1988									
	ΣV	1961	1962	1963	1973	1975	1983	1988						
Мягкая	ΣL	1961	1962	1963	1964	1967	1974	1985	1986	1989				
	ΣV	1964	1967	1968	1969	1970	1971	1974	1980	1982	1985	1986	1987	1989
Умеренная	ΣL	1968	1969	1970	1971	1980	1984	1987						
	ΣV	1972	1976	1981	1984									
Суровая	ΣL	1965	1972	1976	1981	1982								
	ΣV	1965	1966	1979										
Очень суровая	ΣL	1966	1977	1978	1979									
	ΣV	1977	1978											

Таблица 2

Повторяемость типов зим, %

Зима	Очень мягкая	Мягкая	Умеренная	Суровая	Очень суровая
Повторяемость типов ΣL , %	13,8	31	24,1	17,2	13,8
Повторяемость типов ΣV , %	24,1	44,8	13,8	10,3	6,9

Сравнение типов ледовитости и объема показывает несовпадение в 48 % случаев. При этом повторяемость типов объема в мягкие зимы выше повторяемости по ледовитости, а в суровые и средние – ниже (табл. 2). Что дает основание для более глубокого анализа причин подобного соотношения.

3. Повторяемость типов распределения льдов

Повторяемость типов по объему в течение года изменяется практически одинаково (рис. 1а): повышенные относительно равновесных значений повторяемости типов I и II и пониженные – IV и V. Значение повторяемости III типа зимой и осенью практически совпадают. Исключение составляет зимний период, когда повторяемость II и III типа принимает наибольшие значения. Такой характер изменения достаточно хорошо согласуется с режимными особенностями моря. Повторяемость типов ледовитости (рис. 1б) в течение года изменяется не одинаково, осенью и весной наибольшая повторяемость II типа, для зимнего периода – III и IV тип (что обусловлено, по всей вероятности, усилением ветра северных направлений, в результате которых происходит вынос льда на открытые участки, что приводит к увеличению ледовитости моря).

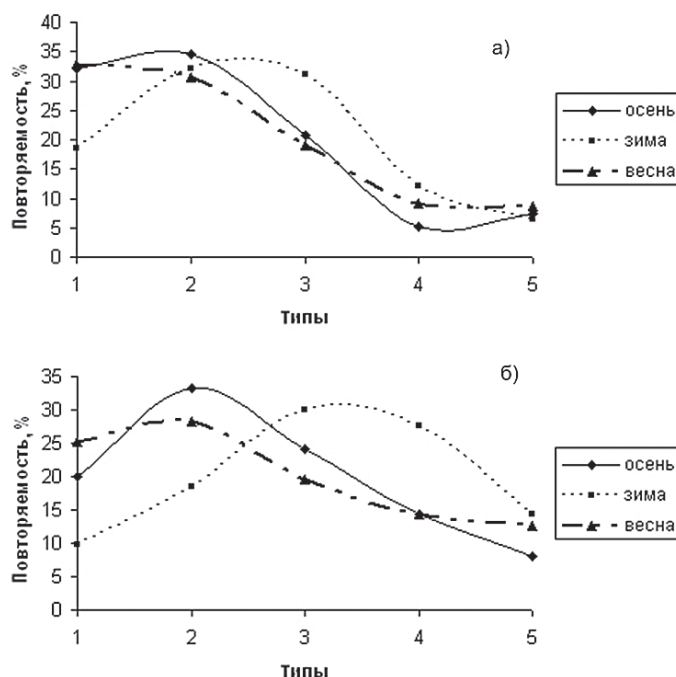


Рис. 1. Сезонная повторяемость типов распределения: а – объема; б – ледовитости.

4. Особенности преобразования типов льда

Типы распределения льдов чаще сохраняются в течение декады, чем переходят в другие. При этом они с большей повторяемостью переходят в ближайший от себя тип и с меньшей в более отдаленный. Суммарная вероятность сохранения типов и их переход в ближайший составляет 74,5 % для ледовитости и 96,6 % для объема.

Свобода переходов исходного типа в другие носит ограниченный характер, хотя исходный тип могут переходить в любой другой тип, но вероятность перехода в более отдаленный и не связанный генетически тип весьма низкая. Типы объема льда с большей повторяемостью переходят в ближайший от себя тип и с меньшей в более отдаленный. Эта закономерность не совсем характерна для типов ледовитости. Типы ледовитости переходят в более отдаленный тип достаточно часто, что говорит о том, что площадь моря, покрытая льдом, может резко измениться, либо увеличиться либо уменьшиться за короткий промежуток времени, в то время как объем остается постоянным.

5. Квазистационарная полынья в районе о. Ионы

Для оценки существования полыньи в районе о. Ионы и б. Кашеварова проведена типизация по сплоченности льда.

Подекадная типизация проводилась со 2-й декады января по вторую декаду апреля. В 84 % случаев в середине января сплоченность льда высокая, льды достаточно плотно покрывают акваторию моря, только в 16 % случаев льды разряжены из них в 3 % случаев полынья может достигать 80 % от данной акватории. Начиная со второй декады января площадь сплоченных льдом уменьшается и в третьей декаде февраля составляет 52 %, в середине февраля 45 %. По многолетним значениям, в марте сплоченные льды занимают 83 %, но в 7 % случаев разряженные льды занимают 50 %. Во второй декаде марта в 45 % случаев полынья может занимать до 30 %. В конце марта начале апреля сплоченные льды занимают до 86 % акватории, а со второй декады апреля происходит интенсивное таяние льда.

ДАЛЬНИЕ СВЯЗИ АНОМАЛИЙ ЛЕДОВИТОСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

С. П. ШКОРБА

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: sshkorba@yandex.ru

Система океан–атмосфера имеет множество прямых и обратных связей, обуславливающих эволюцию ледяного покрова и многолетнюю изменчивость ледовитости дальневосточных морей и Арктического бассейна. Целью данной работы является оценка дальних статистических связей аномалий ледовитости Японского моря с региональными аномалиями в этом море и с крупномасштабными аномалиями в высоких, умеренных и низких широтах северного полушария. Межгодовая и многолетняя изменчивость ледовитости обусловлена региональными аномалиями как метеорологических, так и океанографических характеристик, в частности, термического режима сезонного пикноклина моря. В свою очередь, региональная изменчивость составляющих теплового на поверхности моря и термического состояния вод может быть связана с аномалиями текущих и предшествующих крупномасштабных процессов в Арктике, Северо-Восточной Азии и северной части Тихого океана, что и оценивается в работе. В результате определяется прогностическая значимость отдельных предикторов в вероятностной прогностической модели аномалий ледовитости Японского моря (Татарского залива).

В данной работе тестировались индексы атмосферной циркуляции Гирса, Вангенгейма, Ильинского, Блиновой, а также индексы Арктического (АОИ) и Северо-Тихоокеанского колебаний (NPI), первые временные моды разложения на ЭОФ (эмпирические ортогональные функции) полей приземного атмосферного давления в северном полушарии. В качестве крупномасштабных океанографических характеристик выбраны поля аномалий температуры поверхности (ТПО) северной части Тихого океана.

Выполненный статистический анализ позволяет оценить влияние крупномасштабных атмосферных процессов на развитие ледовых условий в море. В ряде случаев возможно доминирование синоптических атмосферных аномалий, приводящих к нарушению корреляционных связей. В результате был отобран оптимальный набор гидрометеорологических показателей, наиболее тесно связанных с последующей эволюцией ледовых условий.

Для оценки влияния термического режима окружающих вод на ледяной покров рассчитывались корреляционные связи ледовитости моря в период максимального развития ледяного покрова (февраль) и полями температуры поверхностного слоя воды в северной части Тихого океана, взятые с лагами 1, 3, 6, 9 и 12 месяцев. Акватория Японского моря была ограничена 145° в.д.–160° з.д. и 40–60° с.ш. Имеющийся на Дальнем Востоке архивы данных о термическом режиме поверхностного слоя вод северной части Тихого океана отличаются существенной пространственно-временной неоднородностью. Для западной части Тихого океана (до 180° в.д.) он включает сведения с 1981 по 2008 г., для восточной части количество информации меньше и ограничено данными, начинающимися с 1987 г. Поэтому использовался также сеточный архив температуры поверхности океана (ТПО) из Хедли центра.

С использованием двух архивов данных о ТПО показаны конкретные крупномасштабные области северной части Тихого океана, характеризующиеся высоким уровнем корреляционной связи аномалий ледовитости с предшествующими аномалиями ТПО. Достоверность подобного заключения подтверждается оценками критических значений коэффициентов корреляции, превышение которых с заданной вероятностью свидетельствует о статистической значимости полученных связей. Отмечено, что именно в удаленных от Японского моря крупномасштабных районах океана имеют место высокие корреляции между аномалиями ледовитости моря и ТПО в текущий и предшествующие сезоны года.

Так, критические значения коэффициентов корреляции, при 95 % уровне значимости, находятся в интервале от 0,42 – для района к западу от 180° ($n = 23$) и до 0,50 – для района к востоку от 180° ($n = 17$). При понижении жесткости отбора область значащих связей соответственно расширяется. Например, при 80 % уровне значимости критические значения корреляционных связей находятся в интервале от 0,26 в западном районе и до 0,34 в восточном. Локализация этих областей изменяется в зависимости от лага между анализируемыми характеристиками.

Найденные корреляционные связи с запаздыванием аномалий ледовитости по отношению к аномалиям ТПО могут использоваться в технологии статистического прогноза ледовой обстановки в Японском море. Значимая корреляционная связь между аномалиями ледовитости Японского моря и ТПО Тихого океана обусловлена аномалиями циркуляции атмосферы и циклонической активности в северной части Японского моря.

Сравнивая информативность синоптических и гидрологических предикторов, мы выяснили, какие из них являются главными, наилучшем образом связанными с аномалиями ледовых процессов

в Японском море. Показано, что статистические связи ледовитости моря с аномалиями температуры воды в северной части Японского моря в зимний и предшествующие сезоны, заметно слабее и менее значимы, чем дальние связи с аномалиями ТПО в северной части Тихого океана.

Области положительных корреляционных связей отмечаются в северном и северо-восточном районах моря, а отрицательных в его южной части. Область положительных коэффициентов корреляции наиболее выражена и значима с нулевым и годовым лагами. Выделяется область высоких по абсолютной величине отрицательных значений коэффициентов корреляции в юго-западном районе внетропической северной части Тихого океана, что является следствием влияния аномалий температуры воды в районе течения Куроисио. В исследуемом районе океана преобладают отрицательные статистические связи. Области значимых положительных связей выделяются, главным образом, в северо-восточной части Тихого океана при отсутствии временного лага, а также при девятимесячном и годовом лагах. Выполненные исследования направлены на создание физико-статистических моделей прогноза ледовых условий Японского моря.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ СЕКЦИИ «МОРСКОЙ ЛЕД»

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА «ЭЛЕРОН-23» НА ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЯХ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС»

А.Э.КЛЕЙН, А.Л.РУМЯНЦЕВ, В.М.СМОЛЯНИЦКИЙ, В.Т.СОКОЛОВ

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: kleyn@aari.nw.ru

Осуществление постоянного мониторинга состояния поля – носителя дрейфующей станции «Северный полюс» и ледовой обстановки в районе станции, после возрождения российских СП в 2003 г., является важной практической и научной задачей. Невозможность использования для этого традиционных летательных аппаратов (самолет АН-26, вертолет МИ-8), обусловило необходимость поиска альтернативного решения этой задачи.

В качестве такого решения был предложен беспилотный летательный аппарат (БЛА) Элерон-23 (производство ЗАО «ЭНИКС», г. Казань).

Основные тактико-технические характеристики БЛА: размах крыльев – 1,7 м, взлетный вес – 3,5 кг (запуск с резиновой или пневматической катапульты), скорость 70–100 км/час, радиус действия по видеосигналу – 15 км продолжительность полета 1 ч при температуре до –20 °С, предельная высота полета – 3000 м, система посадки – парашютная, силовая установка – электродвигатель.

Успешные испытания этого БЛА на СП-35 в апреле 2008 г. показали перспективность этого направления.

Разработанный по техническому заданию АНИИ комплекс БЛА «Элерон-23 Арктика», оснащенный телевизионной камерой и фотоаппаратом (борт № 1) и инфракрасной камерой и аэрологическим датчиком «Cora» (борт № 2) прошел опытно-производственные испытания в мае 2009 г. на СП-36.

Область решаемых задач при использовании БЛА на дрейфующих станциях «Северный полюс»:

1. Ледовая разведка в видимом и ИК-диапазоне.
2. Горизонтальное и вертикальное метеорологическое зондирование (температура, влажность, давление).
3. Измерение поля скорости ветра по высотам с дискретностью 50–100 м (до высоты 3000 м).
4. Съемка подстилающей поверхности для валидации спутниковой информации о состоянии ледяного покрова.

При эксплуатации БЛА в сентябре–декабре 2009 г. на СП-37 было выполнено более 50 полетов. Получены представительные материалы по ледовой обстановке и горизонтальному зондированию метеоэлементов.

Перспективные направления использования БЛА для научных исследований в Арктике и Антарктике:

1. Тактическая ледовая авиационная разведка по пути движения судна.
2. Не травмирующее изучение фауны (гнездовья птиц, лежища морзверя).
3. Использование БЛА в качестве носителя измерительных датчиков.

ФОРМИРОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ПРИПАЙНОГО ЛЬДА В ПРОЛИВЕ АМУНДСЕНА

П.В.БОГОРОДСКИЙ¹, А.В.ПНЮШКОВ², С.В.ШУТИЛИН¹

¹ – ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: bogorodski@aari.nw.ru, shutilin@aari.nw.ru

² – Международный центр исследования Арктики, г. Фэрбенкс, США. e-mail: andrey@iarc.uaf.edu

В рамках Международной программы исследования циркумполярных заприпайных полыней, выполненной с борта ледокола канадской береговой охраны «Амундсен» в 2007–2008 гг. по программе МПГ, рассмотрены процессы формирования и зимней эволюции морского льда в проливе Амундсена (южная часть моря Бофорта). Для расчетов использовалась термодинамическая модель замерзания в спектре температур, воспроизводящая эволюцию снежно-ледяного покрова под влиянием изменяющихся атмосферных условий и потока тепла из океана, а также соответствующее изменение составляющих теплового и радиационного баланса его поверхности.

Нарастание морского льда рассчитывалось по двум сценариям при одинаковом атмосферном форсинге. Первый предполагал непрерывный рост льда в течение всей зимы, второй учитывал двукратное образование полыньи, вызванное превышением отжимной компонентой ветра некоторого критического значения. Оценка его величины выполнялась на основании равенства обусловленного ветром суммарного напряжения льда и его сопротивления с учетом ширины и толщины припая, тангенциального напряжения ветра и предела прочности льда на разрыв. Эволюция льда по первому сценарию находится в хорошем соответствии с данными прямых измерений припая как по толщине, так и по переходу в очередные возрастные стадии. Второй сценарий закономерно демонстрирует существенное отличие от первого. При его реализации в конце зимнего периода суммарная толщина льда, образующегося в выбранном районе акватории, достигает 2,48 м, что почти на 0,5 м больше, чем первого. Возникающие при открытии полыньи температурные контрасты приводят к значительным величинам компонент теплового баланса поверхности, прежде всего, турбулентного потока явного тепла и потока тепла через снежно-ледяной покров и быстрому росту льда. Как следует из расчетов, эти потоки почти на два порядка превышают соответствующие величины для более толстого льда, нарастающего с осени. В то же время, 20–40 см лед, который достигает этих толщин за нескольких суток, вносит основной вклад в формирование положительного турбулентного потока явного тепла, чем препятствует выхолаживанию полярной атмосферы вследствие турбулентного теплообмена.

Результаты моделирования роста льда показали хорошее соответствие экспериментальным данным. Это дает основание считать, что предложенный подход адекватно отражает физические процессы интенсивного взаимодействия океана и атмосферы на количественном уровне.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОИСКА ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ, ПРИГОДНЫХ ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРЕБЫВАНИЯ НА НИХ ЛЮДЕЙ

В.И.БЕССОНОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: vladimirb@aari.nw.ru

В настоящее время современное развитие техники дистанционного зондирования поверхности Земли позволяет для изучения ледяного покрова морских акваторий широко использовать большой комплекс разнообразных приборов. Из этого комплекса наиболее важным и достаточно широко используемым средством являются спутниковые радиолокационные станции, которые способствуют проведению важных наблюдений за ледяным покровом и определению большинства его характеристик независимо от освещенности поверхности Земли и практически при любых метеорологических условиях. Достоинства спутниковых радиолокационных наблюдений за ледяным покровом позволяют решать ряд важных практических задач, одной из которых является организация дрейфующих станций в Арктическом бассейне. При решении подобной задачи необходимо осуществлять выбор достаточного по размерам, близкого к округлой форме, как признак устойчивости к разломам в будущем, и наиболее толстого ледяного образования для длительного и безопасного пребывания на нем людей в различных районах Северного Ледовитого Океана. Одной из таких спутниковых радиолокационных станций является станция, установленная на борту европейского спутника ENVISAT, позволяющая проводить радиолокационные съемки среднего разрешения с широкой полосой обзора, которые являются самыми оптимальными для выполнения отмеченной выше задачи.

ЛЕДОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ В БЕЛОМ, НА ЮГО-ВОСТОКЕ БАРЕНЦЕВА И В КАРСКОМ МОРЯХ

А.М.КОТИЛЕВСКАЯ, И.О.ДУМАНСКАЯ

ГУ «Гидрометцентр России», г. Москва, Россия. e-mail: sea-ice@metcom.ru

В настоящее время мы являемся свидетелями как экономических, так и климатических изменений, происходящих на российской территории. И те, и другие процессы внесли существенные коррективы в планы предпринимателей, деятельность которых связана с морем. В связи с малым грузопотоком в арктическом регионе центр внимания транспортных компаний переместился на неарктические моря. Наиболее востребованной в настоящее время является информация по трассам, связывающим запад Арктики с Баренцевым и Белым морями: Енисей – Карские ворота, Баренцево море – Архангельск, Баренцево море – Кандалакша (Витино).

Известно, что на ледовые характеристики различных районов земного шара оказывают влияние макроциркуляционные атмосферные процессы, оцениваемые по классификации, разработанной Г.Я.Вангенгеймом и А.А.Гирсом для евро-атлантического сектора. При этом существуют устойчивые периоды времени, когда повторяемость одного (или двух-трех) из видов циркуляции лидирует. Они называются макроциркуляционными эпохами и длятся примерно 10–25 лет. Систематизация метеорологических и ледовых параметров в рамках определенного временного периода позволяет охарактеризовать ту или иную климатическую эпоху с 1900 года до наших дней. Начиная с 1991 г., мы находимся в условиях предположительно W+E макроциркуляционной эпохи.

Для неарктических морей Атлантико-Европейского региона в период с 1991 по 2010 г. характерно:

1. Повышение повторяемости и интенсивности штормов в безледный период.
2. Наличие отдельных зим с тяжелыми ледовыми условиями на фоне общего повышения повторяемости легких ледовых условий.

Так в ледовый период 2008–2009 гг. на Белом море и юго-востоке Баренцева моря наблюдались легкие ледовые условия. В то же время в марте 2010 г. наблюдалась 100 % ледовитость как Белого моря, так и юго-восточной части Баренцева моря. По СГДМ настоящая зима для этих районов приближается к критерию «суровая» (рис. 1).

Практический вывод из выше изложенного такой: в настоящее время мы живем в условиях W+E макроциркуляционной эпохи – самой мягкой из всех эпох в плане ледовых условий для европейских неарктических морей. С 1991 г. – года начала последней эпохи, прошло 20 лет. И теперь, возможно, происходит перестройка макроциркуляционных процессов. Если потепление является результатом цикличности природных процессов, то оно должно закономерно смениться похолоданием. Поэтому нельзя надеяться на облегчение ледовых условий в связи с глобальным потеплением, как в Арктике, так и в неарктических морях. Необходимо поддерживать боевую готовность ледокольного флота и продолжать совершенствование ледовых прогнозов.



Рис.1. Ледовая обстановка на Баренцевом море на начало марта: а – 2008 г.; б – 2010 г. Обозначения на рисунках соответствуют «Номенклатуре морских льдов», 1974 г.

Кроме того, в настоящее время мы являемся свидетелями бума проектирования объектов гидротехнического строительства при сооружении стационарных платформ для добычи нефти и газа на шельфе замерзающих неарктических и арктических морей, а также морских перевалочных терминалов. Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что при разработке морских проектов необходимо закладывать параметры ледовых условий не по данным последних 10–15 лет, а по характеристикам, соответствующим всему имеющемуся ряду наблюдений за гидрометеорологическими и ледовыми параметрами.

**СРЕДНИЕ РАЗМЕРЫ АНТАРКТИЧЕСКИХ АЙСБЕРГОВ ПО ДАННЫМ
О ГЕОГРАФИЧЕСКОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ
ХАРАКТЕРИСТИКАМ АЙСБЕРГОВ РАЗНЫХ ФОРМ**

Ю.А.РОМАНОВ, Н.А.РОМАНОВА

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН., г. Москва, Россия. e-mail: romanov@ocean.ru

В архиве ААНИИ накоплены данные разнообразных судовых наблюдений над антарктическими айсбергами. В частности, в нескольких рейсах нис «Профессор Визе» в 1975–1990 гг. при наблюдениях в дневное время подсчитывалось число айсбергов каждой из 5 основных наблюдавшихся форм (1770 наблюдений). Обработка этих данных позволила впервые оценить соотношение между числом айсбергов различных форм в разных частях Южного океана. Как видим (табл. 1), здесь преобладают разрушающиеся айсберги, доля которых в прибрежной зоне достигает 52–69 %, а в мористой 77–82 %. Вклад столообразных айсбергов в этих зонах меняется от 33–38 % до 9–15 %. Доли айсбергов остальных форм составляют единицы процента.

Таблица 1

Формы айсбергов	0–180° в.д.			180°–0° з.д.				Южный океан
	<60° ю.ш.	60–65° ю.ш.	>65° ю.ш.	<60° ю.ш.	60–65° ю.ш.	65–70° ю.ш.	>70° ю.ш.	
Столообразные	15,4 %	17,5 %	38,1 %	8,6 %	23,8 %	19,6 %	33,1 %	22,6 %
Куполообразные	2,8	1,0	2,4	0,7	2,0	3,1	3,6	1,7
Пирамидальные	1,2	4,2	3,7	1,6	2,2	2,2	4,2	3,2
Наклонные	3,6	5,1	3,6	6,7	6,8	6,3	6,3	5,8
Разрушающиеся	77,0 %	72,2 %	52,2 %	82,4 %	65,2 %	68,8 %	68,8 %	66,9 %
Число айсбергов	253	8393	4055	1011	5042	1629	738	21121

В архиве ААНИИ за период с 1958 по 2009 г собраны также данные инструментального обмера айсбергов с судов (около 3100 измерений). Обработка последних позволила получить морфометрические характеристики айсбергов разных форм и, в частности, их средние высоты (h) и длины (L) в разных районах Антарктики (табл. 2). Все предыдущие оценки средних размеров антарктических айсбергов (Назаров, Буйницкий, Шильников, Романов) основаны на данных, подобных представленным во второй таблице. Однако эти оценки нельзя признать корректными, поскольку они получены по выборкам с соотношением между числом айсбергов разных форм, сильно отличающимся от их реально наблюдаемого соотношения (табл. 1). При обмере, как видно из второй таблицы, вклад айсбергов куполообразных, пирамидальных и наклонных форм ока-

Таблица 2

Формы айсбергов	Параметры	0–180° в.д.			180°–0° з.д.				Южный океан
		<60° ю.ш.	60–65° ю.ш.	>65° ю.ш.	<60° ю.ш.	60–65° ю.ш.	65–70° ю.ш.	>70° ю.ш.	
Столообразные	Число	14	203	308	63	44	63	60	755/24%
	h , м	50,4	43,5	43,7	42,9	35,4	39,8	41,5	42,7
	L , м	616	635	1119	1048	1036	754	1155	941
Куполообразные	Число	5	81	185	3	3	20	50	347/11%
	h , м	49,8	48,4	57,6	46,7	55,7	47,7	45,4	52,9
	L , м	309	585	957	191	810	529	941	826
Пирамидальные	Число	46	218	133	29	47	39	41	553/18%
	h , м	64,3	61,3	61,2	59,6	52,3	56,1	61,2	60,3
	L , м	184	186	205	159	170	185	193	188
Наклонные	Число	38	246	256	32	54	40	54	720/23%
	h , м	69,7	61,8	65,8	61,0	51,5	66,4	58,0	62,8
	L , м	310	311	336	257	254	317	316	314
Разрушающиеся	Число	72	232	210	66	64	63	26	733/24%
	h , м	38,2	34,7	37,5	43,9	34,2	33,8	36,0	37,5
	L , м	174	190	226	203	163	142	196	194
Все формы	Число	175	980	1092	193	212	225	231	3108
	h , м	53,2	51,0	52,1	48,8	43,2	46,2	49,1	50,4
	L , м	245	344	625	481	378	386	634	473

Таблица 3

Параметры	0–180° в.д.			180°– 0° з.д.				Южный океан
	<60° ю.ш.	60–65° ю.ш.	>65° ю.ш.	<60° ю.ш.	60–65° ю.ш.	65–70° ю.ш.	>70° ю.ш.	
Высота сред.	41,9	40,9	42,2	45,0	36,4	38,0	40,4	41,2
Длина сред.	251	278	586	272	390	286	549	381

зывается в 4–6 раз больше реального, а доля разрушающихся айсбергов, напротив, существенно (в три раза) занижается.

С учетом сказанного нами были вновь рассчитаны средние размеры антарктических айсбергов по данным о средних размерах айсбергов разных форм (вторая таблица), но впервые с учетом их реального процентного соотношения между собой в разных частях Южного океана (первая таблица). Выполненные расчеты (последняя таблица) дают среднюю высоту айсбергов в Южном океане (41,2 м) на 9 м ниже, а среднюю длину (381 м) на 90 м меньше, чем получилось бы по прежней методике расчетов (50,4 и 473 м). Средняя длина айсбергов резко (в два раза) уменьшается при переходе от прибрежной к мористой зоне (при пересечении антарктической дивергенции), а далее к северу это происходит очень постепенно. Подтверждается вывод А.Романова о весьма слабых изменениях средней высоты айсбергов с удалением от берега. Для уточнения расчетов крайне желательным было бы продолжение наблюдений над числом айсбергов разных форм в будущих рейсах судов ААНИИ.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЙ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА БЕРИНГОВА МОРЯ

Н.М. ВАКУЛЬСКАЯ

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: vakulskaya@poi.dvo.ru

Введение

Берингово море является самым северным морем дальневосточного бассейна. Для эффективного развития района необходимо получение оценок режимных характеристик ледовых условий их пространственно-временной изменчивости, решение проблемы ледовых прогнозов и построение моделей эволюции ледяного покрова. Это возможно только при условии полноты информационного архива характеристик ледового режима Берингова моря в цифровом виде. Изучение временных изменений интегральных показателей ледяного покрова позволяет выявить интегральные тенденции процессов его формирования и разрушения, а рассмотрение их междугодных вариаций – выявить латентные периодичности для крупномасштабных климатических процессов системы атмосфера – ледяной покров – гидросфера. Более естественным способом изучения ледового режима моря является совместное рассмотрение распределений характеристик (усредненных за многолетний период значений сплоченности, толщины и формы льда) моря.

Данные и методы обработки

Основой используемого материала послужили: карты ледовых авиаразведок над Беринговым морем с 1963 по 1996 года; спутниковые снимки ледяного покрова моря с 1996 по 2007 г., получаемые с ИСЗ серий NOAA; гидрометеорологические ежемесячники (ежегодники) по Дальневосточному региону.

Вся имеющаяся информация о состоянии ледяного покрова получаемая в течение определенной декады картировалась и подвергалась предварительному анализу. Обычно в течение декады имеется несколько карт или снимков ледяного покрова. Полученные фрагменты ледовой обстановки осреднялись для данной декады по всему морю. Минимальная дискретность построения карт ледовой обстановки, охватывающих всю акваторию Берингова моря и представляющих практически непрерывный ряд в течение ледового периода, составила одну декаду. Для численного представления полей ледовых характеристик акватория моря разбивалась на ряд сравнительно однородных районов. Использовались осредненные в рамках этих районов значения ледовых элементов, отнесенных к центрам соответствующих районов. Степень детализации сведений о ледовых условиях в данном случае напрямую зависит от размеров элементарных ячеек сетки, которой покрывается акватория моря для снятия значений ледовых характеристик. В прибрежных зонах, наиболее интересных с точки зрения их хозяйственного освоения, площади районов для снятия ледовых характеристик обычно уменьшались. Температурный и ветровой режимы воздуха в центрах выделенных районов задавались их временными распределениями с шагом одни сутки на стандартных надледных горизонтах (2-метровый горизонт для температуры и 10-метровый горизонт для скорости ветры) за период наблюдений – с 1963 по 2007 г. (материал предоставлен проф. В.П. Тунеголовцом).

В результате для Берингова моря была сформирована информационная матрица размерностью $N \times M \times P \times K$, где N – количество лет, M – количество декад ледового периода, P – количество фиксируемых для данного моря ледовых параметров, которые были объединены в архив ледовой информации, K – размерность пространственной сетки для задания параметров ($K = 156$). В каждом выделенном районе фиксировались значения общей сплоченности ледяного покрова, его преобладающей толщины льда (возраста) и преобладающего размера льдин (формы). Численные значения сплоченности, толщины, формы льдин, торосистости льда снимались непосредственно с ледовых карт в условных (баллах) единицах. Период наблюдений, на основе которых был создан массив данных, составил 45 лет (1963–2007 гг.).

Анализ результатов

Для реальных ситуаций важен поиск зависимостей не только между исходными параметрами, но также между их функциями. В рамках крупномасштабной модели эволюции морского ледяного покрова А.Н.Четырбоцкого исследовалась пространственно-временная динамика распределений площадей и объемов льда по его толщинам Берингова моря и рассматривались распределения усредненных за многолетний период среднедекадных значений сплоченности, толщины и формы льда.

Из распределений сплоченности и формы льда видно, что их динамики практически совпадают. По мере роста значений самих характеристик имеет место монотонный рост их СКО, которые затем начинают монотонно убывать. В правой части конфигурации сосредоточены выборочные точки в основном именно зимнего периода эволюции. Действительно, ближе к оконча-

нию формирования покрова и наступлению его зрелого состояния СКО сплоченности и формы льда падает. При этом общее изменение сплоченности и формы льда за весь цикл эволюции в определенной степени удовлетворяет требованиям обратимого процесса, когда осенне-зимнее формирование покрова можно описать в терминах его весеннего разрушения, и наоборот.

Из распределения толщины: значение СКО толщины следует почти линейному закону аргумента и при выходе его на определенный уровень стабилизируется. В отличие от предыдущего случая здесь отсутствует период падения СКО для больших значений аргумента. Указанная ситуация обусловлена непрерывным характером изменения толщины и неоднородной структурой покрова. Отличительной особенностью весеннего разрушения является снижение СКО при уменьшении толщины. Данное обстоятельство связано с тем, что повышение температуры атмосферы сопровождается таянием льда как изнутри, так и с обеих сторон своей поверхности. При этом рост свободной ото льда площади воды, отражательная способность которой существенно ниже поверхности льда, способствует интенсивному прогреву нижележащих толщ воды. Поэтому первыми выбывают тонкие льды, а мощные ледяные массивы не претерпевают столь существенных изменений. Сообразно сказанному, имеют место падение площади покрова и снижение его неоднородности СКО толщины.

Необходимо обратить внимание на низкую вариабельность сплоченности, толщины и формы льда, что соответствует достаточно узкой полосе изменения их значений СКО.

Были выявлены особенности совместных изменений пар характеристик ледяного покрова. Конфигурация выборочных точек указывает на отсутствие значимых корреляций между сплоченностью и толщиной весной, а также между значениями формы и сплоченностью во все периоды. Отмечается широкий разброс сплоченности для толстых льдов $h > 0,3$ весной. При осенне-зимнем формировании покрова изменения сплоченности и толщины следуют линейному закону. Выявлено взаимнооднозначное соответствие толщины и значений формы льда. Отмечается разброс значений форм льда при низких значениях сплоченности во все периоды. Можно допустить, что на образование торосов при агрегации отдельных льдин расходятся достаточно значительные площади.

Заключение

Выявлено взаимнооднозначное соответствие толщины и значений формы льда, а также в осенне-зимний период сплоченности и толщины.

Весь период полного цикла эволюции покрова разделяется на отдельные промежутки. На каждом из них доминирует категория льда только одной из градаций толщин. Отсутствие симметрии в распределениях отдельных толщин в процессах формирования покрова и его разрушения. По полученным результатам в начальный период эволюции площади тонких льдов доминируют над остальными. Картина таяния припая не симметрична картине его формирования: старшие градации толщин переходят в младшие, а площадь тонкого льда в результате таяния выбывает из системы. Продолжительность периода формирования ледяного покрова выше продолжительности его разрушения.

Характер распределения площадей льда и объемов льдов открытого моря подобен характеру распределений площадей льда и объемов льдов припая. Значимые отличия между ними отмечаются только для определенного периода таяния льда весной, когда при распаде припая его обломки выносятся в открытое море и последовательно переходят в категории льда открытого моря. В этот период площади и объемы различных градаций льдов открытого моря растут, а площади и объемы припая соответствующим образом падают.

СЕКЦИЯ «МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ»

ОРГАНИЗАЦИЯ ЦЕНТРА СБОРА БИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ В РАМКАХ ПРОЕКТА МПГ

И.С.СМИРНОВ, Е.П.ВОРОНИНА, А.В.НЕЕЛОВ, А.Л.ЛОБАНОВ

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия. e-mail:smiris@zin.ru

Биологи всегда отставали по вопросам внедрения передовых информационных технологий. Но компьютеризация постепенно охватила и биологические учреждения. Последние годы получили развитие международные проекты по унификации и сбору данных по флоре и фауне (GBIF, Systema Naturae 2000, Species 2000, The Tree of Life, All Species Foundation, FishBase, Fauna Europea и др.), в том числе и по морским (CoML, ArcOD, CAML, WoRMS, ERMS и др.). Но при всем разнообразии существующих проектов и подходов к их реализации, из-за отсутствия квалифицированных специалистов по многим группам животных, появляющиеся в Интернете списки видов часто содержат много ошибок в латинских названиях и другими таксономическими погрешностями: разным пониманием систематического положения таксона, его объема и иерархического уровня. В проекте WoRMS (the World Register of Marine Species) сейчас предпринимается попытка создания сети общения специалистов по систематике морских животных для более эффективного использования опыта ведущих ученых по различным вопросам описания фауны Мирового океана.

Зоологический институт РАН одним из первых учреждений зоологического профиля начал компьютеризацию исследований в России, с конца семидесятых годов прошлого столетия. В 1988 г. была создана Межлабораторная группа, которой было поручено «выяснение объема и состава отдельных таксонов животных СССР, учет их изученности и обеспеченности специалистами, поддержание этих сведений в соответствии с новейшими данными и формированию на основе этих сведений головных разделов машинных банков данных и кадастров».

К настоящему времени завершено несколько проектов по компьютеризации изучения биологического разнообразия («ЗООИНТ», «БИОДИВ», «ЗООДИВ»). Создан достаточно оснащенный информационный центр. Локальная компьютерная сеть Института состоит из трех сегментов, соединенных оптоволоконным кабелем. В ней насчитывается более 200 персональных компьютеров и 10 серверов.

Цель проекта по организации Центра сбора биологических данных состояла в создании технологии сбора, накопления и обмена биологическими данными, полученными по программе МПГ 2007/08, и их интеграции в информационную систему МПГ-Инфо.

Основными задачами работы являлась разработка технологии по управлению биологическими данными в Зоологическом институте РАН - организации-центре сбора этих данных по МПГ 2007/08, формирование Каталога данных по тематике проекта, доступных пользователям, формирование базы данных экспедиционных наблюдений и научных проектов национальной программы МПГ 2007/08 по биологии, регистрация эти данных в базе метаданных и включение их в информационные ресурсы системы МПГ-Инфо.

Основные конструктивные и технологические показатели - осуществление полного цикла сбора, систематизации, хранения, обработки, анализа и интерпретации информации, совместное использование больших массивов данных разных типов, решение широкого круга прикладных задач, разнообразные возможности представления информационной продукции пользователю, интеграция информационных ресурсов в систему МПГ-Инфо.

В настоящее время в разрабатываемую информационную систему включены, в основном, материалы предыдущих исследований биоты Арктики и Антарктики, которые должны быть дополнены материалами работ 2007–2009 гг., в частности данными по биоте залива Прюдс – район станции «Прогресс».

В процессе работ по подпрограмме ЕСИМО ФЦП «Мировой океан» базы исходных данных и базы метаданных будут расширяться путем вовлечения новых источников – неохваченных проектов программы МПГ и других информационных ресурсов. Будут развиты и усовершенствованы методы контроля, обработки, и управления данными. Будет обеспечено формирование полного и высококачественного информационного фонда, аккумулирующего результаты научных исследований МПГ 2007/08, и продолжено информационное обеспечение участников программы МПГ и других пользователей, заинтересованных в информации по полярным районам Земли.

На портале Зоологического института РАН создан сайт по проекту № 7 «Разработка технологии сбора, накопления и обмена данными по биологии и зоологии для применения в крупных

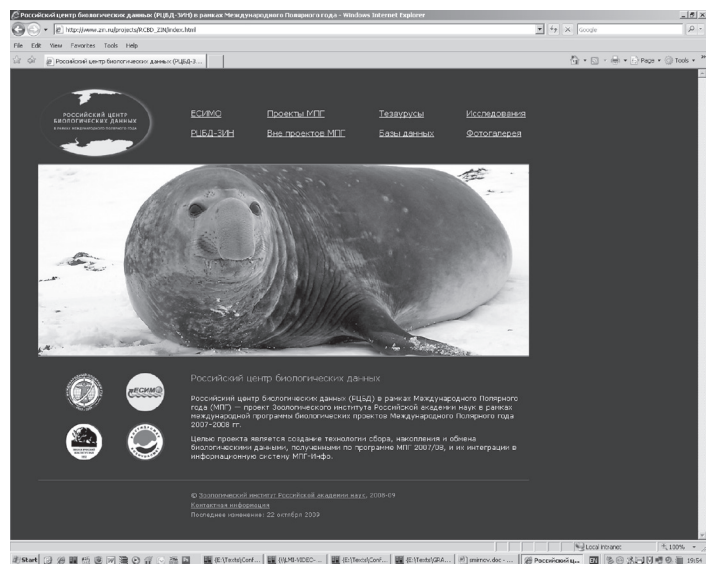


Рис. 1. Скриншот сайта Центра сбора биологических данных МПГ.

научно-исследовательских программах» и № 4 «Развить технологию сбора, накопления и обмена данными по биологии и зоологии, обеспечить формирование тематического раздела информационного фонда МПГ»: Российский центр биологических данных – РЦБД-ЗИН, <http://www.zin.ru/projects/rcbd-zin/index.html> (рис. 1).

Работа осуществлялась и осуществляется при поддержке ФЦП «Мировой океан» проекты «Арктика» и «ЕСИМО».

СОСТОЯНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ЭКОСИСТЕМНОГО МОНИТОРИНГА МОРЕЙ ЗАПАДНОЙ АРКТИКИ

С.Л.ДЖЕНЮК

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия. e-mail: dzhenyuk@mmbi.info

Проблема оптимизации мониторинга морских экосистем Арктики становится особенно актуальной в условиях климатической нестабильности и расширения морской деятельности. При этом преимущественное внимание уделяется развитию системы стационарных и экспедиционных наблюдений, а также дистанционного зондирования, о чем свидетельствуют многочисленные публикации по итогам Международного полярного года. Вместе с тем остаются нерешенными многие задачи комплексирования данных, информационного обмена, эффективного использования информационных ресурсов.

Мониторинг морских экосистем должен обеспечить поступление потока информации о показателях океанологического режима, биопродуктивности, видового разнообразия, состояния популяций промысловых и охраняемых видов, источниках и уровнях загрязнения морской среды, морской деятельности на акваториях и побережьях. Критерием эффективности мониторинга следует считать возможность формирования временных рядов информативных показателей, позволяющих выделить многолетние тренды на фоне сезонной, суточной и приливной динамики.

При анализе мониторинговых данных целесообразно разграничить три пространственных уровня: Северный Ледовитый океан в целом; моря арктического шельфа и их водосборные бассейны; прибрежные участки с интенсивным хозяйственным использованием или охранными режимами. Мониторинг океана проводится с целью выявления климатических тенденций, прямо или опосредованно воздействующих на все звенья экосистем. Его основными объектами являются ледяной покров, структура и динамика водных масс. Мониторинг шельфовых морей должен обеспечивать комплексный сбор данных обо всех абиотических и биотических составляющих морских экосистем, а также источниках воздействия на них. Организация тематических подсистем мониторинга этого уровня зависит от степени изученности тех или иных объектов: в одних случаях необходим сбор первичных данных для оценок фонового состояния экосистемы, в других — достаточно отслеживать возникновение аномалий, нарушающих структуру и динамику экосистемы. Для прибрежных районов необходимы специализированные наблюдения, позволяющие выявить микроклиматические различия и особенности текущей природной обстановки (аномалии термохалинных условий, ледовые процессы, речной сток, загрязнение, изменения состава биоценозов и др.). По результатам мониторинга оценивается устойчивость прибрежной экосистемы, ее соответствие задачам хозяйственной деятельности и охраны природы.

Информационная система мониторинга формируется на основе научно-методических разработок ММБИ и институтов-партнеров, которые частично апробированы на Баренцевом море и южных морях России. В качестве информационных ресурсов используются данные дистанционного зондирования (ледяной покров, показатели первичной продукции), глубоководных гидрологических и гидробиологических съемок, попутных судовых наблюдений (гидрологические и ледовые измерения, отбор проб на загрязнение и анализ планктонных сообществ, визуальные учеты морских птиц и млекопитающих). Для сбора данных в прибрежной зоне, наряду с наблюдениями морских гидрометеостанций и биологических стационаров, используются автономные буйковые станции, позволяющие получать океанологические параметры в режиме реального времени (осенью 2009 г. такая длительная постановка была выполнена в губе Дальнезеленецкая на Кольском полуострове).

Дефицит оперативно поступающей информации восполняется климатическими данными, полученными из опубликованных источников, а также баз океанографических и биологических данных по морям Западной Арктики, созданных по результатам совместных проектов ММБИ и Национального центра океанографических данных США. На текущем этапе исследований, выполняемых в составе ФЦП «Мировой океан», специалистами ЮНЦ РАН разработаны прототипы региональных эколого-информационных систем «Баренцево море» и «Белое море», включающие картографическое обеспечение на основе ArcGIS Desktop 9.3, программы для работы с ресурсами Интернета, базы данных по океанографии, метеорологическому режиму и речному стоку, а также программное обеспечение для моделирования океанологических процессов.

Исследования и прикладные разработки в этом направлении должны заканчиваться созданием научно-технической продукции мониторинга. Завершенный мониторинговый проект должен оцениваться по совокупности технологий и организационных решений, гарантирующих получение в обозримом будущем непрерывно обновляемых информативных показателей состояния

экосистем. Эта задача еще далека от решения, особенно в области морских биологических исследований. Существующие наборы данных содержат очень малую долю потенциально необходимой информации, слабо упорядочены в пространстве и времени, поступают к потребителям с большим опозданием. Полезным практическим решением было бы создание биогеографического кадастра, содержащего комплексные описания биоценозов на выделенных участках акваторий и побережий. Очевидно, что пространственное разрешение может быть минимальным в областях однородных водных масс и больших глубин, должно повышаться в зонах стационарных фронтов и контрастного рельефа дна и достигать максимума в заливах и устьевых зонах. Ведение кадастра позволяет объединить исследовательские программы (пополнение и обновление базовых данных о видовом разнообразии, продуктивности, жизненных циклах биоценозов) и задачи мониторинга (контроль текущего состояния морских экосистем).

Недостаточно разработанным направлением представляется экономическое обоснование мониторинга. Оно должно основываться на оценках стоимости создания и обслуживания технической базы, выявлении областей применения данных, расчетах стоимости управленческих решений в каждой из них в зависимости от полноты и достоверности информации. Необходимо также заранее определить правовой режим подсистем мониторинга – разделение общедоступных и коммерческих данных, установление интеллектуальной собственности на определенные виды научно-технической продукции.

ГНЕЗДОВОЙ АРЕАЛ БЕЛОЙ ЧАЙКИ *PAGOPHILA EBURNEA* В РОССИИ И МОРСКИЕ ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ

М.В. ГАВРИЛО, В.М. СМОЛЯНИЦКИЙ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: m_gavrilo@mail.ru, vms@aari.ru

Белая чайка *Pagophila eburnea* — высокоарктический узкоареальный вид. Гнездовой ареал белой чайки сосредоточен на высокоширотных островах приатлантического сектора Арктики (восточная граница доходит до 107° в.д., о. Малый Таймыр в море Лаптевых). В России белая чайка гнездится на о. Виктория, Земле Франца-Иосифа, Северной Земле и островах Карского моря, возможно, эпизодически на севере Новой Земли. В пределах ареала колонии довольно редки и распределены спорадично (с учетом исторических данных с территории России достоверно известно всего 51 место гнездования, Гаврило, 2009). На севере видовой ареал ограничен распространением суши (81° 50' с.ш., мыс Флигели на Земле Франца-Иосифа, самый северный участок суши Евразии). Самая южная точка гнездования в российском ареале лежит на 75° 55' с.ш. (о. Тройной в Карском море).

Характерной особенностью морских птиц является их сильная зависимость от морских местообитаний, с суши эта группа связана преимущественно в период гнездования. Как и прочих морских колониальных птиц, выбор гнездовых местообитаний у белой чайки определяется сочетанием благоприятных защитных свойств биотопов и наличием гарантированной кормовой базы в пределах энергетически оправданных кормовых полетов. В арктических морях особую роль в жизни биоты играют ледовые условия. Белая чайка — характерный пагофильный вид, весь годовой цикл которого проходит среди льдов. Основа диеты белых чаек — криофильные беспозвоночные и рыба (преимущественно сайка), которых птицы добывают среди льдов. Одна из особенностей кормодобывательного поведения вида — избегание посадки на воду и плавания; добычу в море чайки ловят или передвигаясь по льдам, или с лета, зависая над водой.

Гнездится белая чайка в зоне полярных пустынь, в Российской части ареала преимущественно в равнинных перигляциальных ландшафтах крупных остров или на небольших островках, окруженных в летний период ледовитыми водами, реже на скалах-нунатаках и скальных обрывах речных и морских берегов. Характер растительности на местах гнездования роли практически не играет. Расстояние до берега моря также не критично, может гнездиться на удалении многих километров от берега моря. На крупных островах обязательно присутствие ледников, а на маленьких островках — наличие морских льдов вокруг в летние месяцы.

Если в выборе наземных гнездовых биотопов белая чайка весьма пластична (Гаврило, 2010, в печати), в то же время, по характеру распределения в море она типичный стенобионт, и встречается практически исключительно в зоне дрейфующих льдов, предпочитая более продуктивные прикромочные зоны.

Поскольку необходимым свойством кормовых биотопов белой чайки является наличие морского льда, ледовые условия морской акватории в радиусе 100–200 км от колонии являются важным абиотическим фактором, влияющим на выбор места гнездования. Мы полагаем, что южная граница гнездового ареала вида может определяться летним ледовым режимом акватории. Роль ледового режима как лимитирующего фактора должна проявляться особенно отчетливо в тех частях ареала, где летняя кромка льдов проходит через районы, потенциально пригодные для гнездования вида. К таким районам в российской части ареала относится, в первую очередь, Карское море, в зарубежной Арктике, например, восточное побережье Гренландии.

В работе проанализированы статистические характеристики некоторых экологически значимых элементов ледового режима морей Баренцева, Карского и Лаптевых в период гнездования (июнь — сентябрь), включая положение ледовой кромки, распределение зон различной сплоченности льда, распространение многолетних льдов, припая и стационарных полыней. Для анализа использованы материалы Мирового центра данных по морскому льду. Натурный материал по гнездовому распространению белой чайки был собран в рамках экспедиционных исследований по российской программе МПГ 2007/08.

Особенности экологии обуславливают сильную зависимость белой чайки от ледовых условий морской акватории и позволяют признать этот вид одним из наиболее уязвимых по отношению к современным климатическим изменениям, в частности, к наблюдаемому в настоящее время потеплению в Арктике. Основная угроза морским местообитаниям вида — потепление климата, сокращение площади дрейфующих льдов, отступление кромки льдов от мест гнездования в летний период, перестройка криопелагической экосистемы. Наблюдения последних 15 лет обнаружили факты, возможно, свидетельствующие о прекращении гнездования белой чайки в неко-

торых точках южной краевой части российского ареала (острова Виктория и Тройной). Пока неясно, носит ли это негнездование устойчивый характер, или это лишь временное явление, связанное неблагоприятными ледовыми условиями в гнездовые сезоны, когда проводились наблюдения. Для ответа на этот вопрос, а также для выяснения механизмов влияния ледовых условий на гнездовую биологию и распространение вида, требуется продолжение мониторинга состояния популяций белой чайки, которые наиболее актуальны в настоящее время, в период быстрых климатических изменений в Арктике.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРУКТУРЕ ПЛАНКТОННЫХ ЭКОСИСТЕМ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

К.Н.КОСОБОКОВА¹, Х.-Ю.ХИРХЕ², Р.Р.ХОПКРОФТ³

¹ – *Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва, Россия. e-mail: xkosobokova@ocean.ru*

² – *Институт морских и полярных исследований им. Альфреда Вегенера, г. Бремерхафен, Германия. e-mail: Hans-Juergen.Hirche@awi.de*

³ – *Университет Аляски, г. Фэрбэнкс, США. e-mail: hopcroft@ims.uaf.edu*

Центральный Арктический бассейн является уникальным природным регионом, где из-за круглогодичного ледового покрова, долгой полярной ночи и низких температур население толщ воды существует в условиях, близких к экстремальным. Нашей задачей являлось изучение современной структуры планктонных сообществ Арктического бассейна, механизмов поддержания разнообразия зоопланктона, а также факторов и процессов, регулирующих его количественное распределение в центральной части Северного ледовитого Океана. Материалы для исследований были получены в экспедиции ледокола «Polarstern» по программе Международного полярного года в 2007 г. в Евразийском и Канадском бассейнах Арктики, а также в 5 экспедициях ледокола «Polarstern» (Германия) в 1993–1998 гг. в Евразийском бассейне и экспедиции ледокола «Healy» (США) в 2005 г. в Канадском бассейне. Пробы зоопланктона были собраны послойно от поверхности до дна замыкающимися сетями Multinet (ячей 150 микрон) в 166 точках с глубинами более 1500 м. Анализ полученных данных показывает, что планктонные сообщества Арктического бассейна формируются в современных условиях за счет двух основных источников: автохтонной (местной) планктонной фауны, способной поддерживать независимые популяции в центральной части Северного Ледовитого океана, и аллохтонных (приносных) популяций, поступающих с течениями из прилежащих океанических районов (Атлантического и Тихого океанов) и арктических морей. Исследование видового состава зоопланктона показало, что все четыре основные глубоководные котловины Арктического бассейна, бассейны Нансена, Амундсена, Макарова и Канадский, имеют сходное по фаунистическому составу население, несмотря на наличие между ними потенциальных зоогеографических барьеров в виде подводных хребтов Ломоносова, Нансена-Гаккеля и Альфа-Менделеева. На фоне однородности фаунистического состава, количественное распределение зоопланктона характеризуется выраженной региональной неравномерностью. Обнаружена зона повышенной биомассы зоопланктона в области континентального склона Евразии от Баренцева до Восточно-Сибирского моря, тенденция к снижению количества зоопланктона в пределах этой зоны с запада на восток, а также снижение биомассы от континентального склона к центрам глубоководных котловин. Основными факторами, определяющими такой характер распределения зоопланктона, являются особенности циркуляции Атлантических вод, топография дна, играющая важную роль в формировании этой циркуляции, и интенсивность водообмена с соседними океанами – Атлантическим и Тихим. Роль аллохтонного планктона наиболее велика в Евразийском бассейне. Его приток с атлантическими водами, проникающими в Евразийский бассейн через глубоководный пролив Фрама, обуславливает повышение биомассы в присклоновых областях Евразии. В Канадском бассейне аллохтонный компонент планктона почти не играет роли в создании биомассы, так как атлантическая фауна из-за короткой продолжительности жизни животных отмирает, его не достигнув, а большая часть поступающего в Арктику тихоокеанского планктона задерживается и отмирает на мелководном шельфе Чукотского моря, также не проникая в центральные районы Канадского бассейна. В целом, Канадский бассейн характеризуется вдвое более низкой биомассой зоопланктона по сравнению с Евразийским. На основании полученных данных составлена карта распределения биомассы зоопланктона на рубеже XX и XXI столетий, которая может быть использована в качестве точки отсчета для наблюдений за возможными изменениями в арктических планктонных экосистемах в будущем.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И СКОРОСТИ ЕГО ТРАНСФОРМАЦИИ В МОРСКИХ И ЛЕДОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ВЫСОКИХ ШИРОТ АРКТИКИ

А.И. АГАТОВА, Н.М. ЛАПИНА, Н.И. ТОРГУНОВА

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, Россия.
e-mail: biochem@vniro.ru*

В августе–сентябре 2008 г. в 28 рейсе НЭС «Академик Федоров» в рамках программы МПГ «Арктика-2008» были проведены комплексные биогидрохимические исследования морских и ледовых экосистем Арктического бассейна, основной целью которых являлась оценка запасов органического вещества (ОВ) и интенсивности продукционных и деструкционных процессов в этих экосистемах. Эти исследования включали в себя изучение пространственного распределения растворенного и взвешенного органического углерода (С_{орг}), минеральных и органических форм азота и фосфора, основных биохимических компонентов ОВ (белки, липиды, углеводы), концентрацию каротиноидов и форм хлорофиллов «а», «ф», «с», определение скоростей процессов гидролитического и окислительно-восстановительного разложения ОВ, вплоть до полной минерализации его до простых окислов.

Для исследованного района российской части Арктического бассейна в августе – сентябре 2008 г. была характерна большая изменчивость концентраций растворенного и взвешенного ОВ и его элементного и биохимического состава, как по горизонтали, так и по вертикали. Предел значений концентраций для растворенного С_{орг.} составлял 51,6–434 мкМ, а взвешенного 2,2–18,6 мкМ; для N_{орг.} – в пределах 1,9–30,2 мкМ; для P_{орг.} – в пределах 0,08–1,53 мкМ. Максимальные значения характерны для шельфа российской Арктики. Анализ собственных и литературных данных показал, что за прошедшие 12 лет произошло значительное накопление ОВ в Арктическом бассейне в основном в его растворенной форме. В глубоководной зоне Арктического бассейна между 80° с.ш. и 83° с.ш. в фотическом слое западного сектора российской Арктики концентрации С_{орг}, как растворенного, так и взвешенного, выше, чем в восточном секторе. Основным биохимическим компонентом растворенного ОВ во всех водах, формирующих воды СЛО, являются углеводы и липиды, а взвешенного ОВ – белок и углеводы.

Вертикальное распределение и взвешенных и растворенных биохимических компонентов в исследованных арктических водах очень разнообразно и помимо интенсивности биологических процессов определяется гидрологическими особенностями данного региона, в частности проникновением и смешением вод разного генезиса.

В шельфовых арктических морях России к концу лета, началу осени водная толща обеднена биогенными элементами, которые были использованы фитопланктоном в течение вегетации в процессе синтеза первичного ОВ и преобладают деструкционные процессы. Вследствие этого воды были недонасыщены кислородом, концентрации минеральных форм биогенных элементов находились на низком уровне. При этом зафиксирована значительная биомасса гетеротрофов микро-, нано- и пикоформ, с большой скоростью потребляющая кислород на окисление ОВ по всему столбу воды, на что указывает высокая активность окислительно-восстановительных ферментов ЭТС. В то же время в области материкового склона и глубоководной части Арктического бассейна в начале осени продолжают продукционные процессы, что обусловлено относительно хорошей обеспеченностью фитопланктона минеральными формами биогенных элементов. Активные продукционные процессы здесь приводят и к большим концентрациям растворенного и взвешенного С_{орг} в фотическом слое. Концентрации растворенного С_{орг} в этом слое изменялись в пределах 84,3–335 мкМ, а взвешенного – от 2,66 до 14,72 мкМ. Отмечено, что в водах арктических морей России первичное продуцирование ОВ не лимитировано фосфатами и кремнием, а лимитирующим элементом является минеральный азот и от скорости его регенерации зависит уровень первичной продукции в этих морях. В конце лета, начале осени подавляющая часть биогенных элементов находится в составе их органических соединений. Содержание органического фосфора в фотическом слое составляло 0,7–1,5 мМ (более 50 % от их валового содержания), а органического азота – 10–20 мМ (более 80 % от валового содержания).

Исследование ледовых экосистем показало, что они являются активными поставщиками первичнопродуцируемого органического вещества в воды Арктического бассейна. В пробах ледовых структур содержались в несколько раз большие количества органических форм азота и фосфора и всех биохимических компонентов, а также фотосинтетических пигментов, чем в окружающих водах Северного Ледовитого океана (СЛО).

На поверхности раздела фаз (вода–лед) происходит активизация всех биологических процессов, по сравнению с толщей льда и поверхностными водами, что проявляется в значительном увеличении скоростей деструкционных процессов исходя из активностей как гидролитических, так и окислительно-восстановительных ферментов.

Большие климатические и ледовые изменения в Арктическом бассейне за последние десять лет, привели не только к увеличению содержания ОВ в его водах, но и к интенсификации продукционно-деструкционных процессов и к увеличению вертикальных потоков ОВ из фотического слоя ко дну.

ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В СНЕЖНО-ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ В АРКТИКЕ И АНТАРКТИКЕ

И.А. НЕМИРОВСКАЯ, Н.Г. ЧЕРНЯВСКИЙ, В.А. АРТЕМЬЕВ

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия. e-mail: nemir@ocean.ru

Обобщены данные, полученные в рамках Международного полярного года по изучению природных и антропогенных органических соединений (ОС): $C_{\text{орг}}$, липидов, углеводов (УВ), хлорофилла в сопоставлении с содержанием взвеси в Арктике и Антарктике. Цель исследования — установить особенности распределения ОС в импактных районах подверженных антропогенному влиянию (Белое море) и в фоновых акваториях (северная часть Баренцева моря, СЛО, поднятие Менделеева и прибрежные районы Антарктики). Эти работы становятся особенно актуальными в последнее время в связи с добычей и транспортировкой углеводородного топлива в прибрежных арктических районах.

Установлено, что флуктуация атмосферных поступлений продуктов горения определяет содержание и состав загрязняющих веществ в снеге, особенно это относится к полициклическим ароматическим углеводородам (ПАУ). В устьевой зоне р. Северной Двины в районе г. Архангельска концентрирование ОС наблюдалось в снеге и верхней части льдов (рис. 1а). Маркеры в составе УВ указывали на свежее загрязнение нефтью и продуктами горения. С удалением от источников эмиссии в снежно-ледяном покрове доминируют природные соединения. На основании изучения УВ в снежно-ледяном покрове Белого моря, была сделана попытка оценить количественно вклад УВ в процессы современного седиментогенеза. Оказалось, что с ледовым стоком в Белое море попадает 9,5 т АУВ. Эта величина (с учетом площади моря и толщины ледового слоя, в среднем 0,5 м) сопоставима в сравнении с ледовым стоком УВ во взвеси в целом для высокоширотных районов Мирового океана, который оценивается величиной 880 тыс. т.

Напротив, в фоновых акваториях концентрации взвеси, $C_{\text{орг}}$ и УВ увеличивались к границе лед — вода (для АУВ в 1,5–15 раз по сравнению с подледной водой, рис. 1б), что является типичным как для припайных, так и паковых льдов в Арктике и Антарктике. Показано, что лед не только транспортирует различные соединения, но в нем происходит их образование и трансформация, наиболее интенсивная в барьерных зонах снег—лед и лед—вода, синхронное с увеличением взвеси. Эти зоны (особенно вода—лед) даже при низких температурах остаются активной биогеохимической средой. Высокая слоистость и пористость льдов создают условия для аккумуляции здесь не только планктонных организмов, но и ОС во взвешенной форме, в том числе УВ.

В снеге, собранном на припайных льдах Антарктиды и в самих льдах, содержание взвеси и ОС во взвеси оказалось ниже, чем в Арктике. Антарктида закрыта ледовым щитом и собственных аэрозолей практически не дает.

Содержание аэрозоля зависит от интенсивности циклонической деятельности у побережья Антарктиды (выдувание со свободной ото льда поверхности моря и из естественных горных пород на суше). Исключение представляет район моря Содружества (залив Прюдс) и район оазиса Ширмаера (станция Новолазаревская), где летом на горах отсутствует снег, и происходит ин-

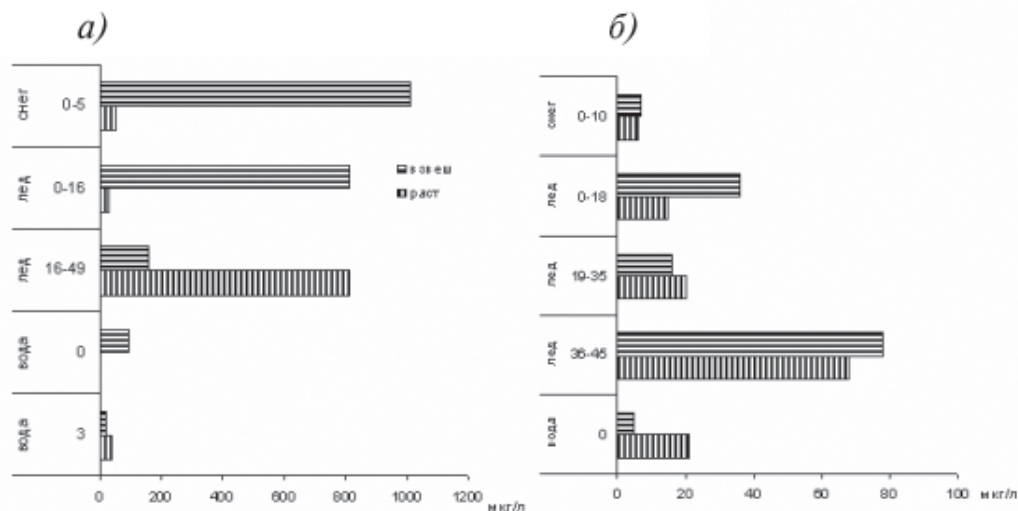


Рис. 1. Распределение алифатических углеводов во взвешенной и растворенной формах в припайных льдах в устье Северной Двины (а) и Антарктики в море Дейвиса (б).

тенсивное выдувание взвешенных частиц, количество которых в приводном слое атмосферы увеличивалось в 4–5 раз.

В прибрежных районах Антарктики провели изучение ОС во всех стадиях роста припайного льда. Максимальное концентрирование ОС происходит в снежуре: $C_{\text{орг.}}$ в 7,5, липидов в 2,8, АУВ в 3,8 и взвеси в 6,2 раза; отношение взвешенных к растворенным формам для алифатических УВ АУВ: $AUV_{\text{в}}/AUV_{\text{р}} = 2,25$; Лв/Лр (липидов) = 2,30. Наиболее высокие концентрации ОС, превышающие в 10–20 раз величины, определенные в морских и озерных льдах Антарктиды, установлены в районе колоний пингвинов (припайный лед острова Буромского, озеро на острове Хасуэлл, озеро Степпед). В толще льдов происходит резкое изменение их форм миграции от слоя к слою. Максимум концентраций приурочен не к нижнему коричнево-зеленому слою, обогащенному водорослями, а к поверхностному, содержащему экскременты пингвинов (до 100 мкг/л для АУВ, что в 10 раз выше, по сравнению с фоновыми концентрациями), при этом наряду с АУВ происходит рост содержания низкомолекулярных полиаренов.

Таким образом, увеличение концентраций различных соединений в Арктике в снеге и в верхних слоях льда, как правило, происходит из-за загрязнения атмосферы, в Антарктике — из-за образования взвеси и ОС на границе снег–лед (образования инфильтрационного льда при его погружении в воду при сильном снегопаде). Поэтому снежный покров выступает в качестве «планшета», который концентрирует «свежее» загрязнение не только атмосферных осадков и воздуха, но и последующего загрязнения льда и вод, т.е. снежный покров обладает свойствами, делающих его удобным индикатором состояния экосистемы.

В Антарктике во льдах доминировали автохтонные, а в Арктике аллохтонные алканы, т.е. антарктический снежно-ледяной покров по составу кардинально отличается от арктического. Фитопланктон и морские организмы вносят заметный вклад в формирование состава ОС ледяной взвеси. При этом, наряду с АУВ, которые синтезируются фитопланктоном, происходит образование ПАУ, и не только на границе лед–вода, как это наблюдалось в многолетних арктических льдах, но и в слое снег–лед. Считается, что ПАУ образуются, в основном, при горении различных видов топлива, и при медленной (миллионы лет) ароматизации в геохимических процессах таких распространенных в природе соединений, как стеролы и тритерпены. Обнаружение ПАУ не только в паковых, но и в сезонных льдах свидетельствуют о том, что их образование протекает достаточно быстро даже в условиях высоких широт.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 08-05-00094а; гранта Президента РФ (НШ-2236.2006.5); проекта «Наночастицы во внутренних и внешних сферах Земли».

СОСТАВ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В СНЕЖНО-ЛЕДОВОМ ПОКРОВЕ В ОКОЛОПОЛЮСНОМ РАЙОНЕ АРКТИКИ В АПРЕЛЕ 2008 Г.

А.Н.НОВИГАТСКИЙ, В.П.ШЕВЧЕНКО, И.А.МЕЛЬНИКОВ

Институт океанологии им. П.П.Шуринова РАН, г. Москва, Россия. e-mail: novigatsky@gmail.com

В настоящей работе представлены материалы, собранные в рамках Международного полярного года в экспедиции Института океанологии РАН в околополюсный район Арктики в апреле 2008 г. (Панарктическая ледовая дрейфующая экспедиция (ПАЛЭКС, <http://paicex.ocean.ru>).

Целью настоящей работы являлось изучение современных процессов ледовой седиментации в центральной части Арктического бассейна. Нами были выполнены геохимические исследования, где изучалась литология и геохимия снега, морских льдов, подледной воды и подледных потоков осадочного материала, включая тяжелые металлы, органические и другие виды загрязнений. Были выполнены следующие виды анализов: инструментальный нейтронно-активационный (ГЕОХИ РАН), атомно-абсорбционный (ИО РАН), фотометрический (ИО РАН). Растворенные и взвешенные формы органического углерода определяли с помощью анализатора общего органического углерода ТОС-V sph (ИО РАН), визуализацию осадочного материала выполняли с помощью электронного микроскопа JSM-U3 (ИО РАН).

Концентрация нерастворимых частиц в снежном покрове в районе работ составила от 0,21 до 0,37 мг/л (средняя концентрация 0,29 мг/л), что соответствует фоновому состоянию снежного покрова центральной части Арктики и хорошо сопоставима с нашими многолетними работами в этом районе.

Всего на полигоне было отобрано четыре точки с интегральным отбором кернов льда (4–5 кернов льда в одной точке). В ледовом покрове концентрация нерастворимых частиц невысокая и варьировала от 0,12 до 0,36 мг/л (средняя концентрация 0,23 мг/л), что характерно, во-первых, для зимнего периода, где фотосинтезирующие организмы подавлены отсутствием света. Во-вторых, такие низкие концентрации характерны для одно-двухлетних льдов формирующихся в центральных частях Арктического бассейна. Поскольку многолетний лед аккумулирует достаточно большие концентрации нерастворимых частиц в своей толще, а формирующийся и постепенно растущий лед в шельфовых областях, подверженных влиянию речного стока и абразией берегов, а так же интенсивному взмучиванию донных осадков при штормах, захватывает значительно большее количество осадочного материала.

Что касается распределения нерастворимых частиц, то в целом, можно выделить две зоны аккумуляции осадочного материала – в кровле ледового поля, где накапливаются нерастворимые частицы, в основном, принесенные снегом. Вторая зона выделяется в подошве льда, где новообразованный лед захватывает взвешенное вещество из подледной воды, поскольку водная взвесь является ядрами кристаллизации внутриводного льда.

Все пробы подледной воды характеризуются высокими концентрациями взвеси, по отношению к снегу и льду, от 0,45 до 0,73 мг/л (средняя концентрация 0,62 мг/л), что вполне закономерно, поскольку именно в пограничной зоне лед-вода наблюдается повышенная активность фито- и зоопланктона.

Среднее содержание Si в пробах снежно-ледового покрова околополюсного района в апреле 2008 г. были: в снеге 3,9 %, во льду 5,3 %, в воде 1,8 %, а среднее содержание Al: в снеге 1,7 %, во льду 1,8 %, в воде 1,2 %. Используя Al в качестве индикатора терригенного вещества и приняв среднее содержание его в земной коре 8,2 %, мы определили содержание терригенной компоненты в снежно-ледовом покрове околополюсного района. Для снега оно равно в среднем 20 %, в среднем для льда – 25 %, т.е. на биогенную часть для снега приходится 80 %, а для льда, в среднем – 75 %. Это подтверждается как результатами микроскопических исследований, так и химическими определениями $C_{орг}$ и ОВ.

Среднее значение отношения Si/Al в снежно-ледовом покрове 3,2, что практически соответствует значениям этого отношения для земной коры 3,42, тонкой фракции (1–5 мкм) поверхностных почв Республики Коми 3,22 и континентальных глин 3,06. Близость значений отношений Si/Al в снежно-ледовом покрове околополюсного района и в поверхностном слое почв северо-востока европейской части России является одним из свидетельств того, что почвы севера Евразии могут являться важным источником терригенной составляющей снежно-ледового покрова Центральной Арктики.

Для оценки роли различных источников в формировании состава снежно-ледового покрова были рассчитаны коэффициенты обогащения проб снега и льда элементами относительно среднего состава земной коры. Для каждого элемента коэффициент обогащения (КО) рассчитывали по формуле:

$$КО = (\text{эл./Al})_{\text{проба}} / (\text{эл./Al})_{\text{земн. кора}},$$

где эл. и Al – концентрации интересующего нас элемента и алюминия в пробе и в земной коре соответственно. По значениям КО рассматриваемые элементы могут быть разделены на 2 группы:

1. Коровые (типичные для земной коры) – Na, Mg, Al, K, Ca, Sc, Mn, Fe, Co, Ni, As, Rb, Cs, Ba, PЗ (редкоземельные элементы), Hf, Ta, Th, U ($КО < 10$).
2. Антропогенные – Cr, Cu, Zn, Se, Br, Ag, Cd, Sb, W, Au, Pb ($КО > 10$).

В нашем случае, для снега характерны повышенные значения для Ba и Sr, эти элементы активно сорбируются в органическом веществе, а поскольку в снеге его содержание порядка 70 %, то высокие значения этих элементов не удивительны. Повышенное значение Na характерно для всех проб, что связано с влиянием солевого состава морской воды. Для всех сред характерны высокие содержания Se, в предыдущих исследованиях показано, что природный и антропогенный источник селена в аэрозолях Арктики примерно равны по значимости. Наиболее существенным природным процессом поставки селена в атмосферу, а так же в снежно-ледовый покров Арктики, является образование органических соединений в результате жизнедеятельности фитопланктона, когда биохимическое поведение селена близко к поведению серы. Этот фактор, на наш взгляд, является наиболее вероятным для исследуемого снежно-ледового покрова, поскольку значение биогенной составляющей во всех средах превышает 50 %. Антропогенными источниками селена являются: сжигание угля, нефтепродуктов, древесины и деятельность горнодобывающей и металлургической промышленности, особенно выплавка меди. Поэтому значительное обогащение аэрозолей Арктики селеном служит одним из надежных индикаторов того, что источником загрязненных аэрозолей являются медно-никелевые комбинаты. В ледовом покрове обогащение такими элементами как Eu, Yb, Na, Ca, Sr, Ba, Cr, Co, Th, U связано преимущественно с морским происхождением, поскольку морская соль обогащена многими микроэлементами.

Настоящий проект выполнен при финансовой и логистической поддержке НО «Полярный Фонд», Экспедиционного центра «Полюс», Ассоциации Полярников России, Сводной Группы «Газпромавиа» и АК «Таймыр». Обработка материалов осуществлялась при поддержке РФФИ (гранты 09-05-06029, 07-05-00691), Программы 17 фундаментальных исследований Президиума РАН (проект 17.1) и гранта поддержки ведущих научных школ № НШ-361.2008.5.

ЭОЛОВЫЙ И ЛЕДОВЫЙ ПЕРЕНОС ВЕЩЕСТВА В АРКТИКЕ

Н.В.ГОРЮНОВА, В.П.ШЕВЧЕНКО

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва, Россия. e-mail: goryunova@inbox.ru

Атмосфера и гидросфера – два канала, по которым осуществляется перенос вещества из средних широт в Арктику.

Ветра могут переносить загрязняющие вещества на дальние расстояния, такой перенос называется «дальним». Перенос вещества и химические процессы в нем связаны с широтой и с периодом полярной ночи в течение зимнего периода. Именно в зимний период, отличающий Арктику от других зон, происходит поставка главных количеств аэрозолей. В это время покрыт снегами и льдами весь питающий бассейн аэрозолей на берегах Европы, Азии и Северной Америки, а также поверхность морей.

Наиболее активный перенос в высокие широты атмосферных примесей антропогенного и естественного происхождения будет иметь место при меридиональных потоках. В высоких широтах происходит выход аэрозольного материала из верхних слоев атмосферы в зоне глобальной конвергенции (максимум на высотах около 20 км), его смешение с материалом тропосферы и опускание в приземные слои с развитой облачностью. Далее этот материал опускается на поверхность суши и моря. Эоловый материал главным образом со снегом выпадает на поверхность льда.

Снег является так называемой «ловушкой» – вымывает из атмосферы твердые (аэрозоли) и растворенные вещества (влагу и все виды загрязнений). В отличие от дождя, который уходит в почву или стекает с поверхности льдов, снег сохраняется на поверхности почвы и дрейфующих льдов, таким образом, фиксируя все атмосферные выпадения за снежный период года. Летом снег тает и превращается в воду снежниц, скапливается в понижениях их дна, а осенью вмораживается в лед.

Лед становится главной транспортной системой, обеспечивающей перенос вещества на поверхности океана на многие сотни и тысячи километров, являясь важнейшим источником растворенного взвешенного вещества.

Стоит отметить, что выделяются две составляющие компоненты вещества, поступающего в Арктику: природная и антропогенная. Экоотоксиканты выделяются не только в растворенной части осадков – в дожде, но и в твердой, такой как аэрозоли или арктическая дымка, в качестве самостоятельных взвешенных частиц в воздухе.

В работе рассмотрены пробы, отобранные в более чем 20 арктических экспедициях: в море Бофорта, море Лаптевых, Восточно-Сибирское, Карское, Белое и Баренцево моря, в центральную Арктику, также пробы отбирались в окрестностях поселка Лонгиир и рудника Баренцбург, архипелаг Шпицберген.

Вещество, переносимое в Арктику, рассматривается в системе: атмосфера (аэрозоли) – снег – лед (криозоли) – подледная вода.

Авторы благодарят сотрудников лаборатории физико-геологических исследований (ИО РАН, г. Москва) за помощь в проведении анализов, авторы признательны академику А.П.Лисицыну за ценные советы и замечания, также авторы выражают благодарность коллегам из ААНИИ (Санкт-Петербург). Огромное спасибо всем, кто оказывал помощь в экспедиционных исследованиях и лабораторной обработке материалов. Работа выполнена при финансовой поддержке программы CFL System Study, NorthPOP, NABOS, Программы фундаментальных исследований № 16, часть 2 «Природные процессы в полярных областях Земли и их вероятное развитие в ближайшие десятилетия», русско-германской лаборатории имени Отто Шмидта, проекта «Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли», РФФИ.

ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В РОССИЙСКИХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ

Г.В.ИЛЬИН

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия. e-mail: ilyin@mmbi.info

Поступление загрязняющих веществ в окраинные арктические моря определяется процессами глобального перераспределения вещества и энергии и мало зависит от локальных источников в соответствие слабому хозяйственному освоению прибрежных территорий. Однако пространственные закономерности накопления поступающих поллютантов в компонентах морской среды определяется региональными гидрологическими и геоморфологическими особенностями морских водоемов.

На акваториях арктических морей, за исключением Баренцева и Белого морей, хозяйственная деятельность невелика. В этих условиях основными источниками техногенных поллютантов являются пресноводный сток с территории водосбора и трансграничный перенос загрязняющих веществ морскими течениями и воздушными потоками. Но эти источники имеют для каждого из арктических морей различную значимость, изменяющуюся в зависимости от географических условий морского региона.

Реальным источником загрязнения и значимым источником риска нефтяного загрязнения морей становится транспортировка нефти по Северному морскому пути.

В Баренцево море попадает больше техногенных ЗВ, чем в другие моря российской Арктики. Ареалами концентрации антропогенных загрязнителей становятся участки фронтальных зон на акваториях моря и пониженные формы донного рельефа, заливы, хозяйственно используемые губы. Для Баренцева моря существенна роль атмосферного переноса поллютантов. Атмосферные выбросы региональных источников: комбинатов «Североникель» и «Печенганикель», ОАО «Апатит», ТЭЦ, обогащены металлами: Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Hg и бенз(а)пиреном. Речной сток является естественным источником повышенной концентрации металлов в локальных ареалах прибрежья.

В распространении ПАУ основная роль принадлежит атмосферным выпадениям и морским течениям. Доминируют пиролитические ПАУ. В комплексе пестицидов распространены метаболиты ДДТ и ГХЦГ. Аккумуляция хлорорганических соединений, нефтепродуктов, ПАУ происходит в локальных участках прибрежной зоны Западного Мурмана, в Кольском и Мотовском заливах. В прибрежье, доминируют двухядерные и многоядерные ПАУ как результат долговременного антропогенного пресса.

В Белом море распространение ЗВ происходит со стоковыми течениями из заливов, принимающих стоки крупных рек. Зонами аккумуляции поллютантов являются Двинской и Кандакшский заливы, центральная область морского бассейна с замкнутой системой циркуляции вод. Накапливаются нефтепродукты, ХОС и фенолы. Частично ЗВ выносятся в из беломорского бассейна в Печорское море.

В Карском море адвекция и распространение НУ и ПАУ, происходит с атлантическими водами и с водами обь-енисейского стока. Ареалы повышенного накопления парафинов в осадках формируются в зоне распространения атлантических вод и в центральной части моря, в области локализации нефтегазовых месторождений. Техногенные ПАУ, ДДТ, ГХЦГ, ПХБ в большей степени накапливаются в области распространения речных вод.

В море Лаптевых зоной аккумуляции техногенных ЗВ является южная шельфовая часть моря, в устьевых областях рек Лена и Анабар, где отмечаются повышенные концентрации тяжелых металлов, нефтепродуктов, метаболитов ДДТ и ГХЦГ. Повышенные концентрацией НУ и ПАУ отмечаются также в осадках материкового склона и подножия. Формирование повышенной концентрации вызвано смешением речного стока с атлантическими водами в зоне шельфового гидрофронта и сползанием образующихся взвесей к материковому подножию.

Современный уровень изученности не позволяет с достоверностью дифференцированно оценить с балансовой точностью роль трансграничного переноса и местных источников загрязняющих веществ в окраинных бассейнах российской Арктики. Тем не менее, можно отметить снижение объемов ЗВ, поступающих по глобальной системе морских течений в направлении с запада на восток. Местные источники загрязнений, сосредоточенные на побережьях морей и в водосборных бассейнах оказывают, в основном, локальное воздействие в пределах ареалов распространения поверхностных вод в прибрежной зоне. Роль речного стока, как источника поллютантов более выражена в морях восточного сектора российской Арктики вследствие обширности водосборных территорий и объема годового стока, по сравнению со стоком рек западного сектора

арктического побережья (Баренцево море). Однако слабое развитие промышленно-хозяйственных комплексов серных территорий определяет в целом низкий уровень антропогенного загрязнения Российского сектора Арктики.

В морях Карском и Лаптевых наиболее значима роль речного стока, тогда как в Баренцевом и Белом морях весьма существенна роль морских течений в транспорте загрязнителей извне.

Для всех российских арктических морей очевидна главенствующая роль атмосферных выпадений и трансокеанических течений как источника стойких хлорорганических соединений в открытом море, особенно пестицидов группы ДДТ и ГХЦГ, что отчетливо прослеживается на примере поступления этих соединений в Баренцево море.

Ареалами концентрации антропогенных загрязнителей становятся участки фронтальных зон, включая локальные прибрежные и эстуарные гидрофронты, пониженные формы донного рельефа, заливы и хозяйственно используемые губы, аккумулирующие материковый и коммунальный стоки. В море Лаптевых особую роль в перераспределении загрязняющих веществ за пределы шельфа играют мутьевые потоки, транспортирующие накопленный осадочный материал по желобам, выработанным на материковом склоне. Такие потоки формируют локальные участки накопления поллютантов в конусах аккумуляции осадочного материала у материкового подножья.

В целом, уровень загрязнения экосистем морей российской Арктики пока очень мал и не угрожает экосистемному здоровью этих водоемов. Однако развитие хозяйственной деятельности в водосборных бассейнах и на акваториях морей, связанной с расширением морской транспортной активности, с добычей и переработкой ископаемых ресурсов требует более глубоко изучения экологического статуса арктических морей и мониторинга уже выявленных антропогенных и природных воздействий, уточнения закономерностей развития экосистем в изменяющихся климатических условиях.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ НЕФТЯНЫМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ

И.А. НЕМИРОВСКАЯ

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва, Россия. e-mail: nemir@ocean.ru

Проведено обобщение имеющихся данных по состоянию нефтяного загрязнения в арктических морях: их источниках (антропогенных, природных, продуктов горения) и масштабов поступления. Показано, что в последние годы наметился устойчивый тренд уменьшения поступлений углеводородов из антропогенных источников за счет снижения сбросов промывочных и балластных вод и аварийных ситуаций. Оценка содержания *n*-алканов (фракция алифатических углеводородов) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в различных звеньях экосистемы Арктики показала, что при их суммарном поступлении 10570 т, основное количество – 79 % (8360 т) поступает при естественном (природном) просачивании углеводородов из осадочной толщи. На долю аварийных разливов приходится менее 6% (640 т), а нефтяной промышленности – 0,9 % (91 т), 2,3 % (243 т) поступает не из промышленных нефтяных источников.

Обсуждается сходство и различие нефтяных углеводородов и углеводородов, существующих в морской среде. Подчеркивается, что распространение нефтяных углеводородов происходит на существующем биогенном фоне, поэтому при оценке нефтяного загрязнения необходимо разделять природную и биогенную составляющие. При таком подходе представляется возможным получить достаточно объективное представление о нефти как о токсическом факторе, а также о реальных и потенциально возможных последствиях нефтяного загрязнения арктических морей России.

Описаны формы миграции нефти в море (нефтяные пленки, эмульсии, нефтяные агрегаты, растворенные, сорбированные взвесью и донными осадками; аккумулярованные водными организмами и т.д.) особенности их поведения, распространения и трансформации при низких температурах. Наиболее серьезные и долговременные экологические нарушения будут возникать в случаях соприкосновения нефтяных разливов с берегом. Подчеркивается, что главная особенность арктических морей, которая радикально меняет всю картину поведения нефти, состоит в наличии снежно-ледяного покрова.

Описаны нефтяные разливы и модельные эксперименты с нефтью при наличии снежно-ледяного покрова. Установлены особенности аккумулярования углеводородов снегом и льдами в импактных и фоновых акваториях Арктики (прибрежные районы Белого моря, северная часть Баренцева моря, СЛО – поднятие Менделеева). Показано, что снежный покров обладает свойствами, делающими его удобным индикатором состояния экосистемы, так как выступает в качестве «планшета», который сорбирует «свежее» загрязнение не только атмосферных осадков и атмосферного воздуха, но и загрязнений, поступающих из воды. Лед, как насос, концентрирует углеводороды из снега и воды. Поэтому увеличение концентраций углеводородов в импактных районах происходит в снеге и в верхней части льдов, а в фоновых районах на границе ледвода. На распределение УВ в толще льда оказывает влияние не столько его возраст, но и условия его образования и дрейф.

Проанализированы уровни углеводородов (содержание и состав алифатических углеводородов и ПАУ) в водах и донных осадках Карского, Баренцева, Белого и др. арктических морей. Установлено, что загрязнения, выносимые реками, оседают в области смешения речных и морских вод (маргинальный фильтр) и не попадают в открытые морские акватории. Показано, что, начиная с 1990 г., не произошло значительных изменений в концентрациях и составе УВ в донных осадках. Региональный уровень незамещенных ПАУ, а в их составе количество пирогенных и нефтяных соединений в донных осадках уменьшается к востоку в последовательности: Баренцево море > Печерское море > Карское море > море Лаптевых. К наиболее загрязненным относятся прибрежные районы Баренцева и Белого морей. При современных уровнях нефтяных углеводородов и наиболее токсичных ПАУ в морских водах биологические эффекты отсутствуют либо проявляются в форме первичных (в основном обратимых) физиолого-биохимических реакций. Нарушения рыбных и других промысловых ресурсов Арктики (снижение запасов и уловов) в результате нефтяных разливов не могут быть различимы на фоне высокой природной смертности, сильной флуктуации популяционных параметров и влияния промысла. Значительные экономические потери и ущербы для рыбного хозяйства в результате аварийных разливов нефти возникают в основном за счет прекращения рыболовства во время разливов и утраты товарных качеств объектов промысла, а также из-за ухудшения условий для выращивания морских организмов в прибрежных районах.

Исходя из результатов многочисленных исследований последствий нефтяных разливов в разных регионах (в том числе в морях Арктики и Субарктики) (Патин, 2009), можно констатировать,

что в зависимости от типа и конкретных условий разливов, масштаб воздействий в прибрежной зоне арктических морей может варьировать от локального до субрегионального. Экологические эффекты будут проявляться в основном в форме обратимых или слабо обратимых стрессов для популяций морских птиц, млекопитающих и донных организмов. Для их восстановления потребуется время от одного сезона до нескольких лет. При разливах пелагического типа (без выноса нефти на берег) какие-либо заметные долговременные последствия для пелагических сообществ практически исключены. Совокупность имеющихся научных данных и наблюдений свидетельствует о том, что в настоящее время нефтяное загрязнение не представляет экологическую угрозу для морской среды и биоресурсов в Арктическом бассейне. Однако более высокие концентрации УВ в звеньях экосистем прибрежных, наиболее судоходных районов, которые отличаются и наибольшей продуктивностью, указывают на необходимость проведения дальнейших наблюдений за состоянием нефтяного загрязнения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 08-05-00094а; гранта Президента РФ (НШ-2236.2006.5); проекта «Наночастицы во внутренних и внешних сферах Земли».

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИВОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

В.В. СТАНОВОЙ, И.А. НЕЕЛОВ, М.Ю. КУЛАКОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: mod@aari.nw.ru

Проведенные в рамках мероприятий МПГ исследования качества вод арктических морей не выявили значительного увеличения концентрации нефтеуглеводородов. Однако, при освоении нефтегазоносных районов шельфа арктических морей и побережья Арктики, к сожалению, не исключена вероятность аварийных разливов сырой нефти вследствие аварий на нефтедобывающих и нефтеналивных комплексах и при авариях танкеров при перевозке нефти.

Разработанная в ААНИИ модель переноса и трансформации нефтяных загрязнений в арктических ледовитых морях OilMARS (Oil Spill Model for the Arctic Seas) (Становой и др., 2007) учитывает перенос и трансформацию нефтяных загрязнений на поверхности моря в результате аварийных длительных/моментальных разливов нефти от неподвижных или движущихся источников, а также распространение обнаруженных на поверхности моря пятен нефтяных загрязнений. В настоящее время модель работает в трехмерном варианте, рассчитывая внутриводное распространение дисперсионного шлейфа и нефти, погружившейся в воду. Модель способна рассчитывать появление и распространение вторичного нефтяного загрязнения на поверхности воды и загрязнение морского дна. Кроме того, модель учитывает влияние сплоченности и дрейфа ледяного покрова на распространение загрязнения, а также попадание нефти на верхнюю поверхность ледяного покрова и под лед в результате сжатия дрейфующего льда. Модель была доработана для работы в оперативном режиме и включения в ООС арктических морей (Становой и др., 2009).

Необходимость разработки и включения в модель блока расчета внутриводного распространения нефтяного загрязнения вызвано тем, что и нефть Приразломного месторождения, и REBCO являются тяжелыми нефтями с большим содержанием асфальтенов и смол и способны образовывать устойчивые эмульсии «вода-в-нефти».

В результате испарения легких фракций и образования эмульсии плотность и вязкость нефти значительно возрастают. При этом достаточно небольшого изменения температуры воды или выноса пятна нефти в зону с меньшей поверхностной плотностью воды (зона влияния речного стока, прикромочная ледовая зона) чтобы нефть оказалась тяжелее воды и начала тонуть. Многочисленные численные эксперименты, проведенные на акваториях Карского и Лаптевых морей, подтверждают это.

Кроме того, внутриводное загрязнение нефтью происходит вследствие вертикальной дисперсии частиц нефти при обрушении ветровых волн и образования шлейфа загрязнения в верхнем слое моря с возможной последующей адсорбцией капель нефти на взвешенных минеральных частицах.

При продолжительных разливах плотность нефти зависит от времени нахождения данного объема нефти (спиллета) на поверхности воды. Благодаря пространственной изменчивости поверхностного поля плотности воды, различные спиллеты могут погружаться в воду когда плотность данного спиллета будет превышать плотность воды на поверхности моря в данной точке. Таким образом, при продолжительном разливе нефти может возникнуть множество очагов внутриводного загрязнения с различной плотностью нефти, которые, в зависимости от положения и мощности пикноклина, будут располагаться на разных глубинах. Под действием течений и турбулентности будет происходить пространственное распространение и перемешивание нефтяного загрязнения, которое может осесть на отмелях и банках, либо, в результате пространственной неоднородности плотности воды, может выйти на поверхность, образуя вторичный очаг загрязнения поверхности моря.

При разработке модельного блока расчета внутриводного распространения нефти был принят ряд допущений и предположений. Предполагается, что спиллет с плотностью, превышающей плотность поверхностного слоя воды, погружается в воду до глубины, где нефть имеет нейтральную плавучесть. При этом, концентрация нефти рассчитывается в зависимости от массы спиллета, его площади на поверхности воды на временном шаге, предшествующем моменту затопления, и толщины слоя воды с плотностью равной плотности нефти. Предполагается, что концентрация нефти и расчет процессов распространения не зависят от состояния нефти в воде (коллоидный раствор, эмульсия, взвешенные капли и т.д.). Предполагается, что нефть, попавшая в воду под действием ветровых волн (эмульсия «нефть-в-воде») имеет плотность равную плотности воды в поверхностном слое в точке, где произошла дисперсия нефти. Предполагается, что плотность и вязкость данной массы нефти не изменяется во времени.

Для расчета распространения нефтяного загрязнения в воде использовалось численное решение трехмерного уравнения адвекции и диффузии для вязкой неконсервативной примеси. Так как плотность и вязкость загрязнения в разных очагах могут быть различны и предполагается, что они остаются неизменными, уравнение адвекции и диффузии одновременно решается для концентрации углеводородов и производений концентрации на плотность и вязкость.

Для решения адвективной части уравнения используется хорошо известная схема коррекции потоков FCT (flux-corrected transport), которая обладает наилучшими свойствами транспортной без искусственной численной вязкости (Kowalik and Murty, 1993). Для расчета коэффициентов горизонтальной турбулентной диффузии используется схема Смагоринского. Для расчета коэффициентов вертикальной турбулентной диффузии используется схема KPP (K-profile parameterization) (Large et al., 1994). При расчетах учитывается наличие на верхней границе расчетной области дрейфующего льда или припая.

Для расчета распространения нефтяного загрязнения в воде генерируется сеточная область с горизонтальным разрешением, зависящим от характерных размеров спиллетов и условий устойчивости расчетной схемы, и с вертикальным разрешением, совпадающим с гидродинамической моделью.

Численные эксперименты проводились для акваторий Карского и Лаптевых морей и Финского залива.

ГЕТЕРОТРОФНЫЙ БАКТЕРИОПЛАНКТОН ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Т.И.ШИРОКОЛОВА, М.П.ВЕНГЕР

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия. e-mail: shirokolobova@mmbi.info

На современном этапе интенсивного освоения шельфовой зоны Баренцева моря необходимость в получении сведений о гетеротрофных бактериях определяется их значительным вкладом в деструкционные процессы органического материала как естественного, так и антропогенного происхождения.

Воды южной части моря, омывающие Кольский полуостров, по наиболее изученным структурным и функциональным показателям общего бактериопланктона классифицируются как мезотрофные с приближением к нижней границе евтрофных вод. Эколого-трофический состав населяющих их микробных сообществ впервые определяли в фазу активной вегетации микропродуцентов. Исследования проводили на 10 станциях в ходе рейса по губам и заливам Кольского п-ова (от 33 до 38° в.д.) на НИС «Дальние Зеленцы» в конце мая – начале июня 2007 г.

Численность жизнеспособной части бактериопланктона устанавливали посевом на предварительно охлажденные среды: «голодный» агар Дифко и сухой питательный агар (СПА). Среды готовили на отстоянной морской воде. Культивирование (25–30 сут.) проводили при температуре 8 ± 2 °С.

В период проведения исследований прибрежные водные массы по гидрологическому режиму подразделялись на две области: прогретую поверхностную со средней соленостью 30,5 ‰ и охлажденную придонную с соленостью 35,1 ‰.

Анализ распределения жизнеспособной составляющей бактериопланктона в акватории Мурманского побережья показал, что как в поверхностном более распресненном (амплитуда температуры и солености 2,6 °С и 12,6 ‰), так и в квазиоднородном придонном (0,6 °С и 1,1 ‰) слое доминирующее положение занимали олиготрофные формы. Число их колониеобразующих единиц (КОЕ), дающих рост на «годовалом» агаре, изменялось от 0,9 до 90 тыс. в поверхностных и от 0,06 до 1,0 тыс./мл в придонных водах (при среднем значении десятки тысяч и сотни в мл, соответственно).

Копиотрофные микроорганизмы, потребляющие ОВ в высоких концентрациях, занимали в бактериопланктонном сообществе подчиненное положение. Их количество, учитываемое на СПА, изменялось от 0,3 до 2,0 тыс. в поверхностном и от 0,03 до 0,4 тыс. КОЕ/мл в придонном слое (при средних значениях соответственно 0,8 и 0,1 тыс. КОЕ/мл).

Количественные показатели исследуемых эколого-трофических групп в поверхностных и придонных водах статистически достоверно различались между собой. Такое разделение бактериальных сообществ возможно вследствие разобщенности процессов поступления и деструкции ОВ по слоям водной толщи.

Максимальные значения численности олиготрофных и копиотрофных бактерий были отмечены в поверхностном слое самых крайних станций обследованной прибрежной акватории. На западе они определялись выносом из Кольского залива повышенных концентраций органического вещества (ОВ) антропогенного происхождения. На востоке – ростом концентрации автотонного ОВ по окончании цветения фитопланктона. О спаде фотосинтетических процессов косвенно свидетельствовали повышенные концентрации кислорода и пониженные показатели биогенов в поверхностных водах восточных станций по сравнению с западными.

Активное цветение, продвигающееся на запад, было вызвано массовым развитием *Phaeocystis pouchetii*. Его скопления, приуроченные к устьям отдельных губ, зафиксированы в пелагиали средней части исследуемой вдольбереговой зоны. Результаты проводимых здесь микробиологических исследований свидетельствовали о резком снижении в поверхностных водах численности эколого-трофических групп бактерий (до тысяч и сотен КОЕ/мл) под влиянием экзометаболитов золотистой водоросли в фазе ее активного развития.

В то же время, на участке 12-мильной зоны, где состояние сообщества первичных продуцентов оценивалось как переходное от зимы к весне, численность представителей эколого-трофических групп бактерий имела минимальные показатели (единицы и десятки КОЕ/мл) и была равномерно распределена по всей водной толще.

Выявленный нами диапазон изменений количественных показателей микробных сообществ в ненарушенных прибрежных экосистемах (за исключением Кольского залива) определяется воспроизводимой год от года сезонной сукцессией микрофитопланктона, а уровень развития жизнеспособных форм гетеротрофного бактериопланктона рассматривается как фоновый при естественном евтрофировании в переходный период от весны к лету.

ИССЛЕДОВАНИЯ БЕНТОСА В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА В 2006–2008 ГГ.

Е.А. ФРОЛОВА, О.С. ЛЮБИНА, О.Ю. АХМЕТЧИНА, Е.А. ГАРБУЛЬ, Д.Р. ДИКАЕВА, О.Л. ЗИМИНА,
О.И. НЕХАЕВ, Н.Н. ПАНТЕЛЕЕВА, А.А. ФРОЛОВ

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия. e-mail: mmbi@mmbi.info

Неоднородность рельефа дна, резкие перепады глубин, сложный гидрологический режим и ледовая обстановка обуславливают большое разнообразие биотопов и условий обитания донных организмов на данной акватории. В целом в районе исследований распространены глинисто–илистые, песчанисто–илистые и песчаные грунты с галькой, камнями и валунами, а в прибрежных мелководных районах – с примесью ракуши. С увеличением глубины характер грунта меняется в сторону преобладания илов. Соленость увеличивается от 33,5 ‰ на мелководьях до 34,9 ‰ на больших глубинах. Водные массы внутри архипелага имеют различное происхождение. Баренцево-морская вода Атлантического происхождения, которая преобладает на глубине 20–150 м движется на северо-восток Баренцева моря (соленость около 34,5 ‰ и температура порядка –1,6... –1,8 °С) входит в архипелаг с юга и с запада. С севера и с востока глубинная атлантическая вода (соленость: 34,8–35,0 ‰, температура 0–2 °С) втекает в Баренцево море из Арктического океана через проливы с глубинами более чем 300 м как придонная вода.

Исследования бентоса в районе архипелага ЗФИ основаны на количественных материалах, собранных научно-исследовательской экспедицией Мурманского морского биологического института с НИС «Дальние Зеленцы» в 2006–2007 гг., когда были собраны, обработаны и проанализированы 42 пробы с 14 станций (рис. 1). В 2008 г. были выполнены еще 5 станций, на которых были взяты 15 проб. Материал 2008 г. находится в процессе камеральной обработки.

Отбор проб производили дночерпателем ван-Вина с площадью захвата 0,1 м² в 3-х кратной повторности. Пробы обрабатывали согласно стандартной гидробиологической методике. Биоценозы называли по виду, имеющему максимальную биомассу. Видовое разнообразие оценивали по количеству видов на 0,3 м².

Исследованиями был охвачен диапазон глубин от 31 до 460 м. Придонная температура воды изменялась от –1,35 до –0,16 °С, а придонная соленость от 33,73 до 34,91 ‰. Были идентифицированы 469 таксонов донных беспозвоночных, принадлежащих 15 типам организмов. Среди них – 417 видового ранга. В составе фауны преобладали ракообразные (25 %), на втором месте – полихеты (24 %), на третьем – мшанки (19 %). Доля моллюсков составила 16 %.

Видовое разнообразие донных беспозвоночных изменялось от 34 до 166 видов на 0,3 м². Наибольшее видовое разнообразие характерно для глубин от 50 до 150 м. С увеличением глубины оно убывает. Максимальное видовое разнообразие было зафиксировано на глубине 104 м на илистом песке в биоценозе *Thelepus cincinnatus*. Наименьшее видовое разнообразие было отмечено на глубине 430 м на коричневом иле с тяжелой глиной, конкрециями и галькой в биоценозе *Ophiopleura borealis*.

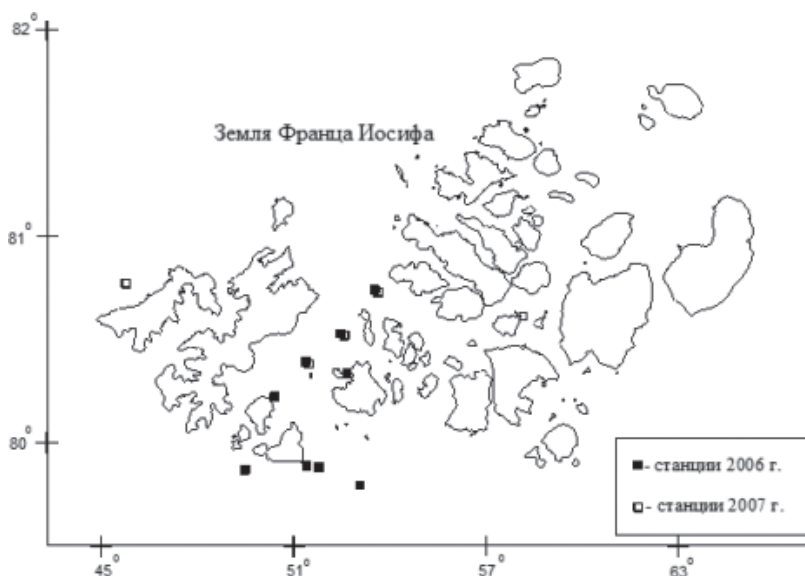


Рис. 1. Карта-схема района исследований в 2006–2007 гг.

Биомасса бентоса колебалась от 41 до 1688 г/м², в среднем составляя 318 г/м². Минимальная биомасса была отмечена на глубине 430 м. Максимальная биомасса была достигнута на глубине 39 м в биоценозе *Niatella arctica*. Биомасса усредненная по диапазонам глубин составляла 649 г/м² на глубинах менее 50 м, уменьшалась до 288 г/м² в диапазоне глубин 50–150 м, составляла 259 г/м² на глубинах 150–300 м и падала до 64 г/м² на глубинах более 300 м. Если на глубинах менее 50 м основную роль в создании биомассы играли моллюски и ракообразные (балянусы), то в диапазоне глубин 50–150 м роль ракообразных уменьшилась и возросла роль актиний, входящих в группу *Varia*. На глубинах 150–300 м основную роль в создании биомассы играли иглокожие. Увеличилась также роль полихет, которые на глубинах более 300 м стали доминирующей по биомассе группой.

Плотность поселения донных беспозвоночных в районе ЗФИ изменялась от 933 до 6043 экз/м². Максимальное значение было отмечено на глубине 104 м. Минимальная плотность поселения зафиксирована на глубине 430 м. Наибольшая плотность поселения наблюдалась в диапазоне глубин 50–150 м. С увеличением глубины плотность поселения уменьшалась. На глубинах до 300 м по численности преобладали полихеты. На больших глубинах доминирование перешло к моллюскам. К наиболее массовым видам на глубинах до 150 м относятся полихеты *Marenzelleria wireni*, *Pholoe longa*, офиуры *Ophiura robusta* и остракоды *Philomedes globosus*. В диапазоне 150–300 м место офиур в списке доминантов заняли полихеты семейства *Lumbrineridae*. На глубинах более 300 м наибольшей плотностью поселения отличались двустворчатые моллюски *Yoldiella nana* и *Thyasira gouldi*, а также полихеты *Minuspio cirrifera*.

В трофической структуре подводных склонов до глубины 150 м преобладали сестонофаги. В диапазоне глубин 150–300 м резко увеличилась роль плотоядных и несколько возросла доля детритофагов. Для больших глубин (> 300 м) оказалось характерным увеличение роли детритофагов при уменьшении роли сестонофагов и плотоядных.

При сравнении с результатами исследований, проводившихся в 1992 г. было отмечено не достоверное отличие средней биомассы и совпадение доминирующих по биомассе и по численности видов.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОФИТОПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА ЛЕТОМ 2007 Г.

Е.И. ДРУЖКОВА

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия. e-mail: druzhkova@mmbi.info

По размерным характеристикам все планктонные водоросли могут быть разделены на пико- (0,2–2 мкм), нано- (2–20 мкм) и микро- (20–200 мкм) фракцию. Именно нановодоросли, обладая высоким продукционным и адаптационным потенциалом, являются, с одной стороны, наиболее пластичным, с другой – наиболее стабильным компонентом пелагических альгоценозов. Показатель количественного развития и структура (то есть размерный спектр составляющих его клеток) нанопланктона может служить, наряду с химическими и физическими параметрами, одной из характеристик водных масс. Необходимо отметить, что, несмотря на достаточное количество работ, посвященных этой группе первичных продуцентов, данные по высокоширотным акваториям в литературе практически отсутствуют.

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей пространственного распределения и структурной организации нанофитопланктонного сообщества в области архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ), в частности, в районе желоба Франц-Виктория и на внутренней акватории архипелага. Материал был отобран в ходе экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» в августе 2007 года.

Нанофитопланктон учитывался под эпифлуоресцентным микроскопом МИКМЕД-2 (вар. 12) при увеличениях 300× и 1500× в пробах, фиксированных однопроцентным раствором глютарового альдегида и окрашенных раствором примулина. Клетки нанопланктона измерялись индивидуально и учитывались по максимальному диаметру с интервалом в 1 мкм (в соответствии с ценой деления окуляр-микрометра). При анализе результатов полученные данные группировались по трем размерным фракциям (2–5 мкм, 6–10 мкм, 11–20 мкм).

В результате проведенных исследований выявлено, что для всей исследованной акватории характерны высокие показатели количественного развития нанопланктона. В частности, в районе желоба Франц-Виктория в поверхностном горизонте численность нановодорослей колебалась от 6 до 170 тыс. кл./л при биомассе от 1 до 40 мкг/л, причем минимальные значения были приурочены к северо-западной части разреза (ст. 31 на рис. 1).

Размерная структура сообщества достаточно стабильна: основная роль в формировании численности принадлежит младшей размерной фракции (2–5 мкм), в формировании биомассы – средней размерной фракции (6 до 10 мкм). В зоне скачка плотности количественные характеристики нановодорослей изменялись в более узком диапазоне: численность – от 50 до 140 тыс. кл./л, биомасса – от 18 до 40 мкг/л. Размерная структура сообщества была сходна с таковой поверхностного горизонта. Наиболее интересные результаты были получены при исследовании придонного слоя, где численность нанофитопланктона колебалась от 20 до 108 тыс. кл./л, причем макси-

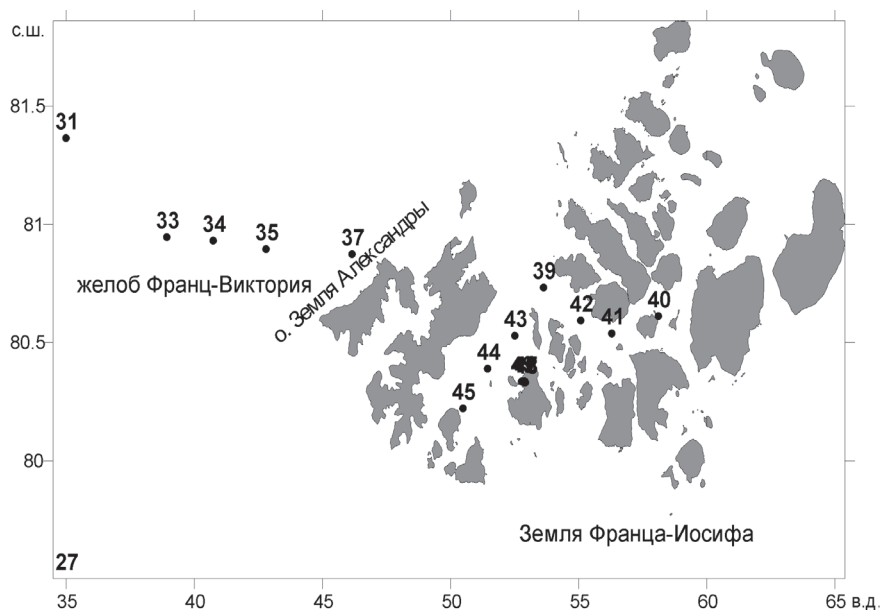


Рис. 1. Расположение станций, выполненных в августе 2007 г. в районе архипелага ЗФИ на НИС «Дальние Зеленцы».

мальные значения были отмечены на самой глубокой станции разреза (ст. 35, глубина 570 м). В то же время биомасса оставалась достаточно низкой и не превышала 7 мкг/л. Лидирующее положение в сообществе занимала младшая размерная фракция, на долю которой приходилось от 70 до 95 % численности и от 65 до 75 % биомассы.

Смена доминирования происходит только в восточной части разреза у острова Земля Александры, где биомасса сообщества формируется в основном за счет двух старших размерных фракций. Описанная картина вертикального распределения нанопланктона отражает, по-видимому, особенности глобальной циркуляции водных масс в данном районе и может рассматриваться как косвенный показатель заглупления поверхностного слоя.

На внутренней акватории архипелага ЗФИ в поверхностном горизонте диапазон колебаний численности нанопланктона составляет от 25 тыс. до 3,7 млн кл./л (в среднем 850 тыс. кл./л) при биомассе от 3,5 до 260 мкг/л (в среднем 80 мкг/л). Численность нановодорослей в большинстве случаев на 60–90 % была сформирована размерной группой 2–5 мкм. При этом размерная структура сообщества на различных участках акватории была весьма неоднородна и, как следствие, значительно варьировала относительная биомасса отдельных размерных фракций. В бухте Тихая непосредственно у кромки ледника численность нановодорослей составила 200–450 тыс. кл./л, биомасса – 20–70 мкг/л. Размерная структура не отличалась от описанной для других участков внутренней акватории архипелага. Над слоем скачка плотности как количественные, так и качественные показатели развития нановодорослей были сходны с таковыми поверхностного горизонта. В придонном слое численность нанопланктона изменялась от 0 до 480 тыс. кл./л, биомасса – от 0 до 75 мкг/л, причем эти показатели были непосредственно связаны с глубиной: максимальные значения отмечены на мелководных участках акватории.

Мозаичность распределения нанопланктона на внутренней акватории архипелага ЗФИ является, по-видимому, отражением так называемого «островного эффекта», который заключается в неравномерном концентрировании биоты у побережий островов в зависимости от направления течений и господствующих ветров.

АДАПТАЦИЯ ВОДОРосЛЕЙ-МАКРОФИТОВ К УСЛОВИЯМ АРКТИКИ

Г.М.ВОСКОВОЙНИКОВ

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия. e-mail: grvosk@mail.ru

Для Мурманского побережья определено 197 видов водорослей-макрофитов (42 зеленых, 80 бурых и 75 видов красных водорослей), для архипелага Шпицберген 142 вида, а для Земли Франца Иосифа известно 63 вида. По систематическому составу флора водорослей Баренцева моря представляет собой обедненную флору Северной Атлантики. Эндемичных родов и видов здесь нет. По фитогеографическому составу флора является высокобореальной. Высокобореально-арктические виды, ограниченные в своем распространении Атлантическим и Северным Ледовитым океанами, образуют самую многочисленную группу. Среди водорослей большое число многолетних видов, испытывающих наряду с изменением температуры, ультрафиолета, солености, влияние полярной ночи. Активный рост у большинства водорослей начинается в марте-апреле при низких, а часто отрицательных значениях температуры воды. Компенсаторная роль, способствующая ускорению роста макрофитов, принадлежит фотопериоду. Оптимальным фотопериодом для роста большинства водорослей является 16:8 (свет : темнота). Адаптация водорослей к условиям полярной ночи осуществляется: а) при минимальном освещении на Мурманском побережье по «ульва-типу» преобразований фотосинтетического аппарата; б) переходом ряда водорослей в состояние мезабиоза; в) в более высоких широтах при полном отсутствии освещения через переход макрофитов с фотоавтотрофного на гетеротрофный способ питания. Природные дозы ультрафиолета-Б оказывают влияние на все стадии жизненного цикла водорослей: замедляют развитие спор и гаметофитов, снижают скорость роста взрослых растений. Диапазон температурной толерантности водорослей зависит от их происхождения, т.е. является генетически закрепленным. Наличие в клетках большого процента «связанной» воды в сочетании с синтезом у ряда видов криопротекторов обеспечивает выживание литоральных водорослей зимой во время отливов (при температуре до -18°C). Устойчивость к распреснению, наблюдаемому в кутовых зонах большого числа губ снижается в ряду *F. vesiculosus* > *F. serratus* > *L. saccharina*, причем *F. vesiculosus*, являющийся эвригалитным видом, способен до 10 суток выдерживать постоянное опреснение до 2,5 ‰. Предполагается, что существование водорослей в зонах высокого распреснения обеспечивается созданием во время приливов условий с большей соленостью (приливных окон). У ламинариевых водорослей содержание сухого вещества, количество фотосинтетических пигментов, альгиновой кислоты находится в прямой зависимости, а удельная поверхность — в обратной зависимости от интенсивности движения воды. Изменение формы таллома ламинарии от овальной до ремневидной позволяет противостоять усилению гидродинамического режима. Адаптация к изменениям интенсивности света, фотопериода, температуры, гидродинамических условий, солености воды, поллютантам у макрофитов рассматривается на разных уровнях организации: от молекулярного до популяционного.

ДИАГНОСТИКА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ СТРУКТУР И ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

А.С.АВЕРКИЕВ, Д.В.ГУСТОЕВ, И.П.КАРПОВА

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: asav@rshu.ru

Пространственное распределение океанологических образований (фронтальные зоны, вихри, меандры, зоны апвеллинга и другие) в значительной мере определяет условия и места обитания и поведение биолого-промысловых объектов. В настоящее время эти особенности динамики вод эффективно и оперативно могут регистрироваться на спутниковых снимках. Исследование взаимосвязи особенностей расположения гидрофизических структур в поверхностном слое моря и концентрации планктона и промысловых объектов позволило получить предварительные оценки некоторых закономерностей поведения гидробионтов.

Исходными данными послужили материалы ежегодной российско-норвежской многовидовой экосистемной съемки Баренцева моря, данные о положении фронтальных зон и спутниковые снимки в видимом диапазоне, полученные на специализированных сайтах сети INTERNET. Построены и проанализированы карты распределения термохалинных характеристик (температуры, солености и плотности морской воды) и промыслово-биологических показателей основных промысловых рыб бассейна (мойвы, трески, сельди, сайки, палтуса) в периоды проведения экосистемных съемок. Получены количественные оценки пространственной линейной корреляции вылова промысловых рыб и гидрофизических параметров, а также выявлены некоторые закономерности распределения промысловых объектов в зависимости от особенностей расположения гидрофизических структур моря. Как правило, скопления промысловых объектов различных стадий развития и планктонных сообществ располагаются в непосредственной близости от фронтальных и вихревых зон Баренцева моря.

Выполнены модельные расчеты поля поверхностных течений с помощью программного комплекса CARDINAL (автор – К.А.Клеванный), и оценены возможности моделирования вихревых образований. Расчеты выполнялись в двух вариантах: в двумерной постановке по модели всего Баренцева моря со средним шагом около 10 км и в трехмерной постановке по локальной модели участка моря, примыкающего к Кольскому полуострову со средним шагом по горизонтали 800 м. В целом, модель адаптирована для воспроизведения мезомасштабных вихревых образований в поле поверхностных течений, полученные результаты соответствуют сложившимся представлениям о циркуляции в поверхностном слое моря. Планируется использовать модель для диагностики эволюции зафиксированных на спутниковых снимках гидрофизических образований, способствующих концентрации планктона и промысловых объектов.

ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ СРЕДЫ И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЛАНКТОННЫХ И НЕКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В 2006–2008 ГГ.

В.Д.БОЙЦОВ, Э.Л.ОРЛОВА, А.В.ДОЛГОВ

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М.Книповича (ПИНРО), г. Мурманск, Россия. e-mail: boitsov@pinro.ru

Период проведения наблюдений в Баренцевом море в рамках Международного полярного года является одним из самых теплых за последние 110 лет. В 2006 г. зарегистрирован максимум среднегодовой температуры воды слоя 0–200 м Мурманского течения (аномалия 1,2 °С). По данным наблюдений на прибрежных станциях с 1951 г. максимальная среднегодовая температура воздуха в районе Баренцева моря была отмечена в 2007 г. Ее аномалия в некоторых районах побережья превысила 2,0 °С. В 2008 г. температура воздуха была на 0,8 °С ниже, чем в предыдущем. Однако по материалам спутниковых наблюдений в 2008 г. был зафиксирован минимум ледовитости Баренцева моря в январе–марте и в июле–сентябре, а также в целом за год (рис. 1).

Важную роль в сроках начала продуцирования первичного органического вещества и распределения биомассы фитопланктона на акватории Баренцева моря играют процессы таяния льда. В июне 2006 г. лед распределялся на севере Баренцева моря на 9 % его акватории. В июле–августе он занимал незначительную площадь только на северо-востоке моря. Смещение кромки льда от месяца к месяцу в 2007 и 2008 г. в целом было схожим. Граница ледовых массивов в течение первой половины анализируемых лет в центральной части и на северо-востоке моря находилась между 76 и 78° с.ш., что севернее нормы для этих сезонов. Кроме того, по литературным данным он был тоньше обычного. От июня к июлю происходило быстрое разрушение ледового массива. В середине июля 2007 г. граница льда находилась между 80 и 81° с.ш., а в августе–сентябре в зоне между 10–50° в.д. кромка распределялась за пределами Баренцева моря. В 2008 г. в этот период вся северо-восточная часть моря была свободна ото льда.

Специфика гидрометеорологических условий в Баренцевом море в 2006–2008 гг. во многом определила особенности развития биологических процессов, в первую очередь в его северной части. В распределении мезопланктона была четко выражена приуроченность видов-идентификаторов к определенным водным массам: североатлантический вид *Calanus finmarchicus* населял преимущественно районы распространения атлантических вод, а арктические виды *Calanus glacialis*, *Pseudocalanus minutus*, *Metridia longa* – арктические и смешанные воды. Указанные виды являются основой кормовой базы промысловых пелагических рыб.

В августе–сентябре 2006 г. *C. finmarchicus* распределялся на большой площади между 76–78° с.ш. Меньше его было на северо-востоке Баренцева моря, поскольку здесь из-за продолжавшегося таяния льда воды верхнего слоя были распреснены и имели низкую температуру. *C. glacialis* также распределялся широко, но его численность была ниже, чем *C. finmarchicus* и *M. longa*. Последний вид доминировал на востоке моря, в то время как *P. minutus* имел высокую численность в его центральной части севернее 75° с.ш.

В 2007 г. *C. finmarchicus* создавал повышенные скопления в основном на западе Баренцева моря между 74–80° с.ш. На его акватории между 78–82° с.ш. и 29–67° в.д., где лед отсутствовал,

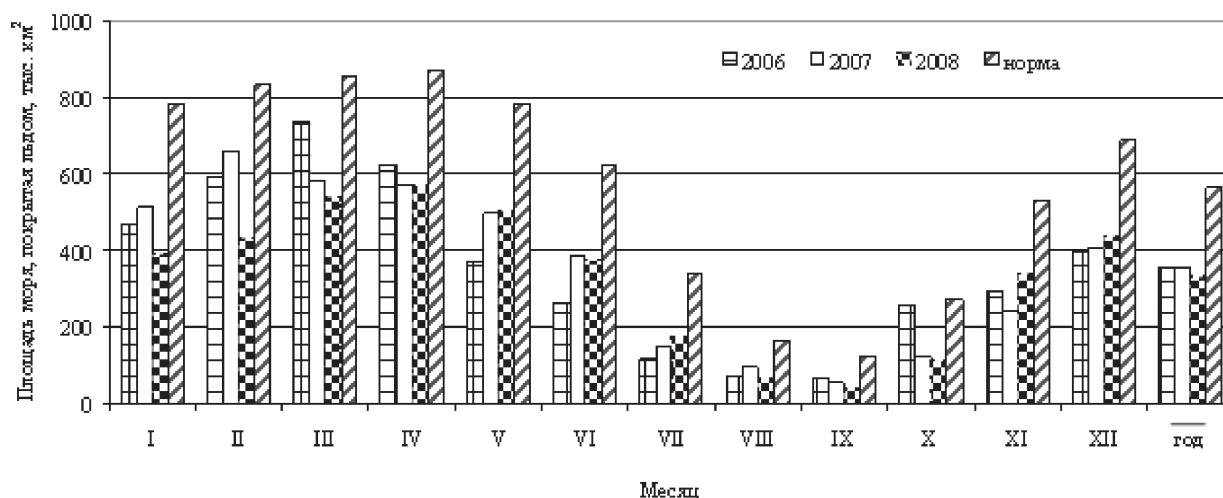


Рис. 1. Площадь Баренцева моря, покрытая льдом в 2006–2008 гг. и ее месячные

наблюдалась высокая численность и широкое распределение *C. glacialis*. Здесь же проходило его интенсивное размножение. *M. longa* по численности занимала второе место после *C. glacialis*, но основные концентрации создавала на востоке моря. Массовое размножение этого батипелагического вида проходило в нижних слоях воды с начала августа до середины сентября на обширной акватории от западных до восточных районов.

Летом 2008 г. в Баренцевом море примерно вдоль параллели 77° с.ш. проходила граница раздела вод с отрицательной температурой на севере и положительной к югу от нее. Для «теплой» части моря было характерно широкое распределение *C. finmarchicus*, создававшего скопления повышенной плотности на востоке от Новой Земли до мыса Желания. На акватории моря с низкой температурой воды отмечалось расширение репродуктивного ареала арктических видов, где при высоких темпах таяния льда вплоть до середины сентября продолжалось их размножение. Благоприятные ледовые условия для развития зоопланктона складывались на северо-востоке, где в августе-сентябре льда не было. В районе Земли Франца-Иосифа основную массу планктона составляли арктические виды, за счет которых формировалась его биомасса.

Существенные изменения произошли и в сообществе макропланктона Баренцева моря. Плотность скоплений эвфаузиид в 2008 г. на всей его акватории была выше по сравнению с таковой в 2007 г. и средней многолетней величиной. Особенностью 2008 г. было расширение ареала аркто-бореального вида *Thysanoessa inermis*, а также приносного из Норвежского моря океанического вида *Th. longicaudata* и резкое сокращение холодноводного *Th. raschii*. Выявлена тенденция усиления приноса в последние 2–3 года тепловодного вида *Meganycitophanes norvegica*, численность которого в целом на юге Баренцева моря возросла в 3 раза. В группе амфипод (*Hyperiidae*) отмечена такая же тенденция: в отличие от прошлых лет, наиболее широкое распределение получил аркто-бореальный вид *Themisto abyssorum*, а ареал арктического вида *Th. libellula* сместился на север в центральной части моря и к Земле Франца-Иосифа.

По данным совместной российско-норвежской экосистемной съемки 2004–2009 гг. в северной части Баренцева моря отмечалось 62–73 вида рыб (68–73 % от общего числа видов на всей акватории моря). По численности доминировали сайка и мойва, также была велика доля молоди черного палтуса, камбалы-ерша, трески и массовых непромысловых рыб (полярный триглопс, крючкорогий бычок, чернобрюхий и горбатый липарисы, морская лисичка и ликоды).

В связи со смещением распределения гипериид в северном направлении их роль в питании трески в 2007 г. по сравнению с предыдущим периодом резко снизилась, а в 2008 г. гиперииды практически исчезли из ее пищевого рациона. Мойва откармливалась преимущественно копеподами и эвфаузидами, в то время как в питании сайки и непромысловых видов доминировали гиперииды. В свою очередь черный палтус и заходящая в эти районы в теплые годы треска активно потребляли сайку, мойву, непромысловых рыб и гипериид.

Таким образом, в современный период потепления вод Баренцева моря, наряду с традиционным путем переноса энергии из северной части моря в южную (от копепод через мойву к высшим хищникам), сформировался новый поток энергии от гипериид через сайку и непромысловых рыб к треске и черному палтусу.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИХЕТ ВДОЛЬ РАЗРЕЗА КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН (БАРЕНЦЕВО МОРЕ)

Д.Р.ДИКАЕВА

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, Мурманск, Россия. e-mail: science@mmbi.info

Влияние изменяющихся факторов среды особенно наглядно отражается на видовом составе и количественных характеристиках полихет — одной из самых обширных групп морских донных беспозвоночных. Полихеты наиболее равномерно распределены по акватории моря и присутствуют практически во всех биоценозах, что дает возможность использовать их в качестве индикаторов долговременных изменений факторов среды.

В нашей работе предпринята попытка, проследить многолетние изменения структуры полихет в период климатических колебаний.

Для выявления взаимосвязи многолетних изменений структуры полихет, был проанализирован массив данных, состоящий из 154 количественных проб, собранных в экспедициях Мурманского морского биологического института, КНЦ РАН в 1995, 1997, 2000, 2001, 2007 гг. на разрезе «Кольский меридиан». Сбор бентоса проводился с помощью дночерпателей «Океан» (площадь захвата 0,25 м²) в двухкратной повторности и ван-Вина (площадь захвата 0,1 м²) в пятикратной повторности. Обработка материалов осуществлялась по стандартной гидробиологической методике.

Полученные данные были сопоставлены с изменениями среднегодовой температуры воды в слое 0–200 м на разрезе «Кольский меридиан». Изменения биомассы и плотности поселения многощетинковых червей с некоторым запаздыванием соответствуют колебаниям среднегодовых температур. Для правильной оценки состояния среды необходимы знания задержки отражения климатических изменений биомассы и численности донных сообществ и стратегии выживания популяций, наиболее массовых видов.

В рассматриваемом районе Кольского разреза на илистых и илисто-песчаных грунтах развивается сообщество с доминированием многощетинковых червей *Spiochaetopterus typicus*. Немного уступают им по биомассе полихеты *Maldane sarsi*, *Aglaophamus malmgreni* и *Asychis biceps*. Анализ временных рядов биомасс этих видов и полихет в целом (табл. 1) показал, что различия между их средними значениями в разные годы, возможно, вызваны изменениями фактора среды. Для оценки связи временных рядов использовался коэффициент корреляции.

Таблица 1.

Усредненные значения биомассы доминирующих видов и общей биомассы полихет (г/м²) на разрезе «Кольский меридиан» от 70 до 73° с.ш.

Вид	1995 г.	1997 г.	2000 г.	2001 г.	2007 г.
	Среднее значение ± ошибка среднего	Среднее значение ± ошибка среднего	Среднее значение ± ошибка среднего	Среднее значение ± ошибка среднего	Среднее значение ± ошибка среднего
<i>Spiochaetopterus typicus</i>	5,6 ± 1,85	6,6 ± 1,57	7,7 ± 3,30	7,0 ± 2,12	16,05 ± 3,99
<i>Maldane sarsi</i>	0,86 ± 0,29	0,93 ± 0,23	0,96 ± 0,40	0,74 ± 0,26	1,20 ± 0,26
<i>Aglaophamus malmgreni</i>	0,001 ± 0,001	0,49 ± 0,13	1,13 ± 0,33	0,73 ± 0,17	0,44 ± 0,17
<i>Asychis biceps</i>	0,15 ± 0,06	0,22 ± 0,07	0,26 ± 0,15	0,47 ± 0,18	0,69 ± 0,35
Биомасса полихет	11,01 ± 2,55	11,25 ± 1,73	19,74 ± 3,72	16,77 ± 3,08	22,38 ± 4,07

Таблица 2.

Корреляция биомассы доминирующих видов и общей биомассы полихет с аномалиями среднегодовой температуры вод в слое 0–200 м Основной ветви Мурманского течения на разрезе «Кольский меридиан»

Вид	Биогеографическая характеристика	Корреляция	Запаздывание, год
<i>Spiochaetopterus typicus</i>	b-a	0,91	7
<i>Maldane sarsi</i>	st-b-a	0,71	7
<i>Aglaophamus malmgreni</i>	a	-0,85	3
<i>Asychis biceps</i>	b	0,97	7
Биомасса полихет		0,90	8

Усредненные значения биомассы массовых видов и общей биомассы полихет в целом были сопоставлены со среднегодовой температурой воды на разрезе Кольский меридиан в слое 0–200 м. Изменения биомассы доминирующих видов с некоторым запаздыванием соответствует колебаниям среднегодовых температур. Корреляционный анализ временных рядов биомассы доминирующих видов с некоторым запаздыванием позволил выявить время запаздывания реакции биомассы данных видов от времени изменения фактора среды (табл. 2). По мнению ряда авторов, естественное запаздывание реакции биомассы отдельных видов зообентоса на климатические колебания составляет 1–6 лет или 5–7 лет. Запаздывание реакции изменения биомассы отдельных видов обусловлено высокой степенью выживаемости их молоди в наиболее благоприятные года, что обеспечивает в дальнейшем прирост биомассы. Выраженные положительные корреляции с температурными аномалиями были получены для биомасс бореально-арктических видов полихет *Spiochaetopterus typicus*, *Maldane sarsi* и бореального вида *Asychis biceps*. Биомасса арктического вида *Aglaophamus malmgreni* имеет отрицательную корреляцию с аномалиями температур. Для общей биомассы полихет на участке «Кольский меридиан» от 70 до 73° с.ш. выявлена положительная корреляция.

Основу фауны донных сообществ полихет составляют бореально-арктические виды, биомасса которых изменялась незначительно до 2001 г., вероятно колебания биомассы сглаживает ежегодное поступление молоди в популяции, резкое увеличение биомассы отмечено в 2007 г., после длительного периода потепления. Это обеспечивает высокую амплитуду колебаний биомасс. Значительно варьирует биомасса арктических видов, интенсивное развитие арктической фауны начинается в периоды похолоданий и не сглаживается обильным поступлением молоди в теплые годы. Срок достижения и продолжительность максимальных значений биомасс арктических видов обусловлены скоростью роста и средней продолжительностью жизни особей. Биомасса бореального вида *Asychis biceps* изменяется незначительно, но заметно увеличивается в 2007 г., после длительного периода потепления. В связи с этим, максимальные колебания общей биомассы полихет, наблюдаемые в районе исследований, обеспечиваются за счет биомасс бореально-арктических видов, благодаря их значительному преобладанию.

Зависимость колебаний биомассы многощетинковых червей от изменений среднегодовых температур показана на примере массовых видов полихет на разрезе Кольский меридиан. Основные доминирующие виды полихет реагируют на гидрологические флуктуации с задержкой в несколько лет. Увеличение общей биомассы полихет после периода потеплений является результатом более высокой выживаемости молоди в большинстве видовых популяций.

ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ БЕЛОГО МОРЯ И ВОДОСБОРА

Н.Н.ФИЛАТОВ¹, И.А.НЕЕЛОВ², О.П.САВЧУК³

¹ – *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия. e-mail: nfilatov@rambler.ru*

² – *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

³ – *Стокгольмский университет, г. Стокгольм, Швеция*

Для оценки состояния и изменений экосистемы моря и его водосбора была создана база данных, разработан и внедрен комплекс моделей, и выполнен анализ изменений, происходящих на водосборе и в экосистеме моря под влиянием климата и антропогенных факторов.

Для определения нагрузки на водосбор и море выполнен широкий комплекс исследований, включающий оценку социально-экономических проблем на водосборе и разработку сценариев развития региона, с внедрением разнообразных индексов для использования их в моделях и геоинформационных системах.

Получены сценарии развития региона и оценены возможные последствия на водосбор и саму экосистему, что можно учесть через потоки (биогеоценозов, загрязняющих веществ и др.) в разрабатываемых моделях.

Оценка климатических изменений на водосборе была выполнена с использованием модели ЕСНАМ-4 как по сценариям ИРСС, так и с учетом возможного похолодания климата в регионе. Изменения климатического и водного режима, в этом случае, потребуют изменения в управлении водохозяйственными системами и отраслями экономики.

Совместно с рядом организаций разрабатываются модели экосистемы моря, в которых учтены сценарии изменений климата, социально-экономического развития региона, разнообразных антропогенных воздействий, на базе собранной информации и создаваемых геоинформационных систем (Филатов и др., 2007).

Показано, что современное состояние экосистемы моря относительно стабильное. Нет серьезных изменений в химико-биологическом режиме. По данным наблюдений выявлено небольшое увеличение температуры воды и солености воды за последние 40 лет. Однако обусловлено оно может быть и естественной изменчивостью климата. Уменьшение речного стока при возможном потеплении климата может привести к уменьшению средней толщины льда зимой на 10 см, увеличению средней солености моря на 1 ‰ и возрастанию толщины летнего термоклина. Однако, существенных изменений рассматриваемых элементов системы при указанных климатических и антропогенных воздействиях по данным моделирования не отмечается.

МОДЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ ВОДО- И МАССООБМЕНА ЧЕРЕЗ ГОРЛО БЕЛОГО МОРЯ

А.В.ТОЛСТИКОВ¹, И.А.НЕЕЛОВ²

¹ – *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия. e-mail: tolstikov@nwp.krc.karelia.ru*

² – *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия.*

Через Горло Белого моря происходит интенсивный водо- и массообмен. Здесь отмечаются интенсивные течения со скоростями, иногда превышающими 1 м/с. В 1929 г. В.В.Тимонов впервые оценил водообмен в 200 км³/год. В настоящее время называются следующие значения водообмена: 192 км³ по Н.С.Уралову; 231 км³ по В.М.Альтшуллеру; 240 км³/год по В.В.Елисову. Несмотря на долгую историю исследования водо- и массообмена Баренцева и Белого моря, этот вопрос остается не достаточно изученным из-за отсутствия длительных сезонных и многолетних наблюдений. Для расчета водо- и массообмена Белого и Баренцева морей нами была применена модель термогидродинамики и экосистемы Белого моря И.А.Неелова и О.П.Савчука, основанная на полных уравнениях движения со свободной поверхностью в приближении Буссинеска и гидростатическом приближении. Для анализа мы использовали среднемесячные модельные данные за расчетный период 1948–2007 гг.

Получены следующие результаты. Минимальные значения прихода баренцевоморских вод в район Горла относятся к 1959 г., а максимальные — к 1948 и 1977 г. Также значительный объем воды за многолетний период времени проходил в Белое море через Горло в 1992 г. В последние годы наблюдается снижение интенсивности водообмена, что может быть связано с природной многолетней изменчивостью обоих морей. Минимальные значения прихода баренцевоморской воды относятся к августу, а максимальные — к зимним месяцам. Полученные значения водообмена подтверждаются многолетними колебаниями климатических характеристик в данном регионе и, соответственно, изменениями водного баланса Белого моря.

Для выявления частот преобладающих колебаний в многолетнем ходе водообмена был проведен спектральный анализ. Результаты свидетельствуют о наличии наиболее значимых колебаний на частотах, соответствующих квазипериодам 1 год и полгода, что, вероятно, связано с режимом рек, впадающих в Белое море. Весенний паводок дает до 50 % годового поступления речных вод в Белое море и отражается на интенсивности водообмена.

Также были рассчитаны среднемесячные и среднегодовые колебания уровня моря в Горле. Здесь минимальный уровень моря отмечается в 1952 г., а максимальный — в 1990 г., что хорошо согласуется с ходом уровня Белого моря, построенным нами ранее по натурным данным восьми гидрометеорологических станций. В частности, низкие значения уровня в начале 50-х гг. и пик относительно высокого уровня в начале 80-х гг. XX в. Четкого тренда в многолетнем ходе уровня моря по модельным данным не прослеживается. Для выявления частот преобладающих колебаний в многолетнем ходе уровня моря в Горле был проведен спектральный анализ, который показал наличие наиболее значимого около годового квазипериода.

В многолетнем ходе уровня преобладают 28, около 5 и 3-х-летние, а также около годовой квазипериод. Пик в 28 лет, вероятно, связан с периодом водообмена Белого моря, 3-х и 5-ти-летние — довольно часто встречающиеся колебания океанологических характеристик. Около годовой квазипериод связан с режимом рек, впадающих в Белое море. В течение года ход уровня Белого моря в Горле имеет один максимум в октябре, связанный с осенними паводками на реках бассейна моря и один минимум в апреле, существующий благодаря весеннему понижению уровня на реках.

Таким образом, результаты модельных расчетов отражают тенденции изменчивости водообмена Белого моря с Баренцевым морем, известные по литературным источникам (Тимонов, Альтшуллер, Уралов, Елисов) и уточняют значение количества приходящей баренцевоморской воды через Горло в Белое море. За период 60 лет (1948–2007 гг.) среднегодовое значение водообмена в Горле равно 187 км³/год. Учитывая, что объем Белого моря без Горла, Воронки и Мезенского залива составляет 4090 км³, период его водообмена с учетом модельных данных в этих границах составит 22 года. Если мы возьмем полный объем моря 5400 км³ и учтем сток р. Мезень (26 км³/год), то теоретически рассчитанный период водообмена Белого моря через Воронку составит 25 лет.

Далее были рассчитаны потоки вещества через Горло. Получены данные о средних многолетних значениях азота, фосфора и кремния, поступающих с баренцевоморской водой. Азот в форме NO₃ поступает в количестве 5 · 10³ т/мес, фосфор (PO₄) — 3 · 10³ т/мес, кремний SiO₂ — 45 · 10³ т/мес. В многолетнем ходе не отмечается явного тренда, однако выражена сезонная изменчивость. Максимум поступления азота и фосфора приходится на конец осени — начало зимы, минимум — на весенне-летний период, хотя для фосфора отмечаются небольшие всплески повышения концен-

трации в апреле и июле. Сезонный ход кремния более сложный: максимум наблюдается в основном в июле, однако его интенсивность варьирует в зависимости от года, минимумы приходится на конец зимы. Отмеченные тенденции многолетнего хода концентраций биогенов хорошо согласуются с результатами, полученными ранее для всего Белого моря. Накопление неорганических питательных веществ в модели достигает своего максимума в марте и сохраняется на высоком уровне в течение всего лета. Лимитирование роста фитопланктона азотом соответствует натурным наблюдениям.

Эти условия, формирующиеся в Горле, обусловлены долгопериодными колебаниями атмосферных процессов, воздействующих на динамику Белого моря в виде граничных условий на поверхности моря и на границе с Баренцевым морем. Также, возможно, определенную роль здесь играет взаимодействие с донными отложениями, являющимися своего рода «долговременной памятью экосистемы».

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДВИНСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ

Е.ВИНОГРАДОВА¹, Е.ЯКУШЕВ²

¹ – *Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва, Россия. e-mail: vinogradova@ocean.ru*

² – *Норвежский институт водных проблем (NIVA), Осло, Норвегия. e-mail: e_yakushev@yahoo.com*

В докладе рассматривается сезонная динамика биогенных элементов в Двинском заливе Белого моря. Белое море отличается чрезвычайно большой пространственной и временной изменчивостью гидрохимических параметров, вызванной существенным вкладом речного стока и ярко выраженным сезонным характером продукционно-деструкционных процессов. Среди важных факторов изменчивости выделяются относительно малые глубины и изрезанность береговой линии бассейна, наличие характерных для полярных вод мезо- и мелкомасштабных образований синоптической природы, интенсивность приливных течений. Гидрохимические параметры подразделяются на две взаимосвязанные группы: трассеры водных масс и индикаторы происходящих продукционно-деструкционных процессов. Содержание кремнекислоты во все сезоны служит универсальным индикатором различия поверхностных вод речного и морского происхождения, а также в вертикальном масштабе используется для разделения поверхностных и промежуточных вод. Фосфаты, являющиеся лимитирующим элементом для фитопланктона, в результате их исчерпания практически до нуля в вегетационный период, летом, осенью и зимой могут быть надежным индикатором разделения поверхностных и промежуточных вод. Органический фосфор, аммонийный азот, нитриты являются индикаторами химико-биологических процессов. Их экстремумы отмечаются не столько в ядрах водных масс как для трассеров, а на контрастных гидрофизических границах – пикноклине и фронтах. Однако, в Белом море из-за значительного влияния речного стока для этих характеристик существуют исключения: ранней весной поверхностные воды речного генезиса выделяются по повышенным концентрациям аммония, а осенью хорошим трассером речных вод являются повышенные концентрации нитритов. Растворенный кислород, обычно сочетающийся в себе черты элемента первой и второй группы индикаторов, в Белом море из-за его высокого содержания по всей вертикали является скорее элементом – трассером водных масс.

Поля изучавшихся гидрохимических характеристик позволили проследить процесс формирования и трансформации поверхностных вод, когда увеличение их толщины от первого метра в мае до 60 м в ноябре в открытой части залива сопровождается размыванием градиентов свойств. Промежуточные воды, отличные по своим свойствам в начале периода наблюдений в мае за теплый сезон постепенно трансформируются и к ноябрю по концентрациям характеристик постепенно приближаются к поверхностным водам.

Анализ горизонтального и вертикального распределения фосфатов в летний сезон может служить косвенным индикатором выделения районов, где потенциально возможен второй и третий пики цветения фитопланктона.

Распределение гидрохимических параметров позволяет получить ясную картину сезонного хода этих характеристик, указать факторы, влияющие на их перераспределение. Эта информация чрезвычайно необходима для создания баз данных и математических моделей, для организации комплексного мониторинга естественных и антропогенных изменений экосистемы. Точнее чем использование стандартных гидрофизических параметров (температура, соленость), пространственно-временная изменчивость биогенных элементов позволяют судить о трансформации водных масс в сочетании с характером протекания продукционно-деструкционных процессов.

С точки зрения оценки экологической обстановки в открытой части Двинского залива и основных факторов ее определяющих следует отметить, что на основе результатов определения основных биогенных элементов, нами не отмечено наличие их аномально высоких содержаний или исчерпания запаса кислорода на различных глубинах залива. В течение всего года содержание растворенного кислорода остается достаточно высоким и близким или выше насыщения. Низкие температуры воды в течение большей части года, а также большая доля терригенного органического вещества в Двинском заливе, стойкого к процессам минерализации препятствуют развитию эвтрофикации. Наличие стокового течения в Баренцево море, и формирование глубинной водной массы в результате зимнего сползания баренцевоморских вод в Горле, а также в целом активная гидродинамика способствуют ежегодному обновлению промежуточных и глубинных вод залива.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ РТУТИ В КОМПОНЕНТАХ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО ЦИКЛА БАРЬЕРНОЙ ЗОНЫ Р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА – БЕЛОЕ МОРЕ

А.Э.ОВСЕПЯН

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия. e-mail: astxic@bk.ru

Устьевая область р. Северная Двина является естественным барьером между экосистемой реки, формирующейся под ощутимым антропогенным воздействием и экосистемой Белого моря. В первую очередь антропогенный пресс на реку обусловлен функционированием здесь крупного областного центра – г. Архангельска и предприятий, характерных именно для этого северного региона – ЦБК, в технологический цикл которых входит ртуть. В этой связи особый интерес представляет рассмотрение особенностей накопления и миграции ртути, как одного из приоритетных загрязняющих веществ современности, по элементам биогеохимического цикла, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. С 2004 г. по инициативе проф. Ю.А.Федорова в устьевой области р. Северная Двина автором ежегодно организуются и проводятся в составе исследовательского коллектива экспедиционные работы, направленные на изучение факторов, влияющих на поведение ртути в северных условиях. За это время накоплен достаточно обширный материал по содержанию ртути в почвах, донных отложениях, воде, атмосферных осадках и гидробионтах устьевой области р. Северная Двина и донных отложениях Белого моря.

При отборе, подготовке и анализе на содержание ртути проб применялась модифицированная методика, ранее апробированная на различных водных объектах России. Пробоотбор производился как в относительно чистых «фоновых» районах, так и на участках, подверженных значительному антропогенному воздействию. Образцы донных отложений, воды и гидробионтов отбирались на речном участке, в зоне смешения морских и речных вод, и частично в Белом море.

Анализируя полученный фактический материал по содержанию ртути в различных компонентах биогеохимического цикла, можно сделать следующие выводы.

При рассмотрении содержания ртути в неживых компонентах биогеохимического цикла, прослеживается тенденция к накоплению металла и его соединений в донных отложениях (рис. 1).

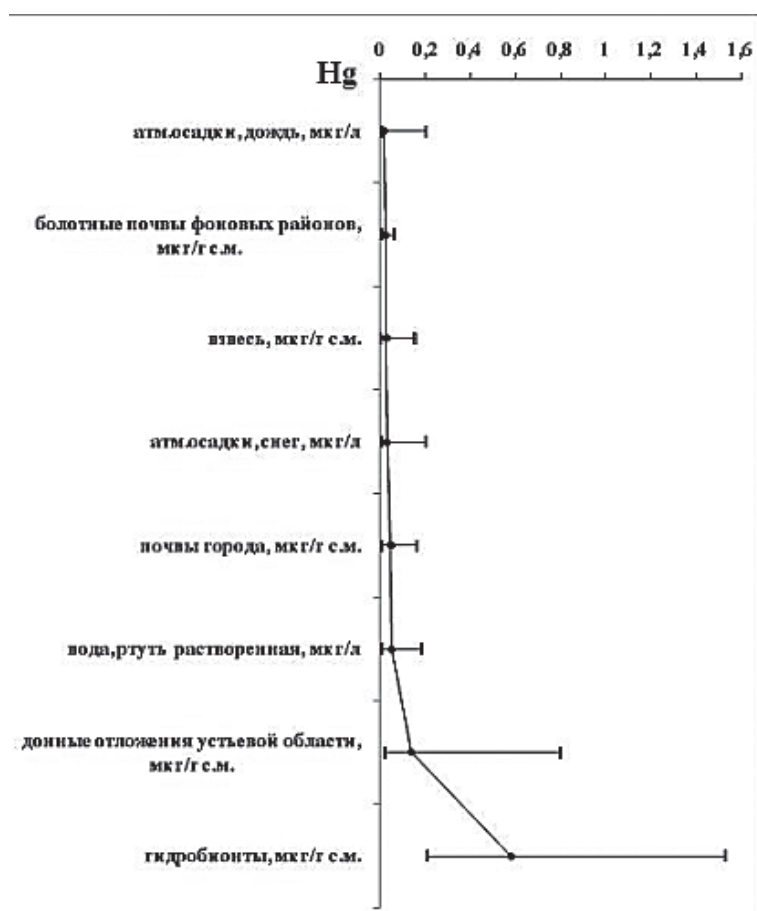


Рис. 1. Содержание ртути в некоторых компонентах биогеохимического цикла устьевой области р. Северная Двина

Донные отложения устьевой области реки содержат ртути в 5,2 раза больше чем почвы фоновых районов устьевой области и в 2,8 раз больше чем городские почвы. Примерно на одинаковом уровне находятся концентрации ртути в почвах фоновых районов и речной взвеси. Содержание валовой формы ртути в атмосферных осадках примерно в 2 раза ниже Hg, растворенной в водах Северной Двины.

Итак, значительная часть ртути, поступающей в экосистему р. Северная Двина, накапливается в донных отложениях. В литературе отмечались случаи выявления экстремально высоких загрязнений воды ртутью в районе г. Архангельска, что, скорее всего, связано с залповыми выбросами сточных загрязненных соединениями металла вод. Поступающая в воду ртуть мигрирует как в горизонтальном — перемещение с течением в сторону Белого моря, так и вертикальном направлении — из приповерхностного слоя воды в придонный, и далее в донные отложения. Динамическая составляющая экосистемы — водная толща — достаточно быстро очищается, что связано не только с выносом загрязненных масс в море, но также со спецификой региона — воздействием приливно-отливной циркуляции вод и разбавлением пресной воды водами повышенной минерализации. При этом происходит процесс выведения ртути из водной толщи в донные отложения. Мигрирующая преимущественно в составе органокомплексов ртуть под воздействием вод большей минерализации, разрушающих ее соединения с фульво- и гуминовыми кислотами, трансформируется и образует простые неорганические комплексы с хлором, о чем свидетельствуют также расчеты, показывающие увеличение процента димеркур- и тетрамеркурхлорида в данной зоне, переходит в Hg^0 , адсорбируется на неорганических и органических коллоидах, которые в дальнейшем осаждаются на дно, часть ртути испаряется через слои воды. В то же время донные отложения являются не только аккумулятором ртути, но при изменении физико-химических и гидродинамических условий среды могут быть источником «вторичного загрязнения» вод. Отметим, что содержание ртути в поверхностном слое донных осадков несколько ниже, чем в подповерхностном. Кроме того, выявлена тесная взаимосвязь на акватории дельты устьевой области между содержанием ртути в донных отложениях и во взвеси. Все это косвенно свидетельствует о возможности постоянной «подпитки» ртутью водной толщи, что в свою очередь повышает ее доступность к поглощению гидробионтами. Это подтверждается обнаруженным достаточно высоким средним уровнем содержания ртути в рыбах (рис. 1). Накопление ртути в них максимально по сравнению с остальными компонентами биогеохимического цикла — они содержат в 4,2 раза больше Hg по сравнению с донными отложениями. В среднем концентрации ртути в исследованных гидробионтах устьевой области Северной Двины находятся на уровне ПДК, действующих для пресноводных хищных рыб (0,6 мкг/г).

Таким образом, при характеристике особенностей распределения и накопления ртути в компонентах биогеохимического цикла барьерной зоны р. Северная Двина-Белое море, наибольшие содержания ртути выявлены в донных отложениях устьевой области и гидробионтах. Отметим здесь относительно низкие уровни концентраций ртути в морских осадках (в среднем для поверхностного слоя — 0,04 мкг/г с.м.). Это значение несколько превышает средние уровни содержания ртути в речной взвеси и почвах фоновых областей и находится ниже по сравнению с концентрациями ртути в почвах городской агломерации. Как видно, содержание ртути в донных отложениях Белого моря вполне сравнимо с фоновыми концентрациями ртути для данного региона. Во многом это явление обусловлено действием маргинального фильтра «река Северная Двина — Белое море», который препятствует проникновению высоких концентраций ртути в воды и накоплению ее в донных отложениях Белого моря, извлекая значительную часть ртути из миграционных процессов в барьерной зоне. Однако, известно, что для устьевой области р. Северная Двина характерными обитателями являются проходные и полупроходные виды рыб, которые в дальнейшем при нарастании антропогенного пресса могут внести ощутимый вклад в процессы перемещения металла и его соединений и выступить одним из путей миграции ртути из реки в морской бассейн.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ МК-2100.2009.5.

**О ЮВЕНИЛЬНЫХ ПРИЗНАКАХ У ВЗРОСЛЫХ МОРСКИХ ПАУКОВ
В ХОЛОДНЫХ И ОПРЕСНЕННЫХ ВОДАХ КАРСКОГО МОРЯ
(ПО МАТЕРИАЛАМ 54-ГО РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» В СЕНТЯБРЕ 2007 Г.)**

А.К.РАЙСКИЙ

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва, Россия. e-mail: kap@ocean.ru, alex_rayskiy@mail.ru

Сохранение у половозрелых и размножающихся особей морфологических признаков, характерных для молодых представителей вида или рода (незавершенный онтогенез) лежит в основе одного из направлений биологической эволюции, названного И.И.Шмальгаузенем пedomорфозом. Это эволюционное направление имеет широкое распространение в природе как у животных (в том числе у беспозвоночных), так и у растений, и оно обычно связано с вторичным упрощением морфологии тех или иных систем органов.

У морских пауков (Pseudoscorpionida), в эволюционной истории которых, по мнению В.П.Шимкевича, неоднократно имели место морфологические упрощения, пedomорфное формообразование проявляется также в виде сохранения структур, которые, как правило, редуцируются в процессе индивидуального развития (взреления) особей. Так, в составе рода *Achelua* личинки *A. borealis*, имеющие полноценно развитые клешни на первой паре конечностей, в процессе взросления утрачивают эти клешни (у *A. borealis neotenica*) или они сохраняются в виде рудиментов (у *A. borealis borealis*).

В материалах Карской экспедиции 2007 г. *A. borealis neotenica*, впервые описанная по единственному экземпляру из пролива Югорский Шар, обнаружена мной в виде целой популяции на южных мелководьях Карского моря, где холодные и опресненные воды (до 32 и 29 ‰ при отрицательной температуре) создают условия, способствующие незавершенному онтогенезу (сохранению ювенильных признаков у взрослых, половозрелых и размножающихся особей) вида *Achelua borealis*. Его тихоокеанский подвид *A. borealis japonica* является исходной и наиболее продвинутой формой с полностью редуцированными клешнями на первых конечностях (хелифорах).

К настоящему времени пedomорфные признаки с сохранением ювенильных клешней на хелифорах у современных пикногонид были отмечены Е.П. Турпаевой для глубоководных морских пауков *Colossendeis angusta* из Японского глубоководного желоба. Наши находки, сделанные при обработке сборов Карской экспедиции 2007 г., указывают на возможности высокоширотного пedomорфного формообразования и в мелководных условиях, отклоняющихся от оптимальных.

ТРАНСФОРМАЦИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. ЕНИСЕЙ

О.С.РЕШЕТНЯК

ГУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону, Россия. e-mail: olgare1@rambler.ru

Устьевая область р. Енисей — одна из самых протяженных в Евразии. Она относится к эстуарно-дельтовому типу и состоит из устьевого участка реки (869 км) и устьевого взморья — Енисейского залива (350 км) и прилегающей части Карского моря. В свою очередь устьевой участок р. Енисей можно разделить на: придельтовый участок и дельту. Несмотря на высокую самоочищающую способность р. Енисей, речной химический сток формирует компонентный состав водной среды и оказывает значительное влияние на экологическое состояние устьевой области и прибрежных морских акваторий.

В качестве исходной информации использована многолетняя (1980–2007 гг.) режимная информация Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды (ГСН) по гидрохимическим параметрам состояния абиотической компоненты водной среды на замыкающем створе (г. Игарка) и у г. Дудинка.

Анализ и статистическая обработка исходной информации показали, что в водной среде устьевой области реки сохраняется высокий уровень загрязненности и широкая изменчивость гидрохимических параметров.

Приоритетными загрязняющими веществами — показателями загрязненности водной среды на придельтовом участке являются (табл. 1, 2) нефтепродукты (кратность превышения ПДК по которым достигала периодически 49–97 у г. Игарка и 27–43 у г. Дудинка), фенолы (35–73 и 16–40), соединения меди (29–33 и 37–39), соединения железа (до 20 и до 15), соединения алюминия (9 и 10–19 соответственно).

Отчетливо проявляется тенденция накопления в водной среде придельтового участка устьевой области р. Енисей минеральных форм азота и фосфора. За счет периодического накопления в водной среде биогенных веществ происходит нарушение внутригодовой сезонной изменчивости их концентраций до уровня превышающего, условно принятые предельно-допустимые экологические концентрации (ПДЭК) по азоту аммонийному (5–7 раз у г. Игарка и 4–10 раз у г. Дудинка), азоту нитритному (15 и 22), азоту нитратному (7–8 и 3–10), фосфору фосфатному (6–8 и 8–15 соответственно). Для соединений фосфора общим характерным является накопление их в водной среде в весенний период с тенденцией повышения концентраций у г. Дудинка в 3–17 раз.

Сформировавшийся за исследуемый период состав абиотической компоненты водной среды приводит к изменению условий функционирования экосистемы придельтового участка устьевой области. Периодическое увеличение концентраций нефтепродуктов, фенолов и соединений меди

Таблица 1

Изменчивость содержания химических растворенных веществ в водной среде придельтового участка устьевой области р. Енисей

Ингредиент ПДК, мг/л	Диапазон колебания концентрации, мг/л			
	г. Игарка		г. Дудинка	
	выше города	ниже города	выше города	ниже города
Азот аммонийный (0,39)	н.о. — 1,12* н.о. — 0,34	н.о.** — 1,48 н.о. — 0,91	н.о. — 1,35 н.о. — 0,81	н.о. — 2,00 н.о. — 0,69
Азот нитритный (0,020)	н.о. — 0,008 н.о. — 0,008	н.о. — 0,016 н.о. — 0,008	н.о. — 0,038 н.о. — 0,016	н.о. — 0,044 н.о. — 0,018
Азот нитратный (9,0)	н.о. — 1,35 н.о. — 0,21	н.о. — 1,65 н.о. — 0,55	н.о. — 2,17 н.о. — 0,19	н.о. — 0,65 н.о. — 0,24
Фосфор фосфатный (0,20)	н.о. — 0,065 н.о. — 0,023	н.о. — 0,083 н.о. — 0,034	н.о. — 0,150 н.о. — 0,036	н.о. — 0,086 н.о. — 0,038
Фосфор общий	н.о. — 0,090 н.о. — 0,090	н.о. — 0,135 н.о. — 0,135	н.о. — 1,02 н.о. — 0,156	н.о. — 0,388 н.о. — 0,118
Легкоокисляемые органические вещества по БПК5 (2,0)	0,60 — 4,00 1,00 — 2,40	0,40 — 5,20 0,90 — 2,90	0,30 — 8,00 0,30 — 2,70	0,20 — 7,70 0,20 — 2,90
Нефтепродукты (0,05)	н.о. — 2,48 0,24 — 1,00	н.о. — 4,88 0,16 — 1,00	н.о. — 2,13 0,16 — 0,52	н.о. — 1,36 0,08 — 0,56
Фенолы (0,001)	н.о. — 0,035 0,001 — 0,009	н.о. — 0,073 0,001 — 0,014	н.о. — 0,040 0,001 — 0,012	н.о. — 0,016 н.о. — 0,006

Изменчивость содержания растворенных форм тяжелых металлов в водной среде устьевой области р. Енисей

Соединения металлов ПДК, мг/л	Диапазон колебания концентрации, мг/л			
	г. Игарка		г. Дудинка	
	выше города	ниже города	выше города	ниже города
Железа (0,10)	<u>0,03 – 2,29*</u> 0,09 – 0,40	<u>0,02 – 2,18</u> 0,10 – 0,38	<u>0,01 – 1,53</u> 0,01 – 0,29	<u>0,01 – 1,92</u> 0,10 – 0,46
Меди (0,001)	<u>н.о.** – 0,033</u> 0,001 – 0,006	<u>н.о. – 0,029</u> 0,002 – 0,009	<u>н.о. – 0,039</u> 0,001 – 0,015	<u>н.о. – 0,037</u> 0,001 – 0,010
Цинка (0,010)	<u>н.о. – 0,089</u> н.о. – 0,014	<u>н.о. – 0,099</u> 0,007 – 0,015	<u>н.о. – 0,054</u> н.о.	<u>н.о. – 0,060</u> н.о.
Алюминия (0,04)	нет данных	<u>н.о. – 0,376</u> 0,007 – 0,081	<u>н.о. – 0,420</u> 0,014 – 0,081	<u>0,001 – 0,760</u> 0,001 – 0,084
Марганца (0,01)	нет данных	<u>н.о. – 0,027</u> 0,005 – 0,021	<u>н.о. – 0,073</u> 0,006 – 0,021	<u>н.о. – 0,074</u> 0,001 – 0,021

Примечания к табл. 1 и 2:

* в числителе – общий диапазон колебания концентрации, в знаменателе – наиболее часто встречаемые значения;

** н.о. – ниже предела обнаружения.

способствует формированию нового «антропогенно-измененного» природного фона по этим показателям. При этом степень загрязненности водной среды характеризуется как «очень» и «весьма загрязненная», а к числу критических загрязняющих веществ относятся нефтепродукты и соединения меди. При дальнейшем загрязнении водной среды нарушается естественное экологическое состояние устьевой области, изменяется не только трофический статус, но и экологическая емкость экосистемы.

С экологической точки зрения изучение пространственно-временной изменчивости содержания растворенных химических веществ, особенно загрязняющих и биогенных, в устьевой области р. Енисей, имеет важное значение для оценки возможного выноса их в арктические моря. В современных условиях антропогенного воздействия устьевые области многих арктических рек функционируют в состоянии повышенной экологической напряженности, а их дальнейшее загрязнение несет серьезную угрозу нарушения экологического благополучия устьевых областей рек, губ и заливов арктических морей.

СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ЗАЛИВА БУЛУНКАН В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ ПО ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

А.Ю.ГУКОВ, А.А.БОРЗЕНКОВ, А.А.ПЕТРУЧЕНКО, С.А.ГУКОВ

Усть-Ленский заповедник, п. Тикси, Россия. e-mail: sgukov@mail.ru

В 2007–2008 гг. на акватории Тиксинского морского порта были проведены масштабные мероприятия по очистке дна залива Булункан от затонувшей древесины. В течение двадцати лет лес, в основном, тяжелая лиственница, по реке Лене доставлялся в Тикси, где перегружался на морские суда-лесовозы и отправлялся по Севморпути на экспорт. Во время штормов, при погрузочно-разгрузочных работах лес терялся, и со временем, тонул в заливе Булункан, который является частью бухты Тикси.

Целью гидробиологических исследований являлось сравнение состояния зообентоса в период с 2007 по 2009 гг., до начала работ по очистке дна бухты Тикси от затонувшей древесины и древесного мусора и после окончания работ. Пробы отобраны дночерпателем Петерсена ДЧ-0,025 м², промыты через систему сит, последнее с диаметром ячеек 0,1 мм. Для фиксации использовался 70-процентный этанол, обработка проб осуществлялась с помощью бинокля МБС-9 и микроскопа «Люмам». Определялись видовой состав, плотность поселения и биомасса зообентоса.

У дна концентрация кислорода может составлять 6,1 мг/л. Недостаток кислорода оказал влияние на состояние гидробионтов. В структуре донных биоценозов были обнаружены полихеты (более 70 % общей численности организмов бентоса), нетребовательные к кислороду. Наиболее чувствительные к недостатку кислорода ракообразные, мизиды, изоподы и амфиподы составляли менее 5 % от общей численности бентоса.

Отмеченные в массе в донных дражных пробах 1926 г., собранных Хмызниковым, полихеты *Euchone rapillosa*, видимо, утратили свое доминирующее значение в биоценозе олигохет в заливе Булункан. В настоящее время эта экологическая ниша заполнена другими видами, видимо, морскими червями *Ampharete vega* и *Marezellaria wireni*.

Район акватории морского порта характеризуется обедненной фауной грунтов, как в качественном, так и в количественном отношении. Здесь существует донный биоценоз *Oligochaeta* (при средней многолетней биомассе 12,2 г/м² и средней плотности поселения 1200 экз./м²), занимающий залив Булункан.

Сравнительный анализ биомассы зообентоса в 2008 и 2009 гг. демонстрирует тенденцию изменений значений плотности поселения и биомассы после проведения мероприятий по очистке дна залива Булункан. Плотность поселения в течение периода отбора проб в 2008 г. изменялась от 5,83 г/м² до 30,4 г/м². Максимум значений наблюдался 10 августа 2008 г. В 2009 г. после мероприятий по очистке дна от затонувшей древесины диапазон изменения значений этого показателя изменился — от 25,7 г/м² до 35,6 г/м². 25 августа 2008 г. был зарегистрирован максимум значений плотности поселений. Это свидетельствует об относительном улучшении экологических условий существования организмов бентоса.

Таблица 1

Характеристика зообентоса в заливе Булункан в 2007–2009 гг. (средние значения).

Год	Плотность поселения, экз./м ²	Биомасса, г/м ²
6.08.2007	420	19,4
5.09.2007	460	20,6
4.10.2007	264,8	19,8
18.10.2007	190,6	20,6
20.11.2007	820	22,5
10.08.2008	711	30,4
6.09.2008	620	15,6
4.10.2008	175,8	5,83
24.10.2008	280,8	19,6
10.08.2009	630	25,7
19.08.2009	1130	32,4
25.08.2009	1240	35,6
28.08.2009	668,2	25,4

Обнаружено, что в донном населении бухты Тикси полностью отсутствуют пресноводные формы, в основном здесь распространены солоноватоводные и наиболее эвригалинные морские виды.

Сравнительный анализ биомассы зообентоса в 2008 и 2009 гг. демонстрирует тенденцию изменений значений плотности поселения и биомассы после проведения мероприятий по очистке дна залива Булункан. Плотность поселения в течение периода отбора проб в 2008 г. изменялась от 5,83 г/м² до 30,4 г/м². Максимум значений 22,5 г/м², при плотности поселений 820 экз./м² наблюдался 20 ноября 2007 г. В 2009 г. после мероприятий по очистке дна от затонувшей древесины диапазон изменения значений этого показателя изменился —от 25,7 г/м² до 35,6 г/м². 25 августа 2009 г. был зарегистрирован максимум значений плотности поселений 1240 экз./м². На фоне общего увеличения значений, это также говорит об относительном улучшении экологических условий существования донных организмов после очистки дна залива.

Тревожная экологическая обстановка в мелководном заливе Булункан — результат воздействия целого комплекса негативных факторов: портовых и строительных работ на берегах, сброса в прибрежную (литоральную) зону стоков, мусора и т.д., судоходства и рыболовства. Большую роль играет загрязнение вод фенолами, затонувшей древесиной и древесными остатками.

После проведения мероприятий по очистке дна залива концентрации загрязняющих веществ, особенно фенолов, снижаются, т.к. уменьшается количество и объемы гниющей древесины, источника фенолов.

По материалам экологического мониторинга известно, что хлоридное и сульфидное загрязнение также распространяется примерно из одного центра, ядрами которого служит залив Булункан. Открытая акватория в бухте Тикси с относительно большими глубинами обладает большими возможностями для самоочищения. Устойчивость водных экосистем постепенно возрастает от прибрежной зоны в сторону моря. В целом же устойчивость водных биоценозов мелководий в заливе Булункан к воздействию антропогенных факторов весьма низкая, что определяется экстремальностью и резкими изменениями (флуктуациями) водной среды.

ТРАНСФОРМАЦИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ВОДНОЙ СРЕДЫ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. КОЛЫМА

М.Ю.КОНДАКОВА

ГУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону, Россия. e-mail: ghi@aanet.ru

Современная устьевая область р. Колыма относится к дельтовому типу и делится на устьевой участок длиной 282 км и устьевое взморье. ГСН (Государственная сеть наблюдений и контроля за загрязнением поверхностных вод суши) проводит наблюдения в устьевой области реки Колыма на замыкающем створе реки (ЗС) у г. Среднеколымск (641 км от устья; площадь водосбора 361000 км²), речной границе устьевой области (РГУО) в районе г/с Колымское (283 км от устья; площадь водосбора 596000 км²), вершине дельты (ВД) в районе мыс Толстый у пос. Черский (120 км от устья реки; площадь водосбора 647000 км²).

В работе использована многолетняя (1980–2007 гг.) режимная информация ГСН по внутри- и межгодовой изменчивости биогенных элементов и загрязняющих веществ в водной среде указанных выше пунктов наблюдений.

Анализ статистически обработанной информации позволил выявить следующее (табл. 1):

- от г/с Колымское к пос. Черский возрастает вероятность возникновения дефицита растворенного в воде кислорода, когда его концентрация снижалась до 4,07–4,61 мг/л;
- на фоне довольно низкого природного фона (определяемого по величине НЧВ) по содержанию в водной среде устьевой области азот- и фосфорсодержащих соединений, отмечена тенденция увеличения максимальных их концентраций от замыкающего створа реки к вершине дельты по азоту аммонийному от 0,29 до 1,50 мг/л; азоту нитритному от 0,010 до 0,153 (на РГУО) и 0,110 мг/л (в ВД); азоту нитратному от 0,37 до 0,66 (на РГУО) и 0,58 мг/л (в ВД). Максимальные значения фосфора фосфатного (0,132 мг/л) отмечены на речной границе устьевой области, а фосфора общего – на замыкающем створе реки (0,441 мг/л);

Таблица 1.

Пространственно-временная изменчивость компонентного состава водной среды устьевой области р. Колымы за 1980–2007 гг.

Ингредиент	Диапазон колебания концентрации, мг/л НЧВ (наиболее часто встречаемые величины)		
	г. Среднеколымск, замыкающий створ реки	г/с Колымское, речная граница устьевой области	п. Черский, вершина дельты
Растворенный кислород	<u>6,78 – 23,3</u> 8,06-13,9 (80)**	<u>4,07 – 15,4</u> 6,07-12,0 (80)	<u>4,61 – 14,7</u> 8,32-11,8 (64)
Азот аммонийный	<u>н.о* – 0,29</u> н.о – 0,05 (74)	<u>н.о – 1,43</u> 0,01-0,10 (72)	<u>н.о – 1,50</u> 0,01-0,10 (90)
Азот нитритный	<u>н.о – 0,010</u> н.о – 0,002 (90)	<u>н.о – 0,153</u> н.о – 0,002 (70)	<u>н.о – 0,110</u> н.о – 0,010 (80)
Азот нитратный	<u>н.о – 0,37</u> н.о – 0,05 (84)	<u>н.о – 0,66</u> 0,01-0,10 (63)	<u>н.о – 0,58</u> н.о – 0,10 (75)
Фосфор фосфатный	<u>н.о – 0,0108</u> н.о – 0,005 (84)	<u>н.о – 0,067</u> н.о – 0,010 (80)	<u>н.о – 0,013</u> н.о – 0,010 (67)
Фосфор общий	<u>н.о – 0,441</u> н.о – 0,020 (61)	<u>н.о – 0,285</u> н.о – 0,020 (71)	<u>н.о – 0,173</u> н.о – 0,020 (65)
Легкоокисляемые органические вещества (БПК ₅)	<u>0,09 – 8,52</u> 0,09 – 1,00 (79)	<u>0,13 – 8,20</u> 1,00 – 3,00 (70)	<u>0,09 – 6,34</u> 1,18– 2,87 (68)
Фенолы	<u>н.о – 0,026</u> н.о – 0,005 (80)	<u>н.о – 0,054</u> н.о – 0,005 (80)	<u>н.о – 0,080</u> н.о – 0,005 (72)
Нефтепродукты	<u>н.о – 0,83</u> н.о – 0,05 (75)	<u>н.о – 1,46</u> н.о – 0,05 (66)	<u>н.о – 0,92</u> н.о – 0,05 (70)
Соединения железа	<u>н.о – 1,37</u> 0,01 – 0,31 (80)	<u>н.о – 3,89</u> н.о – 0,50 (65)	<u>н.о – 2,95</u> н.о – 0,52 (63)
Соединения меди	<u>н.о – 0,023</u> н.о – 0,002 (62)	<u>н.о – 0,060</u> н.о – 0,010 (85)	<u>н.о – 0,030</u> н.о – 0,005 (60)
Соединения цинка	<u>н.о – 0,140</u> н.о – 0,010 (60)	<u>н.о – 0,072</u> н.о – 0,010 (61)	<u>н.о – 0,228</u> н.о – 0,020 (70)

Примечания:

* н.о – ниже предела обнаружения;

** в скобках – частота встречаемости значений, %.

– анализ внутригодовой изменчивости концентрации биогенных элементов в вершине дельты показал, что такие заметные повышения содержания азота аммонийного и фосфорсодержащих соединений характерны для весеннего периода (май–июнь).

Характер пространственной изменчивости диапазонов колебаний концентраций приоритетных загрязняющих веществ позволяет сделать вывод о тенденции увеличения максимальных значений их содержания от замыкающего створа (г. Среднеколымск) к вершине дельты (пос. Черский).

Максимальная кратность превышения ПДК по фенолам меняется в ряду ЗС – РГУО – ВД, как 26–54–80, по соединениям меди, как 23–60–30, по нефтепродуктам, как 17–29–18, по соединениям железа, как 14–39–29, соединениям цинка, как 14–7–23.

Результаты анализа многолетней режимной гидрохимической информации ГСН позволили отметить наметившуюся тенденцию изменчивости компонентного состава водной среды за счет:

1. Нарушения природного равновесия между минеральными формами азота с общей тенденцией увеличения максимальных концентраций последних до значений превышающих ПДК;
2. Повышения к вершине дельты содержания в водной среде азота нитритного, азота нитратного, фосфора фосфатного, легко окисляемых органических веществ (по БПК₅), соединений железа, меди, цинка (по НЧВ);
3. Возрастания вероятности возникновения дефицита растворенного в воде кислорода.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РЫБАХ ЧУКОТСКОГО МОРЯ

Н. В. ЧЕРНОВА

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: chernova@zin.ru

Сборы рыб в Чукотском море были проведены в ходе международной комплексной экспедиции на борту Э/С «Профессор Хромов», осуществленной в сентябре 2009 г. в рамках продолжающейся российско-американской программы Russian-American Long-term Census of the Arctic (RUSALCA). Основной целью ихтиологических работ было исследование видового состава фауны рыб Чукотского моря и сопоставление полученных результатов с данными 2004 г., для выявления возможных изменений в связи с потеплением климата в регионе. Работы проводились в сотрудничестве с американской группой ихтиологов (С. W. Mecklenburg, California Academy of Sciences; В. Holladay and С. Gleason, University of Alaska, М. Busby, NOAA).

В основные задачи экспедиционных работ входило: 1) исследование состава до сих пор мало изученной фауны рыб Чукотского моря и сопредельных районов (Берингов пролив, Восточно-Сибирское море); 2) анализ географического и батиметрического распространения отдельных видов рыб; 3) отбор ваучерных экземпляров для коллекций Зоологического института и ряда зарубежных музеев, предназначенных для проведения дальнейших таксономических исследований при разработке систематики отдельных групп рыб.

Для отлова рыб применялся донный оттер-трал раскрытием 9,14 м (30 футов), с размером ячеи в кутце 1,9 см (0,75-inch). Отлов молодежи донных рыб проводился бим-тралом. Размер балки бим-трала составлял 3,05 м, размер ячеи трала – 7 мм, размер ячеи в кутце – 4 мм.

В отношении ихтиофауны были исследованы следующие районы: 1) южный и юго-западный районы моря, 2) пролив Лонга, 3) сопредельные районы Восточно-Сибирского моря, лежащие к западу и северо-западу от о. Врангеля, 4) желоб Геральда, 5) северо-восточный район материкового склона Чукотского моря (GD), 5) юго-восточная часть Чукотского моря. В общей сложности выполнено 30 тралений оттер-тралом и 23 траления бим-тралом.

Всего в ходе экспедиции было поймано более 11 тыс. экземпляров рыб, относящихся не менее чем к 46 видам (преимущественно тресковые Gadidae, керчаковые Cottidae, агоновые Agonidae, липаровые Liparidae, люмпеновые Lumpenidae, стихеевые Stichaeidae, бельдюговые Zoarcidae и камбаловые Pleuronectidae).

В большинстве из перечисленных выше районов состав уловов рыб на станциях включал по 11–25 видов. Почти 2/3 общего улова рыб в большинстве случаев составляла сайка, представленная преимущественно молодью. Сайка, типично арктический вид, доминировала во всех районах исследования, составляя по численности от 31 до 73 % уловов.

В южной и юго-западной части Чукотского моря довольно большую долю по численности составляли шлемоносный бычок *Gymnocanthus tricuspis* (15,8 %), *Muchocephalus* (12 %) и *Lumpenus fabricii* (10,3 %).

В проливе Лонга после сайки довольно многочисленны в уловах арктические виды *Lycodes polaris* (30,7 %), *Anisarchus medius* (11,5 %), *Icelus spatula* (9,4 %).

В Восточно-Сибирском море после сайки, составившей по численности более половины улова (62,4 %), наиболее обычны *Icelus spatula* (14,2 %) и *Lycodes polaris* (12,7 %).

В желобе Геральда после сайки, составившей по численности 73,2 %, наиболее многочисленны *Muchocephalus* (9,6 %) и *Anisarchus medius* (3,8 %).

На северо-восточном материковом склоне Чукотского моря на глубине 588 м видовой состав улова отличался бедностью: были пойманы два вида рыб – *Arctogadus glacialis* и широко распространенный на глубинах в Центральном Арктическом бассейне *Lycodes frigidus*.

В большинстве изученных районов моря наибольшую численность имеют типично арктические виды рыб, что подтверждает установленный ранее арктический характер ихтиофауны большей части акватории Чукотского моря.

Существенных изменений в видовом составе уловов в Чукотском море по сравнению с исследованиями 2004–2008 гг. по предварительным данным не обнаружено.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 08-04-00135а.

НЕКОТОРЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ВОСТОЧНЫХ СУБАРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ БЕРИНГА И ЧУКОТСКОМ

В.Б.ДАРНИТСКИЙ¹, М.А.ИЩЕНКО²

¹ – Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ФГУП «ТИНРО-Центр»), г.Владивосток, Россия. e-mail: laitik@mail.ru

² – Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия e-mail: maksim@poi.dvo.ru

Currently, the European Commission has about 200 the research scientific projects that deal with various scientific and socio-economic aspects of climate change (World Climate Change Conference, 2003). For Russia, an issue of particular importance to the Arctic warming, which is related to many economic projects of our country in the XXI century.

Environmental changes affect ecosystems in different ways, particularly the distribution and biodiversity of species. Temperature variability seems to be the main cause of changes in species distribution. Some report describe catches of tropical fishes northward off their geographical ranges in the Atlantic.

In the Pacific sector of the Subarctic observed similar phenomena. For example, in the Bering Sea in the first decade of XXI century observed phenological shift in the migration of subtropical fish species. In September 2006, in south-western part of the sea complex shooting TINRO Center account was taken of 123 000 tons of saury (*Cololabis saira*) and about 10 000 tons of Japanese sea bream (*Brama japonica*). Such quantity of subtropical fish in the southern Bering Sea has never been observed. The authors attributed this shift, began in 2004 and 2005 ye. to positive anomalies T_w (1,5–2,0°) in the eastern part of the sea and in 2006 spread to the West (colder) part sea.

The Chukchi (adjacent to and north of the Bering Sea) and Beaufort (coastal waters east of Chukchi Sea to the Mackenzie) seas are generally regarded as biologically unproductive. Largely because of long period of ice cover. With climate change, the extent and duration of ice cover is diminishing and waters are warming, which should increase the biological productivity of these areas, making them more hospitable for juvenile salmon. Significant pink and chum catches during 2007 in the Chukchi Sea highlight the possibility of expanding juvenile salmon rearing habitats in the Arctic. Chum, pink, sockeye, coho and chinook salmon have been encountered east of the Chukchi within Canadian Arctic waters. While there is some evidence of recent increases in the frequency of occurrence of pink salmon in the western Canadian Arctic, pink salmon east of Prudhoe Bay are generally considered to be vagrants. Coho, sockeye, and chinook salmon, with apparently less tolerance for cold waters than pink and chum, are rarely encountered east of Point Hope, and chum is the only species thought to be natal to the Mackenzie River and tributaries.

Juvenile salmon were sampled in the northern Bering and Chukchi Sea as part of the united States BASIS survey with the objective of investigating implications of climate change on salmon ecology. Juvenile pink (*Oncorhynchus gorbuscha*) and chum (*O. keta*) salmon growth histories were reconstructed from scale circular patterns, food habits were identified through diet analyses, and growth potential modeling simulations were run to quantify spatial differences in marine habitat. Large catches of juvenile pink and chum in the Chukchi Sea during early autumn 2007 reflected significant utilization of Arctic habitat and was likely in response to warm surface sea temperatures and the extensive loss of sea-ice during the summer. Growth rate was significantly higher for fish inhabiting the Chukchi Sea than those inhabiting the Bering Sea. Larval prickly back (*Lumpenus fabricii*) were heavily preyed upon in the central Chukchi Sea and zooplankton was primarily consumed in the southern Chukchi and northern Bering Sea.

Mass mortality of pacific walrus was registered in the Chukchi Sea in 2007. Polar Bear Patrol inspected about 350 km of the arctic coast of Chukotka (Russia) between Cape Schmidt on the west and Kolyuchinskaya Inlet on the east. According to results of the inspection over 1000 dead walrus were stranded on the coast. Until mid 1990-s scattered ice usually was present in the Chukchi Sea each summer. However recent decades due to global climate change the sea is absolutely ice free in summer and ice edge retreats to deep water zone. Long swimming trough rough ice free sea is severe trail causing death of young and old or sick animals. On coastal haulouts walrus are extremely crowded. In contrast to haulouts on ice coastal ones are often featured by «layering» when some walrus occupy slopes above others. This situation extremely increases mortality of animals during panics.

In 2007 year the area of the ice cover surrounding the North Pole, has decreased for about 1,2 million quadras kilometers. Some experts consider that already in the nearest 5 or ten years the Arctic Ocean will start to be released from ices during the summer periods. In the period 1990–2005 ye. ice thickness throughout the Arctic Basin decreased by an average of 110 cm.

In the Chukotsk Sea there was a positive temperature anomaly in the 2007 year on the near surface waters about 5–7 °C.

МНОГОЛЕТНЯЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НЕКОТОРЫХ КОМПОНЕНТОВ МОРСКИХ ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ В РАЙОНЕ УАС АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ

С.М. ИГНАТЬЕВ

Институт биологии южных морей НАН, г. Севастополь, Украина. e-mail: s-ignat2004@mail.ru

Национальной программой исследований Украины в рамках Международного Полярного года предусматривалось изучение изменчивости морских прибрежных экосистем под влиянием климатических факторов (т. н. «глобального потепления»). В качестве модельного региона выбран район архипелага Аргентинские о-ва, где на о-ве Галиндез в точке с координатами 65° 15' с.ш. и 64° 16' з.д. находится украинская антарктическая станция (УАС) Академик Вернадский (до 1996 г. – британская станция Фарадей). Прибрежные воды у Антарктического п-ова относятся к наиболее продуктивным районам. В период весенне-летнего сезона здесь наблюдается кратковременное, но интенсивное развитие фитопланктона, приводящее к «цветению» воды. Как следствие, достаточно высок уровень продуцирования первичного органического вещества – основы для существования растительного планктона и криля. Для этого региона имеется наиболее длинный ряд метеонаблюдений. С 1998 г. здесь проводятся регулярные комплексные биологические исследования, которые включают в себя круглогодичные наблюдения за высшими трофическими уровнями (морские птицы, рыбы, тюлени и другие потребители криля).

Последнее десятилетие характеризуется стабилизацией роста как среднегодовой, так и средней температуры воздуха антарктической зимой, с одновременным возрастанием потепления весенних и осенних месяцев. Аналогичная ситуация наблюдается и для температуры воды. При схожем тренде сезонных изменений температуры воды последние годы были более теплыми (среднегодовая температура воды $-0,85^{\circ}\text{C}$) по сравнению с 1998 ($-1,15^{\circ}\text{C}$) и 2002 ($-1,25^{\circ}\text{C}$) годами. Поэтому сезон 2006–2008 гг. уже коренным образом отличался от предшествующих лет значительным потеплением морской воды в весенне-летний период и, соответственно, более поздним ледоставом (рис. 1), что создавало для гидробионтов более благоприятные условия существования и отразилось на биологии массовых видов.

Это проявлялось, как в изменениях размерно-половой структуры (доминирование более крупных и зрелых особей большую часть года), так и в расширении ареала, а также в их репродуктивном (смещение сроков размножения и массового появления, уменьшение времени пребывания в личиночной стадии) и пищевом (изменение спектра питания) поведении.

Полученные данные свидетельствуют о существенных изменениях в структуре прибрежной фауны. По сравнению с 2002 г. на порядок возросла численность хищной эуфаузииды *Thysanoessa macrura*. Однако, наиболее существенные изменения были отмечены в структуре прибрежной иктофауны (рис. 2). Среди рыб по мере потепления воды в 2006–2007 гг. на второе место по численности (12,2 %) выходит не ловившаяся до 2004 г. мраморная нототения *N. rossii*, оттесняя доминировавших ранее трематомов. Почти вчетверо возросла доля крокодиловой белокрылки *Chaenocephalus aceratus* (табл. 1, рис. 2). Потепление воды сопровождалось также существенными изменениями в размерно-половой структуре массовых видов, что выражалось в доминировании более крупных и зрелых особей большую часть года (увеличение средних размеров особи). Для большинства массовых видов рыб наблюдалось также смещение размножения с зимне-весеннего на осенне-зимний период южного полушария.

В конце XX века распространение мраморной нототении ограничивалось северной частью Земли Грейама (Антарктический п-ов) по линии о-вов Десепшен – Тринити. В 2002–2003 гг. этот вид был отмечен как у станции Порт Локрой, так и на базе США Пальмер. Начиная с 2004 г.

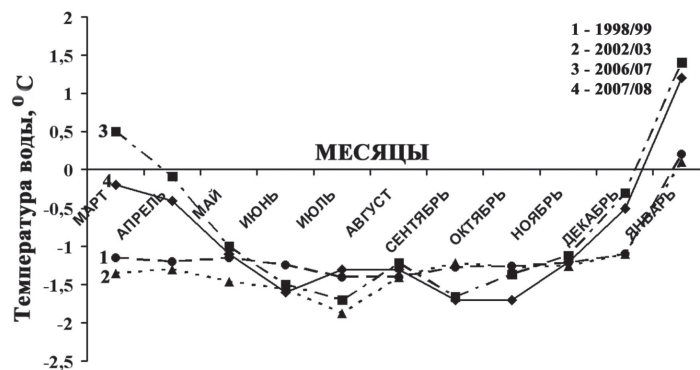


Рис. 1. Годовой ход среднемесячной температуры воды в поверхностном слое (1998–2008 гг.)

Межгодовые изменения в таксономической структуре рыб (% от встречаемости) в прибрежных водах островов Аргентинского Архипелага

Species	1998/99	2002/03	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08
<i>Notothenia coriiceps</i>	87	71	51,2	71,4	86	73
<i>Trematomus bernacchii</i>		17	38	23,5	6,4	1
<i>Trematomus newnesi</i>		7	3,9	0	0	6
<i>Lepidonotothen nudifrons</i>		1,2	3,2	0	0	1
<i>Chaenocephalus aceratus</i>	+	+	0	2,9	8,4	1,5
<i>Notothenia rossii</i>	—	—	+	+	+	12,1

Примечания: «—» — отсутствие вида в уловах; «+» — единичное обнаружение

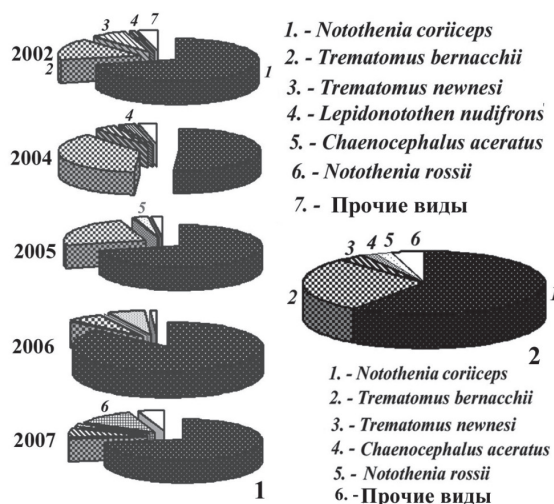


Рис. 2. Таксономическая структура уловов рыб: 1 — по годам; 2 — в среднем за период исследований.

мраморная нототения постоянно встречается в прибрежных водах о-вов Аргентинского архипелага (район УАС) (табл. 1), а в 2006 г. — впервые отмечен на британской станции Розер. Это более чем на 400 км южнее зафиксированной в конце века границы. Кроме того, по данным CCAMLR с 2000 г. промышленный вылов мраморной нототении возрос в три с половиной раза. Предполагается, что в условиях потепления этот вид не только расширяет свой ареал далее на юг, но и увеличивает свою численность.

Аналогичная ситуация отмечена и для массового вида пингвинов дженту (*Pygoscelis papua*), увеличившего по сравнению с 1997–1998 гг. в 2,7–3,3 раза и расширившего южную границу нахождения репродуктивных колоний за пределы архипелага Аргентинские о-ва примерно на 30 км от о-ва Питерманн до мыса Туксен. То есть к 2006–2008 гг. значительно возросли как общая численность потребителей криля, так и его доля в их рационе (например, для *Notothenia coriiceps* более чем на порядок, для *Trematomus bernacchii* — почти в пять раз).

В тоже время обилие криля по сравнению с 2002 г. возросло незначительно. При зафиксированных нами среднегодовых биомассах криля его запас криля в прибрежных водах о-ва Галиндез (12 км²) на протяжении года составил бы 6,5–21,0 т. По разным данным для пингвинов Адели суточные потребности составляют 380 г криля; для дженту такие потребности колебались от 360 г криля в зимний период до 520 г (для кормящих птиц) весной и летом. При такой интенсивности питания только присутствующие на острове пингвины на протяжении года потребят 130–380 т криля, что почти в 20 раз больше запасов криля на учетной акватории. Это подтверждает мнение Э.З.Самышева об активном пополнении запасов рачков за счет их переноса течениями и, как следствие, гетерогенность существующей в прибрежных водах УАС популяции криля. Последнее предполагает существование как минимум двух группировок криля, которые различаются размерно-половой структурой и особенностями поведения.

Учитывая, что изменения температуры воды проявляются примерно через три года после аналогичных изменений температуры воздуха, то следует ожидать продолжения перестройки прибрежных экосистем Аргентинские о-ва в ближайшее время.

К ВОПРОСУ О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ПРИБРЕЖНЫХ АНТАРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ

Э.З.САМЫШЕВ

Институт биологии южных морей НАН Украины, г. Севастополь, Украина. e-mail: esamyshev@mail.ru

На основе комплексного экологического мониторинга в течение 12 лет получено целостное представление о структурной организации водной экосистемы в малоизученной прибрежной зоне, прилегающей к Украинской Антарктической станции «Академик Вернадский» (регион островов Аргентинского архипелага). Структура и функционирование биоты определяются специфической ответной реакцией ее экологически разных элементов на ряд лимитирующих факторов. Известная несбалансированность антарктического планктона по трофическим взаимоотношениям сообществ усугубляется кратковременностью вегетационного периода, активным обменом вод прибрежья с открытым океаном и загрязнением среды. Изменчивость гидрофизических параметров на акватории региона определяется главным образом приливно-отливными процессами а также образованием локальных циркуляций под влиянием ветровой деятельности и топогенными факторами. Впервые установлена масштабная загрязненность среды тяжелыми металлами разной токсичности тектонической природы, поступающими с о-вов Аргентинского архипелага и, вероятно, с Антарктического полуострова. Интенсивность этого процесса связывается с таянием ледников в условиях наблюдающегося потепления.

В результате при обилии фито- и бактериопланктона слабое развитие получают другие компоненты планктона, а значительная доля первичного вещества поступает на дно, обуславливая интенсивное развитие донной фауны. Выявлена аккумуляция тяжелых металлов разной токсичности в организмах массовых видов фито-зообентоса, макропланктона и рыб. Явно выраженное ингибирование этими загрязнителями проявляется на «ранимых» компонентах биоты – мезозопланктоне, преимущественно состоящим из ракообразных (копепод), криле и, по-видимому, на рыбах – вероятнее всего объясняющимся негативным воздействием поллютантов на их икру и личинок. В связи с этим популяции этих объектов являются зависимыми. Резистентность популяций прикрепленных и малоподвижных форм (макрофитобентос, зообентос, амфиподы), аккумулирующих тяжелые металлы, может быть объяснена существованием разных специфических механизмов.

Масштабность процессов загрязнения, вероятно, обуславливает и сокращение пополнения популяции криля в регионе.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ САЛЬПЫ НА ОСНОВАНИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТАБОЛИЗМА

Н.И.МИНКИНА

Институт биологии южных морей НАН Украины, Севастополь, Украина. e-mail:niminkina@yandex.ru

Сальпы, являясь пищевым конкурентом криля, характеризуются чрезвычайно высокими темпами роста и размножения, что может приводить к катастрофическому увеличению их численности.

В марте-апреле 1998 г. у о-вов Элефант, Кинг Джордж и Южных Оркнейских и в 2002 г. в проливе Брансфилда в ходе Украинских Антарктических экспедиций нами были выполнены экспериментальные измерения интенсивности энергетического метаболизма (ЭМ) *Salpa thompsoni* Foxton (Минкина, Самышев, 2004). Целью экспериментов являлось выявление состояния популяций антарктической сальпы в исследуемых районах.

Нами был разработан метод мониторинга «благополучия» пелагиали на основании оценки пространственной вариабельности уровня энергетического ЭМ массовых видов зоопланктона (Минкина, 2007). Метод предполагает исключение составляющих дисперсии измеряемых величин интенсивности дыхания, связанных с условиями опытов (экспериментальной плотностью популяции животных) и суточным ритмом жизнедеятельности гидробионтов (рис. 1). Влияние среды обитания вида описывается оставшейся компонентой изменчивости интенсивности ЭМ.

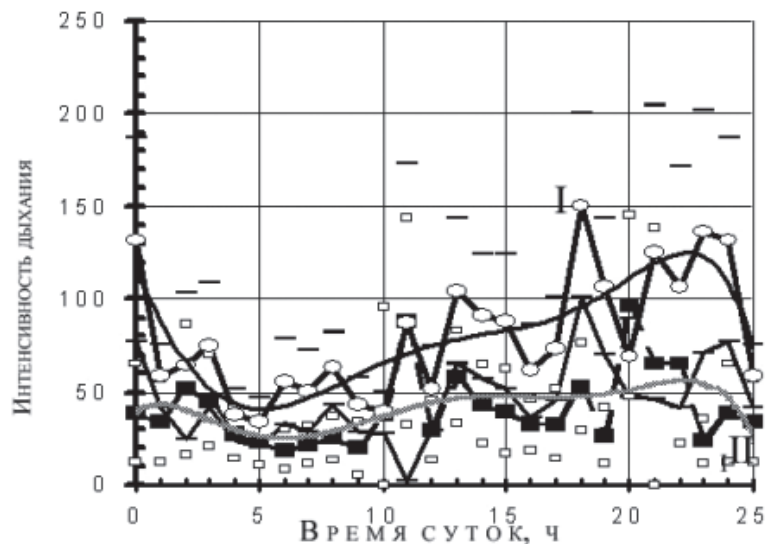


Рис. 1. Суточный ритм интенсивности дыхания (R/W , мкг O_2 -г сыр. веса-ч⁻¹) у одиночной (I) и колониальной (II) форм *Salpa thompsoni* (Минкина, Самышев, 2004). Температура экспериментов – 2...3 °С. Интенсивность дыхания пересчитана к выбранной экспериментальной плотности популяции сальп в опытах, равной 3 г сыр. массы-л⁻¹. Объем выборки для одиночной формы – 463 значения, колониальной – 128. Приведены доверительные интервалы при 90 % уровне значимости.

На основе выполненных экспериментов получены векторные поля отклонений уровня ЭМ сальп от статистической «нормы». Выявлены области и причины ингибирования и успешной жизнедеятельности их популяций при разных сценариях развития планктонного сообщества. При благоприятных физико-химических условиях вектор и величина отклонения ЭМ сальп в океанической зоне зависит от обеспеченности желетелых кормом. Яркая выраженность этой связи у сальп обусловлена чрезвычайно высокой интенсивностью их питания, на порядок превосходящей рационы других массовых гетеротрофов в планктоне. Позитивные значения отклонений ЭМ сальп наблюдались в динамически активной зоне в районе о. Мордвинова (Ломакин, Самышев, 2004). Основным фактором, ингибирующим жизнедеятельность сальп (отрицательные отклонения), является дефицит пищи, имеющий место во время зимней и ранне-весенней фазы сукцессии планктонного сообщества или в результате механического сгущения желетелых в стационарированных вихрях, образующихся в устьях проливов или на мелководьях вследствие изрезанности береговой линии (в проливе Брансфилда (рис. 2), у о-вов Южно-Оркнейских и Кинг Джордж) (Минкина, Самышев, 2009).

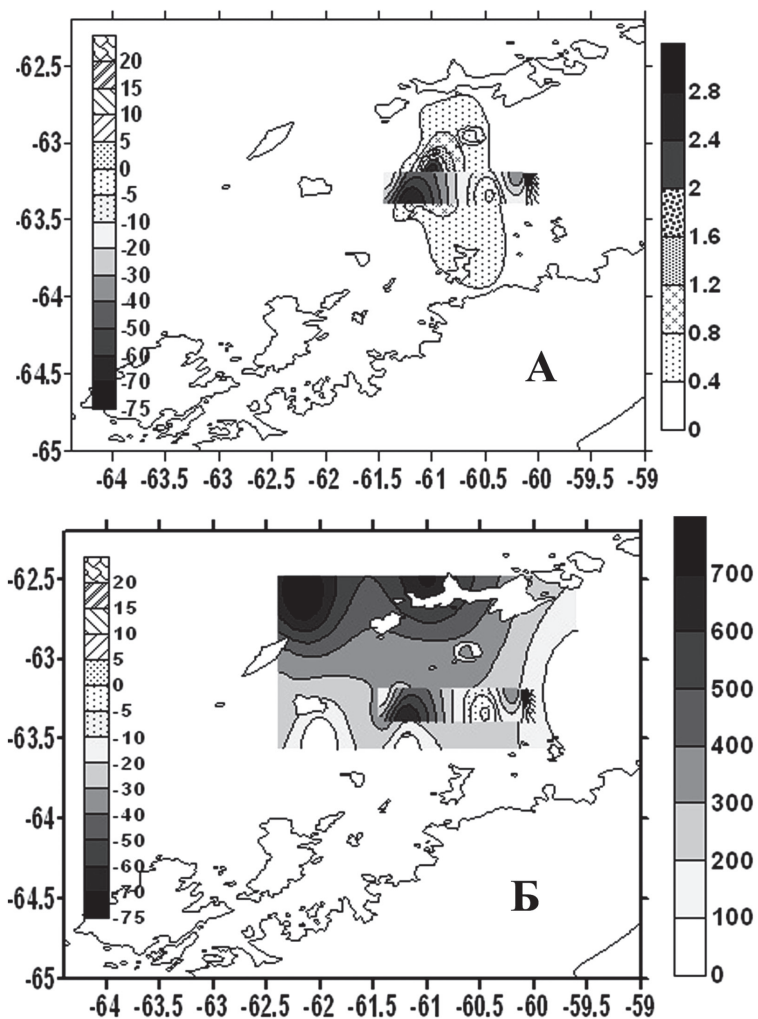


Рис. 2. Обмен *Salpa thompsoni* в проливе Брансфилда (март–апрель 2002 г.) в связи с обеспеченностью пищей (Минкина, Самышев, 2009). А – распределение биомассы сальп ($\text{г}\cdot\text{м}^{-3}$, шкала справа), Б – распределение биомассы фитопланктона ($\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$, шкала справа) (Кузьменко, 2004). Шкала слева относится к полю пространственной изменчивости обмена антарктических сальп (в % отклонения от «нормы»)

Выявленные связи представляют интерес как для понимания механизма саморегуляции сообществ в антарктическом планктоне, в том числе – проникновения сальп в высокие широты, так и коррекции балансовых расчетов потоков вещества и энергии в антарктической зоне.

БИОРЕСУРСЫ ЗООБЕНТОСА В ЧУКОТСКОМ МОРЕ

С.Г.ДЕНИСЕНКО, Б.И.СИРЕНКО, В.В.ПЕТРЯШЕВ

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: marine@zjn.ru

Для оценки биоресурсов зообентоса Чукотского моря нами использованы материалы количественных сборов бентоса, выполненных сотрудниками ЗИН РАН и американскими исследователями в 1976–2006 гг. более чем на 200 станциях.

Сопоставление статистически взвешенных относительно площади, характеризующей каждую станцию, величин биомассы показало, что наибольший вклад в биоресурсы зообентоса Чукотского моря вносят 9 видов, общая доля которых в суммарных биоресурсах донных беспозвоночных составляет 50 %. Пять из них относятся к классу двустворчатых моллюсков. Это – *Macoma calcarea*, *Ennucula tenuis*, *Astarte borealis*, *Nuculana radiata* и *Yoldia hyperborea*. Из них наибольшую значимость имеет *M. calcarea*, суммарные биоресурсы которой превышают вклад всех остальных, взятых по отдельности видов, в несколько раз.

Пространственное распределение общей биомассы зообентоса и пяти наиболее массовых видов на акватории Чукотского моря крайне неоднородно. Для общей биомассы наиболее высокие значения отмечаются в северо-западной и южной частях моря. Из отдельно взятых видов наиболее высокими биомассами характеризуется *M. calcarea*. Максимальные скопления этих моллюсков отмечаются в южно-юго-западном районе моря. Среди остальных двустворчатых моллюсков самые высокие биомассы в юго-западной части моря имеет *E. tenuis*. Для *A. borealis* наиболее высокие биомассы обнаружены в северных районах моря, Колючинской губе и заливе Коцебу. Основные крупные поселения *N. radiata* больше тяготеют к западной части моря. Для *G. margaritaceum* повышенные значения биомасс зарегистрированы, главным образом, в северном и северо-восточном районах моря.

Из крупных таксонов в Чукотском море заметно преобладают двустворчатые моллюски. Они составляют более 50 % биоресурсов зообентоса, как по влажной, так и по сухой массе. Даже с учетом того, что во влажной биомассе моллюсков примерно 30–50 % приходится на раковину, роль этой группы остается лидирующей и после пересчета влажной массы в органический углерод. Вклад остальных систематических групп на порядок меньше, чем двустворчатых моллюсков. На долю полихет, а также иглокожих (в нашем случае голотурий и морских ежей) приходится примерно по 11 % всех биоресурсов моря.

Распределение биомассы двустворчатых моллюсков напоминает распределение общей биомассы зообентоса. На севере, в желобе Геральд, локально доминируют полихеты, а у о. Врангеля наблюдаются скопления голотурий. В восточной части моря и в Беринговом проливе помимо голотурий зарегистрированы плотные поселения морских ежей.

Асцидии, морские ежи, усонogie раки, амфиподы и актинии формируют скопления преимущественно в южной части моря, в зоне наибольшей динамики вод, причем, судя по расположению локальных максимумов биомассы для этих групп, они, как правило, не накладываются друг на друга.

По типу питания в Чукотском море преобладают фильтраторы сестонофаги, доля которых превышает 44 %, а биоресурсы составляют около 40 млн т. при средней биомассе организмов 141 г/м². Доля детритофагов (собирающих и грунтоедов) составляет в целом 45,2 %, и вклад их в общие биоресурсы приблизительно равен вкладу фильтраторов, что в сумме дает также порядка 40 млн т. Соотношение биоресурсов собирающих детритофагов и грунтоедов составляет 3:2. На долю всеядных и хищников приходится не более 10% при их суммарных биоресурсах порядка 7,5 млн т. Средняя биомасса различных трофических групп в целом более пропорциональна их биоресурсам, нежели соотношение биомассы и биоресурсов крупных таксонов и ключевых видов.

На картах, отражающих пространственное распределение отдельных трофических групп, легко прослеживается тенденция замещения поселений с доминированием животных с фильтрационным типом питания, обитающих в основном в самой южной и крайней северо-западной частях моря, на поселения детритофагов-собирающих, которые обитают в западной и юго-западной частях моря. Грунтоеды доминируют в восточной и северо-восточной частях моря. Наиболее высокие биомассы хищников совпадают с местами скоплений животных фильтраторов.

Чукотское море – одно из самых мелководных морей российской Арктики, и доля фитодетрита поступающего на дно из поверхностных слоев водной толщи должна быть там наибольшей в связи с тем, что высота водного столба в 3–4 раза меньше, чем в других водоемах. Небольшая глубина обеспечивает избыток пищи для донных беспозвоночных, в результате чего формируются крайне высокие биомассы зообентоса, превышающие 1 кг/м², даже в открытых районах моря.

Именно поэтому при площади почти в три раза меньшей, чем площадь Баренцева моря, биоресурсы зообентоса Чукотского моря уступают баренцевоморским лишь менее, чем в полтора раза.

Максимумы биомассы донных беспозвоночных, отмеченные в южной части моря, совпадают с местоположением постоянного циклонического круговорота (Ратманов, 1937). Роль этого круговорота в формировании зоны высокой биомассы зообентоса по нашему мнению заключается в том, что, будучи циклоническим, он обеспечивает постоянный подъем глубинных вод, обогащенных биогенами на поверхность. Постоянный приток биогенов позволяет фитопланктонному сообществу интенсивно функционировать здесь весь световой сезон года и бесперебойно снабжать бенталь свежим фитодетритом – основным источником пищи донных беспозвоночных.

Вероятнее всего, образование круговорота связано с формированием, так называемой, колонны «Тейлора» в месте вхождения мощного потока беринговоморских вод в начало центральной долины моря. Достаточно резко заглубляющееся русло долины формирует характерный для северного полушария циклонический круговорот (Fohrmann et al., 2001), который в силу устойчивости беринговоморского течения может существовать здесь постоянно, независимо от наличия или отсутствия встречного течения.

Выявленное (практически равное) соотношение трофических групп сестонофагов и детритофагов хорошо соответствует положению, высказанному А.А.Нейман (1961), согласно которому подобная трофическая структура должна быть свойственно морям с широким и пологим шельфом, а само море в целом можно рассматривать как эвтрофированный водоем. Обычно такое соотношение трофических групп развивается на фоне слабо сбалансированного трофического цикла в пелагиали, в результате чего основу донных сообществ составляют устойчивые популяции бентосных животных с медленной сменой поколений.

1998–2007: МНОГОЛЕТНИЙ ТРЕНД ОБИЛИЯ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖЬЕ АРГЕНТИНСКИХ ОСТРОВОВ, АНТАРКТИКА

С.А. СЕРЕГИН

Институт биологии южных морей НАН Украины, г. Севастополь, Украина. e-mail: serg-serugin@yandex.ru

Материалы по общей численности бактериопланктона (ОЧБ) собраны в прибрежных водах Антарктического полуострова в районе Украинской антарктической станции Академик Вернадский (УАС) ($65^{\circ} 13' - 65^{\circ} 16'$ с.ш. и $64^{\circ} 19' - 64^{\circ} 13'$ з.д.) сотрудниками ИнБЮМ и обработаны автором сообщения. Пробы собирали во время сезонных мониторинговых съемок «южной» осенью (1998 и 2005 гг.) и круглогодичных зимовок в 2002–2003, 2005–2006 и 2006–2007 гг.

За время наблюдений можно выделить 2 периода с разным направлением изменений обилия бактериопланктона. Временной отрезок 1998–2002–2005 гг. характеризовался прогрессивным снижением ОЧБ (сравнение в рамках осеннего сезона). Причем, наблюдалось согласованное уменьшение обилия фито- и бактериопланктона при постоянстве соотношения их биомасс (рис 1).

По сравнению с 1998 г., когда средняя численность бактерий в поверхностном слое составляла в предзимний период $5,0 \pm 0,9 \times 10^5$ мл⁻¹, в 2002 г. она снизилась до $3,43 \times 10^5$ мл⁻¹. В 2005 г. этот показатель еще понизился до более, чем в 2 раза меньших величин: $2,35 \pm 0,3 \times 10^5$ клеток в 1 мл воды. По любезно предоставленным нам данным Ю.В.Брянцевой и Л.В.Кузьменко о видовом и количественном составе фитопланктона (соответственно, 1998 и 2002–2005 гг.) нами были рассчитаны ориентировочные оценки его «углеродной» биомассы. Относительная к ней величина бактериальной биомассы для осеннего периода не претерпевала существенных изменений в течение рассматриваемого периода наблюдений и оставалась на одинаково высоком уровне: 70–78 %.

Обработка материалов 11-й украинской антарктической экспедиции 2006/07 г. показала, что по общей направленности сезонных изменений полученная динамика хорошо согласуется с ранее полученными данными 2002 и 2005 гг. Однако, в отличие от прошлых сезонов, в 2006/07 гг. наблюдался более высокий уровень количественного развития бактериопланктона, – как в периоды пиковых изменений численности, так и в целом за сезон (рис. 2). Например, минимальные значения численности в осенне-зимний период 2006 г. составили 230–350 тыс. кл. мл⁻¹, а средний уровень зимнего периода колебался вокруг значений в 600–700 тыс. кл. мл⁻¹. Соответствующие величины в 2005 г. были гораздо ниже и варьировали от 60 до 140 тыс. кл. мл⁻¹. «Пиковые» величины обилия бактерий сезона 2006/07 г. были на порядок выше минимальных и достигали 2 млн кл. мл⁻¹ – в осенний период и 4 млн кл. мл⁻¹ – в летний, наиболее продуктивный период годового цикла. Что также значительно выше уровня обилия 2005 г. Среднегодовое значение численности составило около 1,3 млн кл. в 1 мл. Сезонная динамика обилия планктонных бактерий характеризовалась высокой степенью внутригодовой вариабельности.

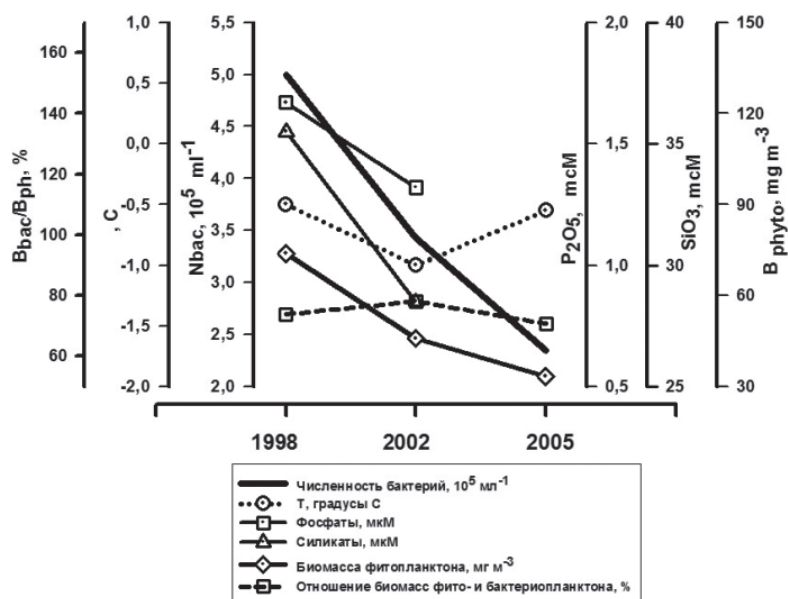


Рис. 1. Межгодовая изменчивость ОЧБ поверхностных вод (средние значения для осеннего периода) на фоне некоторых биологических и гидролого-гидрохимических параметров в районе УАС.

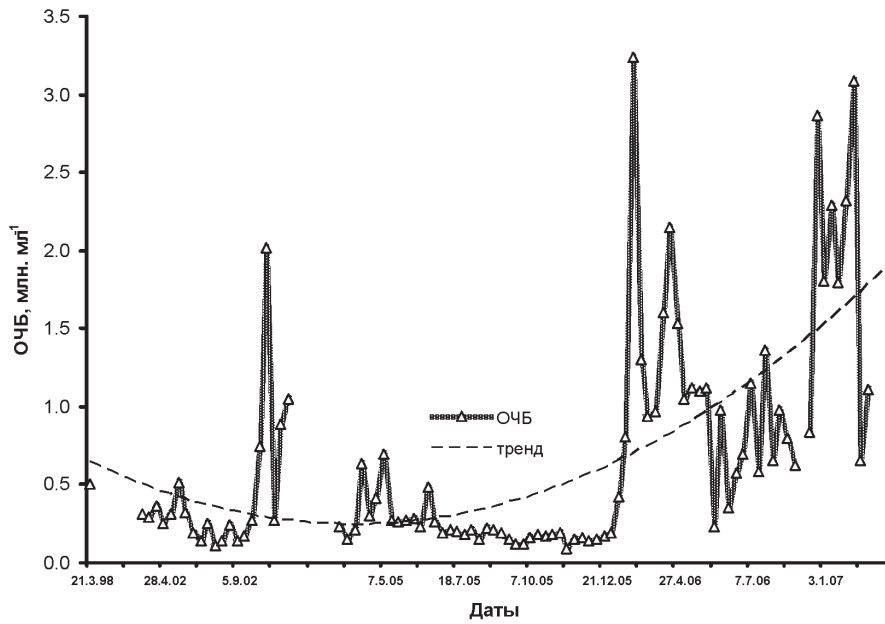


Рис. 2. Сезонная и многолетняя динамика ОЧБ в прибрежных водах о. Галиндез (Антарктика): ОЧБ – млн кл. мл⁻¹; тренд – полиномиальная функция 2-й степени.

Доминирующими формами в бактериопланктоне исследуемого района являются кокки. Их содержание в течение года колебалось, в основном, в пределах 70–85 %. Палочковидные бактерии варьировали, в большинстве случаев, в пределах 3–10 %, а бактерии в стадии деления – от 1,0 до 30 %. При резко выраженном флюктуирующем характере изменений содержания палочковидных бактерий и бактериальных клеток в стадии деления связь их количества с общим обилием бактериопланктона несомненна. Их максимальные показатели характерны именно для «пиковых» периодов возрастания ОЧБ. Более того, повышение активности деления бактериальных клеток обычно предшествовало локальным пикам ОЧБ.

Результаты исследований свидетельствуют об исключительно высокой межгодовой и сезонной изменчивости показателей микропланктонного сообщества антарктических вод, отмечаемой многими исследователями и для других регионов Антарктики.

ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ИХТИОПЛАНКТОНА АНТАРКТИКИ

О.С.ВОСКОБОЙНИКОВА

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: vosk@zin.ru

Изучение закономерностей существования и распределения ихтиопланктона в водах Мирового океана необходимо в связи с прогнозированием состояния запасов взрослых рыб и для понимания роли ранних стадий развития рыб в планктонных и прибрежных сообществах. Ихтиопланктон антарктических вод должен занимать в этих исследованиях приоритетное положение, поскольку даже ранние стадии развития антарктических рыб подвержены сокращению численности, связанному с промыслом криля, сосуществующим с ними в верхних слоях пелагиали. Уже в первых работах по изучению ихтиопланктона Антарктики 1900–1916 гг. были определены основные направления исследований: выявление общих особенностей строения и биологии пелагических личинок и выявление систематического значения личиночных признаков. В работах 50–60-х гг. прошлого века обсуждаются важные закономерности увеличения размеров икринок, личинок и их желточного мешка у рыб по направлению к полюсам и сезонность развития личинок нототениевидных. С середины прошлого века и после начала программ Международного геофизического года и BIOMASS советскими, английскими, немецкими, польскими и американскими исследователями были выполнены подробные описания личинок и молоди 64 видов или почти половины видов подотряда нототениевидных, собранные в представительные атласы и определители антарктического ихтиопланктона. В широких масштабах проводилось изучение распределения, динамики численности, размеров, сроков вылупления, метаморфоза и перехода к демерсальному образу жизни, темпов роста и развития, а также питания личинок и молоди нототениевидных рыб. В результате был подготовлен ряд обзоров по биологии размножения и постэмбриональному периоду нототениевидных, посвященных главным образом рыбам Западной Антарктики и акватории у о-вов Кергелен и Крозе. Значительно менее изученными оказались ранние стадии развития рыб Восточной Антарктики, сведения о которых до сих пор можно найти лишь в разрозненных публикациях. Все исследователи подчеркивают, что значительную роль в становлении особенностей размножения нототениевидных рыб сыграла сезонность климата, особенно выраженная в Западной Антарктике. Для нототениевидных рыб характерен единовременный нерест, проходящий в течение одного сезона. Приуроченность подъема зоопланктона из более теплых придонных вод к пику продуктивности фитопланктона в весенние антарктические месяцы и связанный с этим пик продукции зоопланктона летом, обеспечивающий максимальное снижение пищевой конкуренции, обусловили вылупление личинок большинства видов *Nototothenioidae* весной и летом, так, чтобы их активное питание могло начаться вскоре после вылупления. Существует определенная последовательность вылупления личинок разных видов в течение лета. Рядом авторов сделан вывод, что в распределении различных фаз и стадий развития личинок нототениевидных рыб отмечается четкая последовательность и приуроченность каждой фазы или стадии к определенному периоду или сезону. Длина личинок при вылуплении составляют 5–17 мм, что предполагает их питание пищевыми объектами различного размера, также ослабляющее межвидовую пищевую конкуренцию. Экзогенное питание начинается до полной резорбции запасов желтка, которая может быть пролонгирована в связи с активным питанием. Присутствие запаса желтка позволяет личинкам с весенне-летним нерестом справиться с вариабельностью состояния паковых льдов в Западной Антарктике, связанных с ней продукционных циклов и возможным продолжительным периодом недостатка пищи после вылупления. Основной причиной смертности личинок считается не недостаток пищи, а пресс хищников. В обзорах ранних стадий развития обобщены данные по адаптивной стратегии размножения нототениевидных, связанные с разными размерами икринок, сопровождающихся вылуплением личинок разного размера. Установлено, что распространение личинок конкретных видов в основном соответствует распространению взрослых рыб. В последние годы темпы изучения антарктического ихтиопланктона заметно снизились. В это время была проведена идентификация и описание личинок и молоди 14 видов и дополнены сведения о ранних стадиях еще 7 видов нототениевидных рыб. Важным открытием послужила находка и описание личинок *Acanthodraco dewitti* из моря Росса, взрослые особи которого до этого были известны лишь от Антарктического п-ва и из моря Уэдделла. В результате исследования развития костного скелета в онтогенезе нототениевидных рыб выявлено, что по мере повышения уровня морфологической продвинутости видов в семействах *Nototheniidae*, *Bathydraconidae*, *Channichthyidae* в частности и в подотряде нототениевидных в целом закладка костных элементов переносится на все более поздние сроки, а

продолжительность личиночного периода развития несколько возрастает. Сравнение имеющихся в литературе данных о возрасте полового созревания нототениевидных и филогенетически близких к ним окунеобразных из умеренных вод северных широт характеризует нототениевидных как рыб с длительным периодом полового созревания. Высказано предположение, что понижение температуры антарктических вод послужило лишь пусковым механизмом снижения темпа развития скелета в онтогенезе нототениевидных. Поздняя закладка костных элементов у личинок и частичная редукция скелета взрослых рыб способствовали повышению их плавучести, что дало личинкам возможность более полного освоения пищевых ресурсов пелагиали и способствовало их расселению в новые местообитания, а взрослым нототениевидным обеспечило вторичный выход в пелагиаль для использования богатых кормовых возможностей антарктического зоопланктона. Проведено изучение распространения и распределения в связи с водными потоками личинок нототениевидных рыб от о-ва Кергелен и в море Рисер-Ларсена. Впервые обнаружен вектор дисперсии молодых стадий развития, связанный с течениями. Они транспортирует личинок к районам питания, которые связаны с фронтами или водоворотами, как было показано на примере *Lepidotothen squamifrons*. В перспективе должны быть продолжены работы по идентификации ранних стадий развития антарктических рыб, привлекающие для этой цели генетические исследования по баркодингу. Необходимо продолжение исследования сообществ и личиночного цикла в целях установления благоприятных условий выживания и также адаптаций ранних стадий развития в отношении биофизических факторов и их дисперсии. Необходимо проверка при помощи генетических и экологических методов теории метапопуляции относительно низких широт Антарктики, а также ее континентального шельфа, где существуют разрывы популяций в связи с воздействием айсбергов и глубоководными шельфовыми депрессиями.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДОННЫХ БИОЦЕНОЗОВ ЗАЛИВА ПРЮДС

Б.И.СИРЕНКО, С.Ю.ГАГАЕВ, В.ЛДЖУРИНСКИЙ, Ф.В.КОБЕКОВ, В.В.ПОТИН

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: marine@zin.ru, gagaev24@yahoo.com

Сотрудниками лаборатории морских исследований в течение МПГ были проведены исследования в Антарктике, направленные на изучение донных экосистем залива Прюдс в море Содружества. Основной целью исследований в Антарктике была закладка основ гидробиологического мониторинга этого залива.

За две экспедиции с 2006 по 2009 гг. впервые в заливе Прюдс было выполнено 9 морских гидробиологических разрезов.

Водолазные погружения позволили установить сравнительно высокое разнообразие донных ландшафтов этого района.

Предварительные результаты обработки макробентосных проб указывают на относительно высокое биоразнообразие в исследованных участках акватории у станции «Прогресс», где обитает более 300 различных видов морского макробентоса. Особенно большое видовое разнообразие отмечено для иглокожих, губок, полихет и асцидий. Несколько видов, собранных в заливе оказываются, по-видимому, новыми для науки. Получена достоверная картина распределения донных сообществ фьорда Нелла и открытой акватории залива Прюдс. Настоящие исследования показали, что доминирование красных водорослей (*Phyllophora antarctica*) и морских ежей в мелководных участках Антарктики (на глубинах до 20 м) не является повсеместной, а наблюдается, как правило, на мягких и смешанных грунтах. Жесткие грунты имеют иные доминирующие виды, представленные в основном губками, асцидиями и полихетами, здесь очень часто филлофора замещается известковыми водорослями (местами площадь покрытия составляет около 80 %). Биомасса бентоса в изученных участках на глубинах от 3 до 30 м колеблется от 1600 до 5000 г/м², что характерно для высокопродуктивных областей Мирового океана. Анализ распределения морских бентосных сообществ выявил их слабо выраженную поясность.

В ходе проведенных работ впервые получены следующие результаты:

1. Получены предварительные данные по составу и распределению донных организмов на 9 гидробиологических разрезах в заливе Прюдс на глубинах от 0 до 61 м.
2. Заложены прочные основы для гидробиологического мониторинга, позволяющие в будущем следить за динамикой морских экосистем с целью определения влияния антропогенного загрязнения и климатических флуктуаций на морскую биоту.
3. Выяснено распределение донных осадков на изученных разрезах в фьорде Нелла и в открытой части залива Прюдс до глубины 61 м.
4. Собран материал по фито- и зоопланктону в заливе Прюдс.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ СЕКЦИИ «МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ»

МОРСКОЕ БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ЛЕДОВЫЕ БИОТОПЫ: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИРОДООХРАННОГО АТЛАСА МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

М.В. ГАВРИЛО¹, В.А. СПИРИДОНОВ², А.В. ПОПОВ¹

¹ – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: m_gavrilo@mail.ru

² – Институт океанологии им. П.П.Шириова РАН и Всемирный фонд природы (WWF-Россия)

Управление охраняемыми природными территориями и акваториями с помощью специальных планов глобально рассматривается как одна из приоритетных стратегий адаптации к изменению климата. Среди наиболее важных задач, которые выполняют охраняемые природные территории, – минимизация кумулятивного эффекта, т.е. создание таких участков, где природа была бы предоставлена сама себе, и где виды живых существ и их сообщества могли бы, при исключении негативного антропогенного воздействия и, может быть, некоторой помощи человека, использовать свои адаптационные возможности и приспособиться к меняющимся условиям. В современных условиях морские и прибрежные резерваты могут оказаться единственным инструментом, позволяющим предотвратить потерю уникального природного комплекса или единичного объекта.

В ходе последних двух лет группой экспертов по инициативе Всемирного фонда природы был подготовлен Атлас морей Российской Арктики, отображающий информацию о распространении ключевых природных элементов, формирующих морское разнообразие (биотопическое и биологическое), а также об основных антропогенных угрозах этому разнообразию. Атлас задуман как пространственная основа для морского природоохранного планирования в арктических морях России в условиях меняющегося климата.

Структура морского природного разнообразия Российской Арктики определяется рядом ключевых комплексов морских и береговых биотопов, их элементов и биологических объектов. Изменение климата в первую очередь затрагивает контактные зоны, наиболее энергоактивные, где взаимодействие между разными средами и стихиями обострено. В Арктике можно выделить несколько таких зон раздела: «море – суша» (лайды и марши), «река – море» (устьевые области рек), «морская вода – лед» (полыньи и зона ледовой кромки), контакт различных водных масс (гидрологические фронты).

В докладе аспекты морского природного разнообразия и его охраны рассматриваются преимущественно на примере ледовых местообитаний и ассоциированной с ними элементов криофильной биоты. Для составления соответствующих карт Атласа привлечены оригинальные материалы авторов по полыньям, а также натурные материалы по распределению морских птиц и млекопитающих, полученные в ходе экспедиций ААНИИ по программе МПГ 2007/08.

Морской ледяной покров – один из ведущих экологических факторов, влияющих на жизнь морских организмов Арктики. В замерзающих морях выделяют (Купецкий, 1961) следующие таксоны ледовых ландшафтов, которые в целях Атласа можно рассматривать как систему ледовых биотопов: океанические ледяные массивы, дрейфующие льды окраинных морей, припайные льды, заприпайные полыньи и прогалины, разводья (зоны разрежения) на материковом склоне. К ним мы добавляем еще зону ледовой кромки дрейфующих льдов.

Морские ледовые ландшафты отличаются в большинстве своем угнетением органической жизни и биологических процессов. Напротив, прикромочная зона, включая полыньи, прогалины, районы постоянных разрежений и ледовая кромка дрейфующих льдов, характеризуется обычно повышенной биопродуктивностью, основа которой – ледовые (пагофильные) водоросли.

Заприпайные полыньи – устойчивые пространства чистой воды среди или на границе неподвижных льдов, характеризуются уникальными чертами, а их роль в физических и биологических процессах океана имеет планетарное значение. Это участки наиболее интенсивного взаимодействия между океаном и атмосферой в зимний и весенний периоды. Полыньи формируются в специфических условиях синоптических и среднемасштабных метеорологических процессов, одним из ведущих факторов для которых является наличие отжимных ветров и сгонных течений. Сами полыньи, как энергоактивные зоны, по механизму обратной связи оказывают влияние на климатические процессы через регулирование потоков тепла и влаги между океаном и атмосферой, формирование и поведение циклонов. Полыньи можно использовать как информативный индикатор региональных и глобальных природно-климатических процессов.

Благодаря своей роли в обеспечении экосистемных процессов и поддержания морского биоразнообразия, полыньи рассматриваются как оазисы в ледовитых морях, на что полвека назад впервые указал В.Н.Купецкий (1958). В дальнейшем это было убедительно продемонстрировано широким спектром исследований для всех трофических уровней, от продуцирующего органическое вещество фитопланктона до зависящего от пелагической продуктивности бентоса и хищников высших порядков — морских птиц и млекопитающих.

В Российской Арктике насчитывается более двух десятков заприпайных полыней, образующих практически непрерывную систему вдоль арктического побережья Сибири. В районе Земли Франца-Иосифа и Новой Земли, а также у берегов юго-восточной Чукотки существуют изолированные полыньи. Для Атласа составлена серия комплексных карт, отображающих распространение заприпайных полыней и распределение ряда ключевых биологических объектов (колонии и пути весенней миграции морских птиц, основные лежбища морских млекопитающих), и свидетельствующих о тесной пространственной связи выбранных индикаторных элементов природного разнообразия морской Арктики.

Выделены следующие региональные ледовые местообитания, обеспечивающие поддержание элементов морского биоразнообразия на высших трофических уровнях:

1. Зона обширного припая в арх. Земля Франца-Иосифа, в Печорском море и южной-юго-восточной части Карского моря — важнейшие местообитания пагофильных тюленей, ценные залежки нерпы высокой плотности.

2. Стационарные полыньи: в арх. Земля Франца Иосифа (колонии морских птиц, зимовка морских млекопитающих); Амдерминская, Южно-Новоземельская, Ямальская, Обь-Енисейская, Центрально-Карская, Таймырские, Анабарская и Новосибирские. Айонская и Чукотские полыньи — весенняя миграция и предгнездовые стоянки уток, в первую очередь морских уток; Центрально-Карская и Северо-Земельские полыньи — колонии морских птиц, в т.ч. поддержание крупнейших гнездовых и миграционных концентраций белой чайки (Красная книга РФ и МСОП); Восточно-Таймырская, Анабарская, Новосибирские, Врангелевские и Чукотские — крупные колонии морских птиц, в т.ч. с участием кайр; полыньи моря Лаптевых — обеспечение существования местной оседлой популяции лаптевского моржа, система полыней моря Лаптевых и Восточно-Сибирского — высокие концентрации тюленей, белых медведей и белух; полыньи Берингова моря — колонии морских птиц, зимовка морских птиц и млекопитающих.

3. Зона ледовой кромки на севере Баренцева моря и в Сибирских морях в летнее время — места кормовых концентраций морских птиц, китообразных, включая серых и полярных китов, ластоногих и белых медведей.

Для периода 1970-х—2000-х гг. характерны более высокая вероятность появления полыней по сравнению с предыдущими десятилетиями, а также увеличение их линейных размеров, что связано с особенностями современных крупномасштабных перестроек атмосферной циркуляции во всем Северном полушарии. Это способствует созданию более благоприятных условий для биоты в районах, где слишком суровые условия, характерные для периодов похолодания Арктики, действуют как серьезный лимитирующий фактор. В период современного потепления полыньи, как оазисы арктического биоразнообразия, выступают и в роли рефугиумов для сохранения автотонной арктической биоты.

В то же время, динамичная и высокоуязвимая экосистема полыней становится зоной неизбежного конфликта в современных условиях индустриальной экспансии в зону полярного шельфа. Стационарные полыньи с глубинами до 25–50 м отнесены к наиболее уязвимым морским биотопам по отношению к угрозам, связанным с промышленным освоением шельфа. Разработка правил режима использования заприпайных полыней является безусловным приоритетом для пространственного планирования и организации природопользования в Арктике. Обсуждаются предложения по расширению сети морских ООПТ в Арктике и другие механизмы природоохранного регулирования морской деятельности.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБИОТИЧЕСКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ОБСКО-ЕНИСЕЙСКОМ УСТЬЕВОМ РЕГИОНЕ

И.М.ИВАНОВА

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия. e-mail: ivirchik@yandex.ru

В настоящее время в Обско-Енисейском устьевом регионе открыты крупные нефтегазовые месторождения, эксплуатация которых может привести к изменениям гидрологического и гидрохимического режимов. Для составления прогнозов ожидаемых изменений на ближнюю и дальнюю перспективу и разработки рекомендаций по оптимизации наблюдений за состоянием данного водного объекта и природоохранных мероприятий необходимо знать закономерности распределения наиболее важных физико-химических параметров и диапазоны их естественной изменчивости и учитывать уже сформировавшееся современное гидролого-экологическое состояние экосистем.

Обско-Енисейский устьевой регион (ОЕУР) – зона взаимодействия речных и морских вод, условно ограниченная замыкающими гидрологическими створами на рр. Обь, Надым, Пур, Таз и Енисей и морскими гидрометрическими постами на о. им. М.В.Попова, о. Вилькицкого, о. Диксон по которым имеются длительные ряды гидрологических наблюдений, обладающая рядом специфических особенностей, выражающихся в значительной изменчивости гидрологических и химико-биологических характеристик.

Регион характеризуется высокоширотным положением, которое отражается на гидрометеорологических характеристиках по всей акватории и влияет на гидролого-экологическое состояние водных экосистем. Данному региону характерны низкие среднегодовые температуры воды, а следовательно, и пониженные скорости протекающих в них химико-биологических процессов. Обратные течения способствуют накоплению загрязняющих веществ. Наличие длительного ледяного покрова сказывается на газовом режиме.

Цель проводимых исследований – определение пределов изменчивости и характер распределения абиотических факторов для оптимизации системы мониторинга на территории данного водного объекта.

Исходной информацией служили данные Росгидромета по гидрохимическим и гидрологическим характеристикам полученные со стационарных речных и морских гидрометрических постов, расположенных на акватории ОЕУР, а также данные полученные в ходе научно-исследовательских экспедиций. Были исследованы следующие абиотические экологические факторы: концентрации широкого спектра химических веществ, расход воды, температура и соленость поверхностного слоя воды.

Результаты расчета и анализа диапазонов колебания среднегодовых объемов речного стока растворенных химических веществ в ОЕУР показали их высокую пространственно-временную изменчивость. Наибольшие абсолютные значения объемов стока (десятки–сотни тыс т в год) для всех исследуемых рек характерны по легкоокисляемым органическим веществам, соединениям железа, азоту аммонийному и нефтяным углеводородам.

Сравнение диапазонов колебаний концентраций загрязняющих веществ на устьевых участках рек и устьевых взморьях позволила сделать заключение о преобладании на акватории ОЕУР локального загрязнения.

Анализ распределения биогенных элементов на устьевых взморьях показал, что для устьевого взморья Обско-Тазовской устьевой области в зимний период характерно уменьшение значений фоновых концентраций биогенных веществ с юга на север. Максимальные концентрации на поверхностном и придонном горизонтах наблюдаются на разрезах пос. Новый Порт (6960 мкг/л) и пос. Антипаюта (10500 мкг/л).

Кислородный режим улучшается с юга на север. Минимальный процент насыщения кислородом наблюдается на разрезах пос. Новый Порт (4 %) и пос. Антипаюта (2 %). К морской границе процент насыщения увеличивается до 86.

В летний период наблюдается разброс значений фоновых концентраций по акватории и из-за этого выявить какую-либо тенденцию не удалось, кроме содержания кремния, концентрации которого увеличиваются с юга на север. Насыщение кислородом по всей акватории составляет от 95–100 %.

Для устьевого взморья устьевой области р. Енисей в зимний период характерно равномерное распределение значений концентраций биогенных веществ по всей акватории, значимых трендов в пространственном распределении не обнаружено. Содержание растворенного кислорода удовлетворительное от 65–90%, увеличивается с юга на север.

В летний период содержания кремния увеличивается с севера (1463 мкг/л) на юг (2400 мкг/л), содержание фосфатов уменьшается с севера (12 мкг/л) на юг (1,23 мкг/л). Кислородный режим удовлетворительный по всей акватории и составляет 96–100 %.

Анализ термохалинных характеристик показал значительную их изменчивость в пространстве и во времени. Зафиксированы отрицательные значения температуры в ранее принятых пресных водах (южная часть Обской губы и Тазовская губа), что может быть вызвано повышенной общей минерализацией вод. Также зафиксированы повышенные значения солености в зимний период в поверхностном слое воды на о. им. М.В.Попова (протока Рагозина) – около 37,5 ‰, что видимо, вызвано вымораживанием соли, средние зимние значения солености около 34 ‰, в июле – 12,55 ‰ (зафиксированный минимум – пресная вода). Зафиксированные экстремумы температуры воды на о. им. М.В.Попова –2,0 °С, +18,9 °С, пос. Новый порт –0,2 °С, + 25 °С, о.Диксон (бухта) –1,9 °С +16,5 °С (июль), о. Диксон (море) –2,0 °С + 14,5 °С.

Цифровая фильтрация межгодовых среднемесячных значений температур поверхностного слоя воды для августа и сентября самых длительных по продолжительности наблюдений рядов по о. Диксон (бухта) (с 1916 г.) и по о. им. М.В.Попова (с 1934 г.) позволила выявить 35-летний цикл колебаний, притом на о.Диксон с 2-градусным понижением.

Анализ значений теплового стока с рек в ОЕУР также показал значительную межгодовую и внутригодовую изменчивость.

Полученные результаты создают предпосылки для оптимизации системы мониторинга, в том числе, для расширения перечня измеряемых показателей на уже существующих гидрометрических постах с целью выяснения причин экстремальных значений абиотических экологических факторов.

ЭВАЗИЯ CO₂ НА ШЕЛЬФЕ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

И.И.ПИПКО¹, С.П.ПУГАЧ¹, И.П.СЕМИЛЕТОВ^{1,2}, Л.АНДЕРСОН³

¹ – Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: irina@poi.dvo.ru

² – Международный Арктический научный центр, университет Аляска, г. Фэрбэнкс, США

³ – Отделение аналитической и морской химии университета Гётеборга, г. Гётеборг, Швеция

Прибрежная зона океана, несмотря на небольшой размер, играет диспропорционально важную роль в океаническом биогеохимическом цикле. Она является связующим звеном между наземным, океаническим и атмосферным резервуарами углерода. Интенсивность поступления, продукции, деградации и экспорта органического вещества в прибрежной зоне в несколько раз выше, чем в открытом океане. Единого мнения о том, является ли континентальный шельф источником или стоком для атмосферного CO₂, нет даже для хорошо исследованных морей средних и низких широт. Подобная информация для арктического региона (особенно для мелководного Восточно-Сибирского моря (ВСМ), чья площадь составляет 3,4 % площади мирового континентального шельфа) до последнего времени практически полностью отсутствовала. Целью наших исследований являлось изучение причин и механизмов формирования и межгодовой динамики областей эвазии/инвазии CO₂ в прибрежно-шельфовой зоне ВСМ. В работе обобщены экспедиционные данные, полученные в сентябре 2003, 2004 и 2008 гг. (рис. 1). На океанологических станциях, а в 2008 г. и в режиме попутного плавания, определялись гидрологические и гидрохимические (общая щелочность, рН, кислород, биогены) параметры, проводились прямые измерения мутности, флуоресценции и проникающей фотосинтетически активной радиации (PAR).

Установлено, что поверхностные воды исследуемой части ВСМ в осенний сезон были неравновесны с атмосферой относительно содержания углекислого газа. Величины pCO₂ изменялись в широком диапазоне (198–1033 мкاتم), демонстрируя как существенную пространственную, так и межгодовую динамику. На основе многолетних наблюдений был выявлен устойчивый тренд в пространственном распределении pCO₂ в поверхностном слое ВСМ – снижение в восточном направлении от пересыщения к недосыщению со значительными флуктуациями вблизи устьев рек и эрозионного побережья. Несмотря на то, что в разные годы тенденция в пространственном распределении pCO₂ сохранялась, степень насыщения поверхностных вод углекислым газом и площадь зон эвазии/инвазии углекислого газа существенно отличались (рис. 2). В качестве причин обнаруженной межгодовой изменчивости параметров карбонатной системы рассмотрен ряд факторов, основными из которых были динамика объема речного стока и степень распространения вод различного генезиса на исследуемой акватории, обусловленная доминирующим типом атмосферной циркуляции.

Устойчивой связи между величиной речного стока и динамикой площади эвазии CO₂ в прибрежных водах ВСМ обнаружено не было. Основным определяющим фактором являлась геогра-

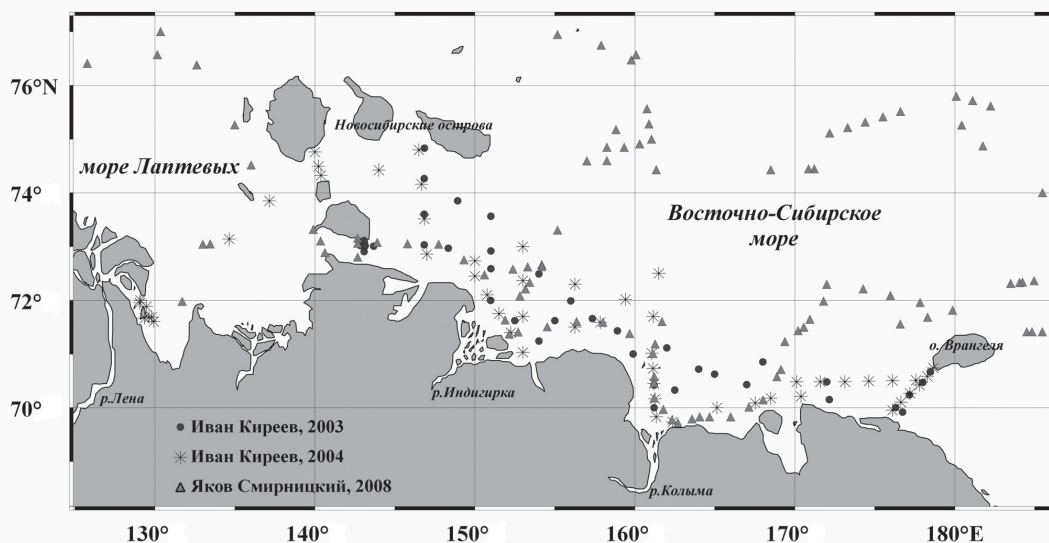


Рис. 1. Схема района экспедиционных работ в прибрежно-шельфовой зоне Восточно-Сибирского моря в сентябре 2003, 2004 и 2008 гг.

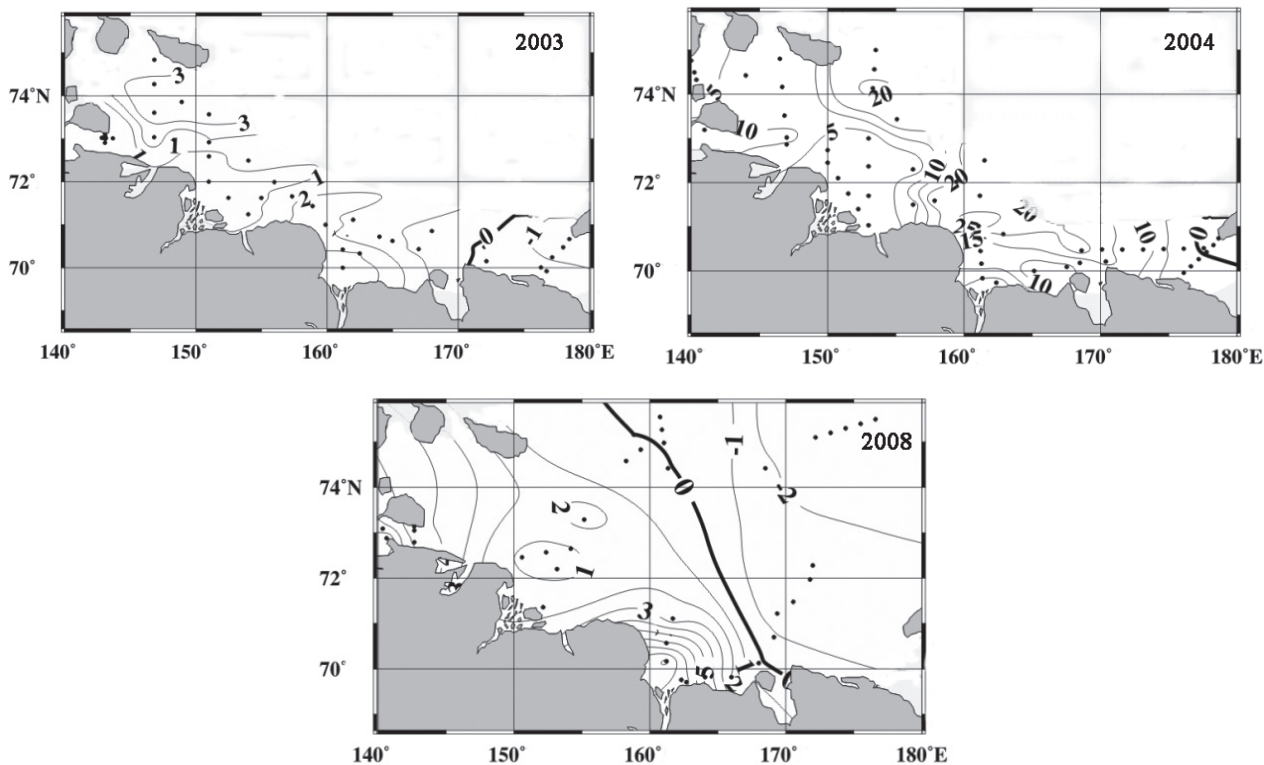


Рис. 2. Распределение величин потока CO_2 ($\text{ммоль}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сутки}^{-1}$) между поверхностными водами и атмосферой в прибрежной зоне ВСМ в сентябре 2003, 2004 и 2008 гг. («+» – эвазия, «-» – инвазия).

фическая локализация центров действия атмосферы над Арктикой и их интенсивность, что сказывалось как на формировании основного характера атмосферных и гидрологических процессов, так и на динамике обмена CO_2 между водой и воздухом.

Наиболее эффективная эмиссия парниковых газов происходила в сентябре 2004 г. (рис. 2), когда взаимодействие полей пониженного и повышенного атмосферного давления вызывало сгонные ветры, определяющие растекание на акватории ВСМ речных вод и усиливающие латеральный перенос эрозионного/речного органического и неорганического углерода. В это время площадь эвазии, градиент $p\text{CO}_2$ между водой и атмосферой, а также скорость ветра были наибольшими за период исследований, обуславливая максимальный поток CO_2 в атмосферу. Минимальная площадь эвазии на акватории прибрежной зоны ВСМ была обнаружена при преимущественном влиянии арктического антициклона в сентябре 2008 г.; в это же время был зафиксирован и максимальный как абсолютный, так и средний на вдольбереговом разрезе отрицательный градиент $p\text{CO}_2$. При устойчивом же преобладании над Арктикой поля пониженного давления (2003 г.) средние величины потоков CO_2 (как положительных, так и отрицательных) в районе исследований были наименьшими, что определялось низкой разницей величин $p\text{CO}_2$ между водой и воздухом и невысокими скоростями ветра.

Исследование карбонатной системы вод ВСМ также подтвердило обоснованность разделения исследуемой акватории на две биогеохимические провинции и показало преимущественно гетеротрофный характер экосистемы его прибрежной части.

СИФОНОФОРЫ В ЗАЛИВЕ АДМИРАЛТЕЙСТВА (АНТАРКТИДА) – НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

А. ПАНАСИУК-ЧОДНИКА, М. И. ЗМИЕВСКА

Department of Marine Plankton Research, Institute of Oceanography, University of Gdansk, Gdansk, Poland. e-mail: aapch@ocean.univ.gda.pl

In Admiralty Bay the seasonal abundance and species composition was studied. The analyses results showed the biggest density of *Dimophyes arctica*, *Mica micula* and *Sphaeronectes gracilis*. In the West Antarctica the earliest investigations of siphonophores recorded presence of only three of the most common taxa: *D. arctica*, *Diphyes antarctica* and *Pyrostephos vanhoeffeni*. Most of the siphonophores from Admiralty Bay, like *Crystallophyes amygdalina*, *Lensia havock*, *Muggiaea bargmannae*, *Mica micula*, *Sphaeronectes gracilis*, *Amphicaryon acaule*, *Vogtia serrata* were observed for the first time in this Antarctic's region and many of them are typical species for subantarctic circumpolar waters. It is interesting that two species, typical for the South Ocean – *D. antarctica* and *P. vanhoeffeni*, were very rare. Because of their preference to cold waters, low abundance of these organisms could be a signal for fluctuations in the neritic water conditions. Individuals of *Mica micula* were also observed, meanwhile earlier they were only found in the sub-antarctic sector of the Indian Ocean.

Feeding studies revealed grazing of several copepods taxa, especially young copepodite stages of *Rhincalanus gigas*, *Calanoides acutus* and *Metridia gerlachei*. There were also observed feeding selectivity among siphonophores from Admiralty Bay.

We could suggest that siphonophores have different life cycle strategies, which are closely connected with seasonal changes in Admiralty Bay in December and January. *D. arctica* probably reproduce efficiently in investigation area, what may be proved by big amount of all three development forms (posterior nectophore, anterior nectophore and eudoxia).

The first comprehensive researches of Admiralty Bay siphonophores confirmed that they can be important part of pelagic fauna in this region.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЕЙ РЕК БАССЕЙНА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

А.М.НИКАНОРОВ, О.С.РЕШЕТНЯК, М.Ю.КОНДАКОВА

ГУ «Гидрохимический институт», г. Ростов на Дону, Россия. e-mail:ghi@aanet.ru

Гидрографическая сеть бассейна моря Лаптевых включает в себя водосборы таких крупных арктических рек как Хатанга, Оленек, Лена, Яна и Анабар. Многолетняя изменчивость стока речных вод в низовья и устья этих рек во многом определяет гидролого-экологическое состояние устьевых областей и прибрежных морских акваторий. Влияние речного стока на море Лаптевых прослеживается на площади 358 000 км². По площади водосбора и среднегодовым объемам водного стока наиболее заметное влияние на прибрежную зону оказывают рр. Лена (2430 000 км²; 538 км³), собирающая свои воды с обширных территорий за пределами Арктики, Хатанга (275 000 км²; 76,5 км³), Яна (224 000 км²; 34,2 км³), Оленек (198 000 км²; 41,1 км³) и Анабар (78 000 км²; 15 км³).

Сформировавшийся невысокий уровень загрязненности водной среды устьевых областей бассейна Лаптевых носит комбинированный характер, поскольку происходит наложение промышленного, бытового и нефтяного загрязнения. В водную среду устьевых областей поступает широкий комплекс органических и неорганических соединений заметно нарушающий их экологическое состояние. Поступающие загрязняющие вещества формируют абиотическую составляющую экологического состояния водной среды устьевых участков рек Лена, Яна, Оленек.

Используя метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям, определена изменчивость степени загрязненности водной среды исследуемых устьевых областей рек бассейна моря Лаптевых. На замыкающем створе устьевой области р. Лены у с. Кюсюр степень загрязненности водной среды меняется от категории «грязная» до «очень загрязненная», в вершине дельты у п. ст. Хабарова — от «загрязненная» до «очень загрязненная». Водная среда устьевой области р. Яны имеет степень загрязненности от категории «очень загрязненная» до «грязная», устьевой области р. Оленек — от «очень загрязненная» до «загрязненная».

Длительное по времени накопление в водной среде минеральных форм азота и фосфора, а также приоритетных загрязняющих веществ до концентраций, в несколько раз превышающих установленные ПДК, приводит к формированию нового «антропогенно-измененного» природного фона, определяемого как интервалы наиболее часто встречаемых величин (НЧВ) по этим показателям. При этом наличие устойчивых колебаний значений НЧВ для основных показателей природного фона служит доказательством формирования нового «антропогенно-измененного» фона. В отличие от природного фона «антропогенно-измененный» природный фон — это совокупность основных параметров (показателей) природного фона сохраняющих устойчивое изменение в течение длительного времени под действием антропогенных факторов.

За исследуемый период для рр. Оленек, Лена и Яна границы «антропогенно-измененного» природного фона варьируются в интервале по азоту аммонийному от ниже предела обнаружения (н.о.) до 0,10 мг/л, по соединениям железа — н.о. —0,90 мг/л, по соединениям меди — н.о. —0,005 мг/л, по фенолам — 0,001–0,004 мг/л и по нефтепродуктам — 0,01–0,07 мг/л.

Превышение верхней границы «антропогенно-измененного» природного фона над установленными значениями ПДК по нефтепродуктам составило 1,4 раза, фенолам — 4, растворенным соединениям меди — 5, а по соединениям железа — 9 раз. Такое превышение «фона» по фенолам и соединениям тяжелых металлов может быть объяснено сочетанием антропогенного фактора и региональных особенностей водосбора рек (биохимический распад остатков хвойных деревьев; наличие почв и пород, обогащенных соединениями железа и меди).

Состояние устьевых экосистем рек водосбора моря Лаптевых можно оценить по абиотическим параметрам с использованием разработанного в ГХИ классификатора состояния водных экосистем. По содержанию растворенного в воде кислорода исследуемые устьевые экосистемы функционируют в естественном состоянии. По интервалу НЧВ концентрации соединений азота аммонийного состояние оценивается как равновесное, по интервалу НЧВ концентрации легкоокисляемых органических веществ, определяемых по величине БПК₅ воды — как переходное из естественного в кризисное (табл. 1).

Изменение состояния водных экосистем напрямую зависит от уровня антропогенного воздействия. Для исследуемых устьевых областей рек бассейна моря Лаптевых, испытывающих малую антропогенную нагрузку, характерно естественное и равновесное состояние. Но любое изменение экологической обстановки и нарушение закономерностей природного развития может привести к снижению устойчивости экосистем, их экологической емкости и повлиять на общее

Состояние устьевых экосистем рек бассейна моря Лаптевых

Абиотический параметр состояния		Река – пункт режимных наблюдений		
		р. Оленек – п. ст. Тюмети	р. Лена – с.Кюсюр	р. Яна – п.ст.Юбилейная
Растворенный в воде кислород	Диапазон минимальных значений, мг/л	4,80–9,62	6,23–11,4	6,49–10,3
	Состояние	переходное из равновесного в естественное	естественное	естественное
Азот аммонийный	Диапазон НЧВ*, мг/л	0,01–0,18	0,01–0,18	н.о.–0,25
	Состояние	равновесное	равновесное	равновесное
Легкоокисляемые органические вещества	Диапазон НЧВ, мг/л	0,53–3,74	0,41–3,81	0,61–3,94
	Состояние	переходное из равновесного в кризисное	переходное из естественного в кризисное	переходное из равновесного в кризисное

Примечание: *НЧВ – наиболее часто встречаемые величины; н.о.** – ниже предела обнаружения.

экологическое состояние устьевых областей и прибрежных зон арктических морей. Поэтому проводимые комплексные исследования изменчивости экологического состояния устьевых областей бассейна моря Лаптевых крайне необходимы для реализации практических задач регионального мониторинга и сохранения естественного состояния уникальных и уязвимых природных объектов – арктических устьевых областей.

СОВРЕМЕННАЯ МОРФОСКУЛЬПТУРА НЕКОТОРЫХ ПОДВОДНЫХ ВОЗВЫШЕННОСТЕЙ НА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ ШЕЛЬФЕ

О.В.ДУДАРЕВ¹, А.Н.ЧАРКИН¹, И.П.СЕМИЛЕТОВ²

¹ – Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. e-mail: dudarev@poi.dvo.ru charkin@poi.dvo.ru

² – International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, United States. e-mail: igorsm@iarc.uaf.edu

Прибрежно-шельфовая криолитозона восточно-арктических морей крайне неустойчива к тепловому и гидродинамическому воздействию. Об этом, к примеру, свидетельствует достоверно установленный факт разрушения и перехода в субаквальное положение за последние 50–270 лет нескольких относительно крупных островов на мелководье морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Масштабы последствий указанных процессов и недостаточность натуральных данных о современном состоянии островных реликтов предопределили необходимость выполнения с этой целью специальных исследований. В качестве типовых участков выбраны банка Диомида в проливе Дмитрия Лаптева Восточно-Сибирского моря и Семеновское мелководье на юго-востоке моря Лаптевых. Работы проводились экспедициями ТОИ ДВО РАН в безледный период 1999, 2000 и 2003–2009 гг.

Выполненные на банках промерные работы позволили определить современные размеры и построить схемы подводного рельефа. Показана роль переноса тепла в шлейфах стоковых вод рек Лены и Яны на изменение рельефа возвышенностей и формирования асимметричности их склонов ортогональной ориентации.

С учетом приведения к среднему уровню современная вершина банки Диомида приурочена к отметке –7,1 м. На промерном галсе вдоль оси Семеновского мелководья (230°) минимальная глубина 4,2 м измерена у юго-восточного склона Семеновской банки, где на отметках –5,6 и –6,6 м выделяются террасовидные поверхности шириной до 5–6,5 км. Склон Васильевской банки пройден параллельно 4-метровой изобате с северо-запада. В пределах галса зафиксированы три V-образные в поперечном плане депрессии глубиной 0,9–1,3 м. Они могли сформироваться в результате термокарстового проседания дна при вытаивании кровли повторно-жильных льдов.

Подписано в печать 14.04.2010
Формат 60×90 1/8
Тираж 250

Печать офсетная
Усл. печ. л. 32,0
Заказ № 12

Ротапринт ГНЦ РФ АНИИ
199397, ул. Беринга, 38