

# ПРОЦЕССЫ В ГЕОСРЕДАХ

2018  
№3(17)

Специальный выпуск

## PROCESSES IN GEOMEDIA

Special issue





Санкт-Петербургский  
государственный  
университет



# МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

21–25 мая

#КИМО2018



Центр Комплексных  
Морских Исследований СПбГУ



ПРОЦЕССЫ В ГЕОСРЕДАХ  
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК

№ 17

2018

Материалы III Всероссийской конференции молодых учёных  
«Комплексные исследования Мирового океана»

(КИМО-2018)

Санкт-Петербург, 21-25 мая 2018 г.

PROCESSES IN GEOMEDIA  
SCIENTIFIC JOURNAL  
SPECIAL ISSUE

Volume 17

2018

Proceedings of the III all-Russian Conference of Young Scientists  
"Complex Investigation of the World Ocean"

(CIWO-2018)

Saint Petersburg, May 21-25, 2018

**Главный редактор** научного журнала «Процессы в геосредах» – академик РАН Д.М. Климов

**Зам. главного редактора:** зам. директора ИПМех РАН д.т.н. В.И. Карев, зав. кафедрой физики моря и вод суши физического факультета МГУ проф. К.В. Показеев

**Научные редакторы:** академик И.Г. Горячева, академик Ю.Г. Леонов, академик Р.И. Нигматулин, проф. В.Н. Акопян, проф. Л.А. Абукова, проф. А. Бабанин, к.ф.-м.н. А.В. Зайцев, проф. А.С. Запевалов, проф. А.Г. Зацепин, проф. В.Н. Зырянов, д.ф.-м.н. В.А. Калиниченко, проф.М. Квашневский, д.ф.-м.н. А.В. Кистович, проф. Ю.Ф. Коваленко, проф. В.Б. Лапшин, проф. В.М. Максимов, д.ф.-м.н. Л.А. Назарова, д.ф.-м.н. И.А. Репина, проф. А.А. Соловьев, проф. Б.Г. Тарасов, д.ф.-м.н. К.Б. Устинов, проф. В.В. Фадеев, проф. А.А. Шрейдер, д.ф.-м.н. С.Е. Якуш

**Редакционная коллегия:** Ю.В. Сидорин, Е.В. Степанова, Т.О. Чаплина, Д.А. Фадеева

**Подписной индекс** (по каталогу «Пресса России»): **Э20944**

Оформить подписку на научный журнал «Процессы в геосредах» можно по ссылке:

[https://www.akc.ru/itm/prot\\_sessy\\_i-v-geosredah/](https://www.akc.ru/itm/prot_sessy_i-v-geosredah/)

**Editor in chief** of the scientific journal «Processes in geomedia» – academician of RAS D.M. Klimov

**Deputy chief editors:** deputy director of IPMech RAS Prof. V.I. Karev, head of the chair of physics of sea and inland waters of MSU physics department Prof. K.V. Pokazeev

**Associate scientific editors:** academician I.G. Goryacheva, academician Yu.G. Leonov, academician R.I. Nigmatulin, Prof. L.A. Abukova, Prof. A. Babanin, Prof. V.V. Fadeev, Prof. V.N. Hakobyan, Prof. V.A. Kalinichenko, Prof. M. Kvasnevsky, Prof. A.V. Kistovich, Prof. Yu.F. Kovalenko, Prof. V.B. Lapshin, Prof. V. M. Maksimov, Prof. L.A. Nazarova, Prof. I.A. Repina, Prof. A.A. Soloviev, Prof. B.G. Tarasov, Prof. A.A. Schreider, Prof. K.B. Ustinov, Prof. S.E. Yakush, Prof A.S. Zapevalov, Prof. A.G. Zatsepin, PhD A.V. Zaytsev, Prof. V.N. Zyryanov

**Editorial board:** T.O. Chaplina, D.A. Fadeeva, Yu.V. Sidorin, E.V. Stepanova

**Subscription index** («Russian press» catalog): **Э20944**

The subscription for the scientific journal «Processes in Geomedia» can be arranged at:

[https://www.akc.ru/itm/prot\\_sessy\\_i-v-geosredah/](https://www.akc.ru/itm/prot_sessy_i-v-geosredah/)

**ISSN 2412-9429**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-62825 от 20.08.2015

©ООО «Кватернион», 2018

117393, г. Москва, ул. Акад. Пилюгина, д. 12, корп. 2, ХА-1

# Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ К СПЕЦИАЛЬНОМУ ВЫПУСКУ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «Процессы в геосредах» . . . . .	14
FOREWORD FOR THE SPECIAL ISSUE OF THE SCIENTIFIC JOURNAL «Processes in Geomedia» . . . . .	17
<b>1 Биология океана</b>	<b>20</b>
МОРСКИЕ ЧЕРТЫ (LIMACINA HELICINA) В АРКТИКЕ. РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ПРОИСХОЖДЕНИЕ И СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ <i>Абызова Г.А.</i> . . . . .	21
ОТКЛОНЕНИЯ В СОДЕРЖАНИИ ДНК В ГЕМОЦИТАХ СРЕДИЗЕМНОМОРСКИХ МИДИЙ, ОБИТАЮЩИХ В РЕГИОНАХ С РАЗЛИЧНОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ <i>Андреева А.Ю., Ефремова Е.С., Сахонь Е.Г.</i> . . . . .	23
БАКТЕРИОПЛАНКТОН ЭСТУАРНЫХ РАЙОНОВ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ <i>Беззубова Е.М., Романова Н.Д.</i> . . . . .	25
ВЛИЯНИЕ ПРОМЫСЛОВОГО РЫБОЛОВСТВА НА НАСТОЯЩИХ ТЮЛЕНЕЙ И ВОДОПЛАВАЮЩИХ ПТИЦ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ <i>Вдовенко В.В., Лосева А.В., Коузов С.А., Сагитов Р.А.</i> . . . . .	27
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ПОСЕЛЕНИЯ ARCTICA ISLANDICA L. В БЕЛОМ МОРЕ <i>Григорьева А.С., Максимович Н.В., Филиппова Н.А., Герасимова А.В.</i> . . . . .	29
СОСТОЯНИЕ ФАУНЫ ГИДРОИДНЫХ ПОЛИПОВ (HYDROZOA) БАРЕНЦЕВА МОРЯ НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ. <i>Журавлева Н.Е.</i> . . . . .	31
ЭФФЕКТ ВОЗРАСТА И РАЗМЕРА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ БЕЛОМОРСКИХ МИДИЙ MYTILUS EDULIS В УСЛОВИЯХ ТЕПЛООВОГО ШОКА <i>Ковалев А., Соколова И., Соколов Е., Сухотин А.</i> . . . . .	33
ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ДЛЯ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С ЦЕЛЬЮ КОМПЛЕКСНОГО КАРТИРОВАНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН НА ПРИМЕРЕ ЛИТОРАЛИ КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ <i>Кокорин А.И., Барымова А.А.</i> . . . . .	34
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАСОМА CALSAREA (GMELIN) В КАРСКОМ МОРЕ <i>Лисицына К.Н., Герасимова А.В.</i> . . . . .	36
БАКТЕРИОПЛАНКТОН ШЕЛЬФОВЫХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ <i>Романова Н.Д.</i> . . . . .	38
ДИНАМИКА БАКТЕРИОПЛАНКТОНА ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ КУРШСКОГО ЗАЛИВА В СВЯЗИ С ПРИСУТСТВИЕМ В ВОДЕ ТОКСИЧЕСКИХ МЕТАБОЛИТОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ <i>Смирнова М.М.</i> . . . . .	40
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭРИТРОЦИТОВ SCORPAENA PORCUS L. В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГИПОКСИИ. ЭКСПЕРИМЕНТЫ IN VIVO <i>Солдатов А.А., Кухарева Т.А., Андреева А.Ю., Парфенова И.А., Рычкова В.Н., Зинькова Д.С.</i> . . . . .	42

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО БИОФИЛЬТРА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СО- ОРУЖЕНИЙ В РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПЕРИОД <i>Соловьёва О.В.</i> . . . . .	44
ХИМИКО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОЙ АКВА- ТОРИИ <i>Тихонова Е.А., Бурдиян Н.В., Соловьёва О.В.</i> . . . . .	47
<b>2 Физика и биология океана</b>	<b>50</b>
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЦВЕТЕНИЯ СИНЕЗЕЛЕ- НЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В ЧЕРНОМ И АЗОВСКИХ МОРЯХ <i>Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Лишаев П.Н.</i> . . . . .	51
ВЛИЯНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СЕЗОННУЮ И МНОГОЛЕТНЮЮ ДИНАМИКУ ЗООПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ <i>Амелина А.Б., Арашкевич Е.Г., Луппова Н.Е., Подымов О.И.</i> . . . . .	53
ОЦЕНКА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ВЫЛОВОВ В РАЙОНЕ КАНАРСКОГО АПВЕЛЛИНГА <i>Артамонова А.В.</i> . . . . .	56
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ВОДОЕМОВ ПРИСИВАШЬЯ ПОСЛЕ ПЕРЕКРЫТИЯ СЕВЕРО-КРЫМСКОГО КАНАЛА <i>Ерёмина Е.С., Харитонова Л.В.</i> . . . . .	58
ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» КУЛЬТУР ФИТОПЛАНК- ТОНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ДЛИНАХ ВОЛН ВОЗБУЖДЕНИЯ <i>Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А.</i> . . . . .	60
РАЙОНИРОВАНИЕ АКВАТОРИИ БЕРИНГОВА МОРЯ НА ОСНОВЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕ- СКИХ ДАННЫХ <i>Кивва К.К.</i> . . . . .	62
ФЛУОРИМЕТР С ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЗБУЖДАЮ- ЩЕГО СВЕТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФИЦИТА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПРИРОДНОГО ФИТОПЛАНКТОНА ПО ПАРАМЕТРАМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛО- РОФИЛЛА <i>Конюхов И.В., Воробьева О.В.</i> . . . . .	64
ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОККОЛИТОФОРИДНОГО ЦВЕТЕНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ ДИСТАНЦИОННЫМИ И КОНТАКТНЫМИ МЕТО- ДАМИ <i>Корчёмкина Е.Н.</i> . . . . .	66
ВИХРЕВОЙ АПВЕЛЛИНГ КАК МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ БЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЙ СКОПЛЕНИЙ САЙРЫ В ЮЖНО-КУРИЛЬСКОМ РАЙОНЕ <i>Козуб П.К., Белоненко Т.В.</i> . . . . .	68
ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВОВЛЕЧЕНИЯ И ДИНАМИКИ ВОД НА ВОЗНИКНО- ВЕНИЕ АНОМАЛЬНО СИЛЬНЫХ ЦВЕТЕНИЙ КОККОЛИТОФОРИД В ЧЕРНОМ МОРЕ <i>Кубряков А.А., Станичный С.В.</i> . . . . .	70
СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА И ЕЕ СВЯЗЬ С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ЗИМНЕГО ВЫХОЛАЖИВАНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ <i>Кубрякова Е.А., Кубряков А.А.</i> . . . . .	72
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АВТОНОМНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВ- НОСТИ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ «IN SITU» <i>Кудинов О.Б., Латушкин А.А.</i> . . . . .	74

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ПРИ ОЦЕНКЕ ЗАПА- СА ТИХООКЕАНСКОЙ САЙРЫ ( <i>COLOLABIS SAIRA</i> ) В КОМИССИИ ПО РЫБО- ЛОВСТВУ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА	
<i>Кулик В.В.</i> . . . . .	76
ПРИЧИНЫ ОШИБОК СПУТНИКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ)	
<i>Лобанова П.В.</i> . . . . .	78
АНОМАЛЬНОЕ ЦВЕТЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В КАСПИЙСКОМ МОРЕ	
<i>Медведева А.В., Станичный С.В.</i> . . . . .	80
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМНЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕЛОМ МОРЕ ДЛЯ РЕШЕ- НИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ОКЕАНОЛОГИИ	
<i>Толстиков А.В., Чернов И.А., Мартынова Д.М., Яковлев Н.Г.</i> . . . . .	81
ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ОСНОВНЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	
<i>Шутило А.И., Старицын Д.К.</i> . . . . .	83
<b>3 Химия океана</b>	<b>85</b>
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ПЛЮССА В ПРЕДЕЛАХ Г. СЛАНЦЫ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ (БАСЕЙН БАЛТИЙ- СКОГО МОРЯ)	
<i>Анисова А.А.</i> . . . . .	86
СОСТАВ И ГЕНЕЗИС Н-АЛКАНОВ В ВОДЕ, ВЗВЕСИ И ДОННЫХ ОСАДКАХ НА РАЗРЕЗЕ ОТ УСТЬЯ Р. ЛЕНА ДО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА В МОРЕ ЛАП- ТЕВЫХ	
<i>Вылегжанина Н.Е., Шульга Н.А.</i> . . . . .	88
МЕХАНИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ПРИБОЙНОЙ ЗОНЕ МОРЯ	
<i>Ефимова И.В., Чубаренко И.П., Багаева М.А., Хатмуллина Л.И.</i> . . . . .	91
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РОЛИ ПУЗЫРЬКОВОГО МЕТАНА НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ	
<i>Заговенкова А.Д., Проценко Е.А., Якушев Е.В., Архипкин В.С.</i> . . . . .	94
АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БУХТЫ ЗОЛОТОЙ РОГ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО	
<i>Зубцова А.С., Петухов В.И., Вах Е.А., Зубцова И.Л.</i> . . . . .	96
РАЗЛИЧИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ГЛУБИННЫХ ВОД СЕВЕРНОЙ АТ- ЛАНТИКИ В ЗАПАДНЫХ И ВОСТОЧНЫХ ЧАСТЯХ ШИРОТНОГО РАЗРЕЗА ПО 60°С.Ш.	
<i>Ишкильдина Н.Р.</i> . . . . .	98
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРКТИЧЕ- СКОГО БАСЕЙНА В 2013-2015 ГГ.	
<i>Кивва К.К., Гангнус И.А.</i> . . . . .	100
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ КИСЛОРОДА И ФОСФАТОВ В ВОСТОЧНОЙ ЧА- СТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ПО НАТУРНЫМ ДАННЫМ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД	
<i>Кирилова А.А., Терентьева К.С., Подрезова Н.А., Шевчук О.И.</i> . . . . .	102
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕ- СТВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДВА ДЕСЯТИЛЕТИЯ	
<i>Кодрян К.В.</i> . . . . .	105
СРАВНИТЕЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ 90SR В ВОДЕ СОЛЕННЫХ ОЗЕР КРЫМА (2016- 2017 ГГ.)	
<i>Кравченко Н.В., Мирзоева Н.Ю., Архитова С.И.</i> . . . . .	107
ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ В 2017 Г.	
<i>Куридная Ю.С., Геворкян Ж.В., Евсеева А.И.</i> . . . . .	110



ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ И ЕГО ЭМИССИИ В АТМОСФЕРУ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТРОФНОСТИ ВОД <i>Малахова Т.В., Малахова Л.В., Поповичев В.Н., Линченко Е.В.</i> . . . . .	112
ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ХИМИКО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТКАНЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА СОДЕРЖАНИЕ МЕТАЛЛОВ <i>Моисеева К.А.</i> . . . . .	115
ИССЛЕДОВАНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ У ДНА <i>Новиков М.О., Волощук Е.В.</i> . . . . .	117
ПРОИСХОЖДЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ ВО ВЗВЕСИ И ОСАДКАХ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЧЕРНОГО МОРЯ <i>Онегина В.Д., Немировская И.А.</i> . . . . .	119
ВЛИЯНИЕ ТАЯНИЯ МАТЕРИКОВОГО ЛЬДА И ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА ХИМИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА <i>Погожева М.П., Полухин А.А., Якушев Е.В., Ильинская А.А., Маккавеев П.Н., Проценко Е.А., Якубов Ш.Х., Стаалстрём А., Норли М.</i> . . . . .	121
РАЗНОМАСШТАБНАЯ ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД КАРСКОГО МОРЯ <i>Полухин А.А., Степанова С.В.</i> . . . . .	125
ОЦЕНКА ЗАПАСОВ $^{239+240}\text{Pu}$ И $^{238}\text{Pu}$ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГЛУБОКОВОДНОЙ ЗОНЫ ЧЁРНОГО МОРЯ <i>Проскурнин В.Ю.</i> . . . . .	128
ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В КАРСКОМ МОРЕ В ПРИУСТЬЕВЫХ РАЙОНАХ РЕК ОБИ И ЕНИСЕЯ <i>Реджепова З.Ю., Немировская И.А.</i> . . . . .	130
ДИНАМИКА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ <i>Селиверстова А.М.</i> . . . . .	133
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРА $^{18}\text{O}$ ДЛЯ ОЦЕНКИ «НАКОПИВШИХСЯ ТРАНСФОРМАЦИЙ» ВОДНЫХ МАСС МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ПРОЦЕССЕ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ И ЛЕДОТАЯНИЯ <i>Семерюк И.А., Намятов А.А.</i> . . . . .	135
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПЛУТОНИЯ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ЧЁРНОГО МОРЯ И СОЛЁНЫХ ОЗЁР КРЫМА <i>Терещенко Н.Н., Параскив А.А., Проскурнин В.Ю., Чужикова-Проскурнина О.Д.</i>	137
ВЛИЯНИЕ АЭРОЗОЛЕЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ВЗВЕСИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ПО ДАННЫМ ТРАНСОКЕАНИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ В ИНДИЙСКОМ И АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНАХ <i>Титова А.М., Немировская И.А.</i> . . . . .	141
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗ. БОЛЬШИЕ ХРУСЛОМЭНЫ <i>Федулов В.Ю., Беляев Н.А., Коновалов Б.В.</i> . . . . .	143
БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОД ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ СЕЗОН 2017 Г. <i>Федулов В.Ю., Беляев Н.А., Коновалов Б.В.</i> . . . . .	145
ХЛОРИРОВАННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА <i>Цыганков В.Ю.</i> . . . . .	147

<b>4 Морская геология</b>	<b>150</b>
КАРТИРОВАНИЕ ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ СВЕРХВЫСОКОДЕТАЛЬНОГО РАЗРЕШЕНИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКИ С ПОМОЩЬЮ СЕРИЙНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ	
<i>Барымова А.А., Макаров А.В.</i> . . . . .	151
КАРБОНАТНЫЕ КОНТУРИТЫ ДРИФТА ИОФФЕ	
<i>Борисов Д.Г., Мурдмаа И.О., Иванова Е.В.</i> . . . . .	152
КОНТУРИТЫ НА ПОДНЯТИИ СЕАРА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ АТЛАНТИКА)	
<i>Борисов Д.Г., Немченко Н.В.</i> . . . . .	154
ВЕЩЕСТВЕННЫЙ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДОННЫХ ОСАДКОВ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ АРГЕНТИНСКОЙ ПАТАГОНИИ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ АТЛАНТИКА)	
<i>Гинзбург К.А., Борисов Д.Г., Симагин Н.В.</i> . . . . .	156
ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ И РЕЧНОГО СТОКА НА ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОСАДКОВ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ МОРЯ	
<i>Гуров К.И., Фомин В.В.</i> . . . . .	158
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КАРБОНАТНЫХ МОРСКИХ ОСАДКОВ	
<i>Ермаков А.В.</i> . . . . .	159
ОБРАЗОВАНИЕ ФРАМБОИДАЛЬНОГО ПИРИТА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНОКАСПИЙСКОЙ КОТЛОВИНЫ В УСЛОВИЯХ СЕРОВОДОРОДНОГО ЗАРАЖЕНИЯ	
<i>Козина Н.В., Рейхард Л.Е.</i> . . . . .	161
ПОТОКИ РАССЕЯННОГО ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ: ГЕНЕЗИС, СОСТАВ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ	
<i>Колтовская Е.В., Ключевкин А.А., Демидов А.Н.</i> . . . . .	163
КОМПЛЕКСЫ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР КАК ИНДИКАТОРЫ ПАЛЕОУСЛОВИЙ СРЕДЫ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА	
<i>Кулешова Л.А., Овсепян Е.А., Иванова Е.В.</i> . . . . .	165
К ВОПРОСУ О ФОСФОРИТОНОСНОСТИ ПРОДУКТИВНЫХ ПЕСКОВ ТИТАНЦИРКОНИЕВОЙ РОССЫПИ ЦЕНТРАЛЬНАЯ (ТАМБОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)	
<i>Лашко М.П., Лыткин К.А.</i> . . . . .	167
ВЛИЯНИЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ НА ОСАДОЧНЫЙ ЧЕХОЛ ВОСТОЧНО-ИНДИЙСКОГО ХРЕБТА И ПЛАТО ОСБОРН	
<i>Маринова Ю.Г.</i> . . . . .	169
МИКРОФОССИЛИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКОВ ЧУКОТСКОГО МОРЯ	
<i>Обрезкова М.С., Поспелова В.Ю.</i> . . . . .	171
ПОСЛЕЛЕДНИКОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА НА ХРЕБТЕ ШИРШОВА В СУАРКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА	
<i>Овсепян Е.А., Иванова Е.В., Тидеманн Р.</i> . . . . .	173
РЕКОНСТРУКЦИЯ ХАРАКТЕРА ПОСТУПЛЕНИЯ ВОД АТЛАНТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ В АРКТИКУ НА ПРИМЕРЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПРОЛИВА ФРАМА И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 18.5 ТЫСЯЧ ЛЕТ	
<i>Овсепян Я.С., Талденкова Е.Е., Аверкина Н.О., Шпильхаген Р.Ф., Баух Х.А.</i> . . . . .	175
ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИДОННЫХ ПАЛЕОТЕЧЕНИЙ В БОРНХОЛЬМСКОЙ ВПАДИНЕ (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)	
<i>Панкратова Е.М., Дорохова Е.В.</i> . . . . .	177
ИЗМЕНЕНИЕ ПАЛЕОСРЕДЫ АМУРСКОГО ЗАЛИВА ЯПОНСКОГО МОРЯ В ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВЫХ ОСАДКАХ НА ОСАНОВЕ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ	
<i>Прушковская И.А.</i> . . . . .	179

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ	
<i>Санин А.Ю.</i> . . . . .	181
ПРОЦЕССЫ СЕДИМЕНТАЦИИ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ АРГЕНТИНСКОЙ ПАТАГОНИИ	
<i>Симагин Н.В.</i> . . . . .	183
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ В РАЙОНЕ П.ПРИМОРСКИЙ	
<i>Скавинская Н.Ю.</i> . . . . .	185
РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУБОКОВОДНОЙ ОСАДОЧНОЙ СИСТЕМЫ ХУРАЙ (ОЗ. БАЙКАЛ)	
<i>Соловьева М.А., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М., Почевалова А.В., Ченский А.Г., Токарев М.Ю.</i> . . . . .	187
<b>5 Физика океана</b>	<b>189</b>
ФОРМИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ВОД БЕЛОГО МОРЯ ЗА 2014 Г.	
<i>Арсентьева Е.К., Подрезова Н.А.</i> . . . . .	190
ОСОБЕННОСТИ СУБМЕЗОМАСШТАБНОЙ ВИХРЕВОЙ ДИНАМИКИ БАРЕНЦЕВА, КАРСКОГО И БЕЛОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	
<i>Атаджанова О.А., Зимин А.В., Коник А.А., Свергун Е.И., Романенков Д.А.</i> . . . . .	191
НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИВОДНОГО ВЕТРА В УСЛОВИЯХ БЛИЗКОЙ ГРАНИЦЫ ВОДОЕМА	
<i>Байдаков Г.А., Папко В.В., Вдовин М.И., Кандауров А.А., Кузнецова А.М., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И.</i> . . . . .	193
ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛН ЦУНАМИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	
<i>Базыкина А.Ю., Фомин В.В.</i> . . . . .	195
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БАРБОТАЖА ПО ДАННЫМ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	
<i>Березина А.В.</i> . . . . .	197
АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ SWAN К ИЗМЕНЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ПРИДОННОГО ТРЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА АКВАТОРИИ САЛМАНОВСКОГО НГКМ	
<i>Борисова А.А.</i> . . . . .	199
РЕШЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ С ПОМОЩЬЮ САГМ (СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА)	
<i>Борзунов А.А., Ривкин К.Е., Сергиенко И.С.</i> . . . . .	202
ИСПЫТАНИЕ СХЕМЫ РАСЧЕТА ПРИТОКА ЭНЕРГИИ ОТ ВЕТРА К ВОЛНАМ	
<i>Булгаков К.Ю., Стригунова Я.В.</i> . . . . .	204
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕТРОВЫХ ВОЛН В БУХТЕ ПЯТИ ОХОТНИКОВ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)	
<i>Бузулуцкая А.Д., Подрезова Н.А.</i> . . . . .	206
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РЕЖИМА ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА ЧЁРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЁТОВ	
<i>Гиппиус Ф.Н., Мысленков С.А.</i> . . . . .	208
О ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ	
<i>Гладских Д.С., Сергеев Д.А., Байдаков Г.А., Соустова И.А., Троицкая Ю.И.</i> . . . . .	210

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОХАЛИННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	
<i>Демидов А.Н., Колтовская Е.В., Куликов М.Е.</i> . . . . .	212
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ СЛУЧАЙНЫХ ВОЛН НА МЕЛКОЙ ВОДЕ	
<i>Диденкулова (Шургалина) Е.Г., Кокорина А.В., Слюняев А.В., Диденкулов О.И.</i>	214
ОПУСКАНИЕ ВОД В ЭКМАНОВСКОМ СЛОЕ, НАД НАКЛОННЫМ ДНОМ	
<i>Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.</i> . . . . .	216
О ВЕРТИКАЛЬНОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ ФРОНТОВ В ГЛУБИННОМ СЛОЕ ЕВРАЗИЙСКОГО БАСЕЙНА (АРКТИКА)	
<i>Журбас Н.В.</i> . . . . .	218
ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ РАСЧЕТА СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ В МОДЕЛЬНОЙ ЗАДАЧЕ ОПИСАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИНТРУЗИЙ В АРКТИЧЕСКОМ БАСЕЙНЕ	
<i>Журбас Н.В.</i> . . . . .	219
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СТРУКТУРЫ ВОД В ЕВРАЗИЙСКОМ БАСЕЙНЕ (АРКТИКА) НА ОСНОВЕ STD-ДАННЫХ NAVOS	
<i>Журбас Н.В.</i> . . . . .	221
ОЦЕНКА ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЗАТОКА АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В БА-РЕНЦЕВО МОРЕ ПО ТЕРМОХАЛИННЫМ ДАННЫМ РАЗРЕЗА «КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН»: С 1970 Г. ДО НАШИХ ДНЕЙ	
<i>Запорожцев И.Ф., Моисеев Д.В.</i> . . . . .	223
ОБЩАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН В МОРЯХ И ОКЕАНАХ	
<i>Зверева А.Е., Фужс В.Р.</i> . . . . .	225
СРАВНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИ FESOM-C ДЛЯ РАСЧЕТА ПРИБРЕЖНОЙ БАРОТРОПНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЕТОК	
<i>Зинченко В.А., Романенков Д.А., Андросов А.А.</i> . . . . .	227
ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В КАНАДСКОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	
<i>Зубкова Е.В., Козлов И.Е., Кудрявцев В.Н.</i> . . . . .	229
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ IN SITU ВЛИЯНИЯ ПУЗЫРЬКОВОГО ФАКЕЛА НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ СТРАТИФИКАЦИЮ ВОДНОЙ ТОЛЩИ	
<i>Иванова И.Н., Будников А.А., Малахова Т.В., Ештушенко Д.Б., Быков Е.М.</i> . . . . .	231
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОБЪЕМА ВОД МАЛОГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ	
<i>Ижицкий А.С., Айзель Г.В.</i> . . . . .	233
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД ЧЁРНЫМ МОРЕМ ЗА ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2017 ГОДА	
<i>Калинская Д.В., Папкова А.С.</i> . . . . .	234
ЛЕДООБМЕН АРКТИЧЕСКОГО БАСЕЙНА С ГРЕНЛАНДСКИМ МОРЕМ ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ ФРАМА	
<i>Карклин В.П., Юлин А.В., Шаратунова М.В., Иванов В.В.</i> . . . . .	236
СРАВНЕНИЕ ОЦЕНОК СТЕРИЧЕСКОГО УРОВНЯ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА	
<i>Колдунов А.В., Башмачников И.Л., Фёдоров А.М., Белоненко Т.В.</i> . . . . .	237
ФРОНТАЛЬНЫЕ ЗОНЫ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ	
<i>Коник А.А., Атаджанова О.А., Зимин А.В.</i> . . . . .	239

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РУСЛОВОГО И ПОЙМЕННОГО ПОТОКОВ	
<i>Коринец Е.М.</i> . . . . .	241
КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ И ОЧАГИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕШИВАНИЯ В ЕВРАЗИЙСКОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ	
<i>Козлов И.Е., Зубкова Е.В., Риппет Т.П., Грин М., Линкольн Б., Сундфьорд А., Кудрявцев В.Н.</i> . . . . .	243
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕЙ В КРУГОВОРОТЕ БОФОРТА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫСОКОГО И НИЗКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ	
<i>Козлов И.Е., Артамонова А.В., Кубряков А.А.</i> . . . . .	245
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРЕЙ СИБИРСКОГО ШЕЛЬФА И СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	
<i>Крайнева М.В., Голубева Е.Н.</i> . . . . .	247
ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА В ЧЕРНОМ МОРЕ, ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ТЕРМОХАЛИННУЮ СТРУКТУРУ И ЭКОСИСТЕМУ БАССЕЙНА	
<i>Кубряков А.А., Станичный С.В., Багаев А.В., Мизюк А.И., Пузина О.С., Сендеров М.В., Белокопытов В.Н.</i> . . . . .	249
ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ МАСС МИРОВОГО ОКЕАНА ПОД ВЛИЯНИЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ	
<i>Кукушкин В.М., Маркина М.Ю.</i> . . . . .	251
ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ОТКРЫТОГО ОКЕАНА ПО ГЛУБОКОВОДНЫМ ДАТЧИКАМ ПРИДОННОГО ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ	
<i>Куликов М.Е., Медведев И.П., Куликов Е.А.</i> . . . . .	253
МОДЕЛИРОВАНИЕ ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ	
<i>Куликов М.Е., Архипкин В.С., Медведев И.П., Кондрин А.Т.</i> . . . . .	254
ОЦЕНКА ЦУНАМИОПАСНОСТИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ДЕТЕРМИНИСТСКОГО ПОДХОДА	
<i>Куликов Е.А., Медведева А.Ю., Иванова А.А., Иващенко А.И., Кузин И.П., Куликов А.Е., Медведев И.П., Яковенко О.И.</i> . . . . .	255
ВЛИЯНИЕ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ И СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СТРАТИФИКАЦИИ НА ДИНАМИКУ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ОХОТСКОМ МОРЕ	
<i>Куркина О.Е., Рувинская Е.А., Куркин А.А., Гиниятуллин А.Р., Кокоулина М.В.</i>	257
ПОДСТРОЙКА СХЕМЫ НЕЛИНЕЙНОСТИ DISCRETE INTERACTION APPROXIMATION (DIA) МОДЕЛИ WAVEWATCH III К УСЛОВИЯМ ВНУТРЕННЕГО ВОДОЕМА СРЕДНИХ РАЗМЕРОВ	
<i>Кузнецова А.М., Досаев А.С., Байдаков Г.А., Баландина Г.Н., Сергеев Д.А., Трошуккая Ю.И.</i> . . . . .	258
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДРЕЙФА ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПО СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ	
<i>Липатов М.А.</i> . . . . .	261
ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРМОХАЛИННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ ПО ДАННЫМ БУЕВ ARGO ЗА 2005 – 2017 ГГ.	
<i>Лишаев П.Н., Кубряков А.А.</i> . . . . .	263
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАСТУПЛЕНИЯ СОБЫТИЙ ЭЛЬ-НИНЬО	
<i>Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В.</i> . . . . .	265
К ВОПРОСУ О ФИЗИЧЕСКОМ МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ДВУХ ТИПОВ ЛАНИНЬЯ	
<i>Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н., Лубков А.С.</i> . . . . .	267

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЬ-НИНЬО <i>Мартын И.А.</i> . . . . .	269
ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИНОПТИЧЕСКИХ И МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ <i>Медведев И.П., Медведева А.Ю.</i> . . . . .	271
ПРИЛИВЫ В ИЗОЛИРОВАННЫХ МОРЯХ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАБЛЮДЕНИЯ <i>Медведев И.П.</i> . . . . .	273
ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ <i>Медведева А.Ю., Мысленков С.А., Архипкин В.С.</i> . . . . .	275
ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ SWASH ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНОГАСЯЩИХ СВОЙСТВ ОДИНОЧНЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ <i>Михайличенко С.Ю., Иванча Е.В.</i> . . . . .	277
СИСТЕМА АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ <i>Мизюк А.И., Пузина О.С., Сендеров М.В., Лишаев П.Н., Холод А.Л.</i> . . . . .	279
ИССЛЕДОВАНИЕ СТОКА ПЛОТНЫХ ШЕЛЬФОВЫХ ВОД НА МАТЕРИКОВОМ СКЛОНЕ В МОРЕ СОДРУЖЕСТВА НА РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ FLUIDITY ICOM <i>Молчанов М.С., Головин П.Н.</i> . . . . .	281
ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТУРБИДИТНОГО ТЕЧЕНИЯ НА НАКЛОННОМ ДНЕ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТЬЮ <i>Мухаметьянов Р.З., Зацепин А.Г.</i> . . . . .	282
ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЯПОНСКОМ МОРЕ <i>Мысленков С.А.</i> . . . . .	284
ЗАВИСИМОСТЬ СПЛОЧЕННОСТИ ЛЬДА В КАРСКОМ МОРЕ ОТ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ <i>Наумов Л.М.</i> . . . . .	287
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА (ПРИПАЯ) ФЬОРДОВ ШПИЦБЕРГЕНА ПО ДАННЫМ РОССИЙСКИХ РЕГУЛЯРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ <i>Новоселова Е.В.</i> . . . . .	289
ДИНАМИКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕЧНЫХ ПЛЮМОВ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ LANDSAT 8 И SENTINEL-2 <i>Осадчиев А.А., Седяков Р.О.</i> . . . . .	291
ВЛИЯНИЕ ЭСТУАРНЫХ И ДЕЛЬТОВЫХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ РЕЧНЫХ ПЛЮМОВ И ОПРЕСНЕННЫХ ЛИНЗ В КАРСКОМ МОРЕ И МОРЕ ЛАПТЕВЫХ <i>Осадчиев А.А.</i> . . . . .	293
СОПОСТАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТЫ СИСТЕМ МОРСКИХ ПРОГНОЗОВ <i>Пузина О.С., Мизюк А.И.</i> . . . . .	295
ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ПРОБЛЕМЫ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИЛИВА В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ <i>Ривкин К.Е.</i> . . . . .	297
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАКАТА ВОЛН НА МЕЛКОВОДЬЕ НА «БЕЗОТРАЖАТЕЛЬНЫЙ» И ПЛОСКИЙ ДОННЫЙ ПРОФИЛИ С УЧЕТОМ ОБРУШЕНИЯ <i>Родин А.А., Куркин А.А., Козелков А.С., Тюгин Д.Ю.</i> . . . . .	299

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ: ЭФФЕКТЫ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ И ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ ВАРИАЦИЙ СТРАТИФИКАЦИИ ВОД	
<i>Рувинская Е.А., Куркина О.Е., Куркин А.А., Кокоулина М.В.</i>	301
МЕЗОМАСШТАБНАЯ ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА В РАЙОНЕ ТЕЧЕНИЯ АГУЛЬЯС НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ	
<i>Сандалюк Н.В., Белоненко Т.В.</i>	303
ВЛИЯНИЕ СТОКА РЕК НА ФОРМИРОВАНИЕ ХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ЧЕРНОГО МОРЯ И НА РАСХОД В ПРОЛИВЕ БОСФОР	
<i>Сендеров М.В., Мизюк А.И.</i>	305
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ АТМОСФЕРОЙ И ОКЕАНОМ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ УСЛОВИЙ	
<i>Сергеев Д.А., Вдовин М.И., Троицкая Ю.И.</i>	307
ПОВТОРЯЕМОСТЬ ВЕТРОВЫХ АПВЕЛЛИНГОВ В РАЙОНЕ Г. ГЕЛЕНДЖИКА ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ЗА ПЕРИОД С 1979 ПО 2016 ГГ.	
<i>Сильвестрова К.П.</i>	309
ТЕРМОХАЛИННАЯ СТРУКТУРА И ФОРМИРОВАНИЕ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА COPERNICUS	
<i>Степанова Н.Б., Мизюк А.И.</i>	311
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ МОРСКОГО ЛЬДА	
<i>Сумкина А.А., Богородский П.В.</i>	313
ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В БАРЕНЦЕВОМ И ОХОТСКОМ МОРЯХ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АВГУСТЕ-СЕНТЯБРЕ 2017 Г.	
<i>Свергун Е.И., Зимин А.В.</i>	315
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ С КУМУЛЯТИВНЫМ ЭФФЕКТОМ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД В АЗОВСКОМ И КАСПИЙСКОМ МОРЯХ	
<i>Третьякова И.А., Ящук Н.А.</i>	317
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА	
<i>Федорова А.Д., Егоров А.Г.</i>	319
ОЦЕНКИ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ КОНВЕКЦИИ В МОРЯХ ЛАБРАДОР, ИРМИНГЕРА И ГРЕНЛАНДСКОМ	
<i>Федоров А.М., Башмачников И.Л., Весман А.В., Белоненко Т.В., Колдунов А.В.</i>	321
ПРИДОННЫЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ТЕЧЕНИЯ В АТЛАНТИКЕ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	
<i>Фрей Д.И., Фомин В.В., Дриго И.В.</i>	323
О НАБЛЮДЕНИИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ	
<i>Химченко Е.Е., Серебряный А.Н.</i>	324
СТРУКТУРА ВОДНЫХ МАСС В ОБЛАСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШЕЛЬФОВЫХ И СКЛОНОВЫХ ВОД В ЗАЛИВЕ ПРЮДС ПО ДАННЫМ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 61-Й РАЭ (ЗА 2015-16 ГГ.)	
<i>Чистяков И.А.</i>	326
ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ	
<i>Чумакова А.В., Зимин А.В.</i>	328

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ РОМ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ВОД СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ КОНТАКТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ <i>Шаповал К.О., Григорьев А.В.</i> . . . . .	330
ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПЕКТРА ВОЛН ПО ФОТОГРАФИЯМ МОРСКОЙ ПОВЕРХНО- СТИ, СДЕЛАННЫМ С БЕСПИЛОТНОГО МУЛЬТИКОПТЕРА <i>Юровская М.В., Кудрявцев В.Н., Широков А.С.</i> . . . . .	332
ДОПЛЕРОВСКИЙ СДВИГ ЧАСТОТЫ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА, РАССЕ- ЯННОГО МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ <i>Юровский Ю.Ю., Кудрявцев В.Н.</i> . . . . .	334



## ПРЕДИСЛОВИЕ К СПЕЦИАЛЬНОМУ ВЫПУСКУ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА

21 – 25 мая 2018 г. в Санкт-Петербургском государственном университете (СПбГУ) прошла III Всероссийская конференция молодых учёных «Комплексные исследования Мирового океана» (КИМО-2018).

Уже три года целью КИМО является объединение молодых учёных из разных областей океанологии, стимулирование их научного роста, что, в свою очередь, способствует развитию океанологической науки в России. Первая конференция «Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования» (КИМР-2016) проходила на базе Морского гидрофизического института РАН 25 – 29 апреля 2016 г. Вторая конференция «Комплексные исследования Мирового океана» (КИМО-2017) проходила в Институте океанологии РАН им. П. П. Шишова 10 – 14 апреля 2017 г. Конференции включали в себя постерные, устные и пленарные сессии в четырёх секциях: «Физика океана», «Биология океана», «Морская геология» и «Химия океана», а также круглые столы и конкурсы на лучшие доклады. До 2016 г. подобных молодёжных океанологических конференций в России не было. Молодыми учёными было принято решение позиционировать конференцию как периодическое научное мероприятие, которое планируется проводить каждый год в различных океанологических научных или образовательных организациях России, с сохранением названия «Комплексные исследования Мирового океана» (КИМО).

В рамках КИМО-2018 были организованы пленарные, секционные заседания и постерные сессии по 5 направлениям:

- Физика океана,
- Биология океана,
- Физика и Биология океана (междисциплинарная секция),
- Морская геология,
- Химия океана.

География исследований, представленных молодыми учёными на КИМО-2018, очень обширная и охватывает практически весь Мировой океан: Чёрное, Азовское, Каспийское, Белое, Баренцево, Балтийское, Гренландское, Лабрадорское, Карское, Чукотское, Охотское, Японское и Берингово моря, моря Ирмингера, Скотия, Бофорта и Лаптевых, воды в районе архипелага Шпицберген, Канарского архипелага и Южно-курильского региона, воды центральной и юго-западной части Атлантического океана, юго-восточной части Тихого океана и Индийского океана. Также на конференции КИМО-2018 были представлены доклады, посвящённые изучению внутренних водоёмов, таких как: Малое Аральское море, солёные озёра Крыма, оз. Байкал, оз. Большие Хрусломены, оз. Донузлав, оз. Иссык-Куль и водоёмы Присивашья.

Обсуждения и дискуссии в рамках работы секций показали, что технические возможности проведения океанологических исследований, анализа их результатов, а также кадровый потенциал в России пока ещё представляются недостаточными, в особенности принимая во внимание высокий общемировой уровень современных разработок и методик, постоянное расширение рынка новых приборов и важность океанологических исследований, мониторинга и прогнозирования процессов в Мировом океане в условиях изменяющегося климата Земли. Конференция КИМО способствует вовлечению новых научных кадров и увеличению потенциала молодых исследователей России. Комплексная направленность мероприятия и наличие большого числа пленарных докладов, охватывающих актуальные проблемы океанологии, позволили молодым учёным, студентам и специалистам существенно расширить кругозор, провести обсуждение и планирование возможных междисциплинарных исследований и поделиться своим опытом изучения морей и океанов, что продолжает способствовать формированию сообщества молодых океанологов.

КИМО-2018 показало, что в настоящее время устойчиво формируется новое поколение молодых учёных, способное с успехом решать как фундаментальные, так и прикладные задачи океанологии с помощью современных методик. Так, многие исследования, представленные на конференции, выполнены с использованием данных спутникового зондирования океана, что позволило проанализировать процессы на различных пространственно-временных масштабах. Ведущими учёными и кураторами секций также были отмечены повышение научного уровня докладов студентов и молодых учёных, достаточная уверенность докладчиков в методах реализации своих исследований и способность подержать дискуссию на высоком уровне.

Организация и проведение КИМО-2018 стали возможными при совместной работе представителей 12 ведущих научных и образовательных учреждений России, которые вошли в составы организационного и программного комитетов, а также выступили в качестве кураторов, экспертов и ведущих секций. Это СПбГУ (Санкт-Петербург), ИО РАН им. П.П. Ширшова (Москва, Санкт-Петербург), РГГМУ (Санкт-Петербург), ААНИИ (Санкт-Петербург), ЗИН РАН (Санкт-Петербург), ВНИИОкеангеология (Санкт-Петербург), СПО ГОИН (Санкт-Петербург), ВНИРО (Москва), МГУ им М.В. Ломоносова (Москва), ИВПС КарНЦ РАН (Петрозаводск), ФГБУН МГИ (Севастополь) и ТОИ ДВО РАН (Владивосток).

### **Организаторы конференции**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

### **Тематические направления конференции**

- физика океана
- биология океана
- физико-биологические взаимосвязи
- морская геология
- химия океана

### **Поддержка**

КИМО-2018 проходила при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, генеральных спонсоров: морской инженерной компании ООО «Фертоинг» и Центра морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, а также при участии Русского географического общества, Арктического и Антарктического научно-исследовательского института и Центра комплексных морских исследований СПбГУ.

### **Программный комитет**

Председатель: д.г.н., профессор Захарчук Е.А. (профессор каф. океанологии СПбГУ, директор СПО ГОИН)

Заместитель председателя: д.г.н. Зимин А.В. (рук. лаб. геофизических пограничных слоёв ИО РАН)

Члены программного комитета:

- д.г.н., профессор Лопатухин Л.И. (профессор каф. океанологии СПбГУ)
- к.б.н. Николаев К.Е. (н.с. Беломорской биостанции «Картеш» ЗИН РАН)
- к.г.-м.н. Борисов Д.Г. (с.н.с. лаб. палеоокеанологии ИО РАН)
- к.г.-м.н. Козина Н.В. (с.н.с. аналитической лаб. ИО РАН)
- к.г.-м.н. Овсепян Е.А. (с.н.с. лаб. палеоокеанологии ИО РАН)
- к.ф.-м.н. Подрезова Н.А. (ст. преподаватель каф. океанологии РГГМУ)
- к.г.н. Зверева А.Е. (аф.автор СПбГУ)
- к.г.н. Иванов Б.В. (доцент каф. океанологии СПбГУ)
- к.г.н. Ионов В.В. (доцент каф. океанологии СПбГУ)
- к.г.н. Кивва К.К. (зав. лаб. климатических основ биопродуктивности ВНИРО)
- к.г.н. Лобанова П.В. (ассистент каф. океанологии, СПбГУ)
- к.г.н. Май Р.И. (доцент каф. океанологии, СПбГУ)
- к.г.н. Полухин А.А. (н.с. лаб. биогидрохимии ИО РАН)
- к.г.н. Рубчenea А.В. (доцент каф. океанологии СПбГУ)
- к.г.н. Тихонова Н.А. (и.о. зав. лаб. спутниковой океанографии СПО ГОИН; ассистент каф. океанологии СПбГУ)
- к.г.н. Толстикова А.В. (с.н.с. лаб. географии и гидрологии ИВПС КарНЦ РАН)
- к.г.н., доцент Савчук О.П. (доцент каф. океанологии СПбГУ)
- к.ф.-м.н. Медведев И.П. (с.н.с. лаб. цунами ИО РАН)
- к.ф.-м.н. Мысленков С.А. (с.н.с. географического факультета МГУ)
- к.ф.-м.н., доцент Сычёв В.И. (профессор каф. океанологии РГГМУ)

Абызова Г.А. (м.н.с. лаб. структуры и динамики планктонных сообществ ИО РАН)  
Кубрякова Е.А. (м.н.с. отдела динамики океанических процессов ФГБУН МГИ)  
Медведева А.Ю. (м.н.с. лаб. цунами ИО РАН)  
Петров С.А. (м.н.с. лаб. эволюционной морфологии, ЗИН РАН)  
Реджепова З.Ю. (м.н.с. аналитической лаборатории ИО РАН)

### **Организационный комитет**

Председатель: к.г.н. Лобанова П.В. (СПбГУ)

Заместители: к.г.н. Зверева А.Е. (СПбГУ), к.г.н. Тихонова Н.А. (СПбГУ, СПО ГОИН), Кубрякова Е.А. (ФГБУН МГИ), Петросян Н.В. (СПбГУ)

Члены организационного комитета:

к.г.н. Колдунов А.В. (СПбГУ), к.ф.-м.н. Подрезова Н.А. (РГГМУ), Атаджанова О.А. (РГГМУ, ИО РАН), Глухов В.А. (ИО РАН), Ишкильдина Н.Р. (ВНИРО), Козуб П.К. (СПбГУ), Новосёлова Е.В. (СПбГУ), Петров С.А. (ЗИН РАН), Сандалюк Н.В. (СПбГУ), Свєргун Е.И. (РГГМУ, ИО РАН), Смагин Р.Е. (СПбГУ), Тельпис Т.Н. (СПбГУ), Фёдоров А.М. (СПбГУ)

Составители специального выпуска: к.г.н. Лобанова П.В., Кубрякова Е.А.

Редакционная коллегия:

д.г.н. Зимин А.В., д.г.н. Ионов В.В. д.г.н. Лопатухин Л.И., д.г.н. Фукс В.Р., к.б.н. Николаев К.Е., к.г.-м.н. Козина Н.В., к.г.-м.н. Овсепян Е.А., к.г.-м.н., Борисов Д.Г., к.г.н. Зверева А.Е., к.г.н. Рубченя А.В., к.г.н. Иванов Б.В., к.г.н. Кивва К.К., к.г.н. Лобанова П.В., к.г.н. Май Р.И., к.г.н. Полухин А.А., к.г.н. Тихонова Н.А., к.г.н. Савчук О.П., к.г.н. Толстиков А.В., к.ф.-м.н., Медведев И.П., к.ф.-м.н., Мысленков С.А., к.ф.-м.н., Подрезова Н.А., Абызова Г.А., Кубрякова Е.А., Медведева А.Ю, Петров С.А., Реджепова З.Ю.

### **Место проведения конференции**

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, 199178, 10-я линия В.О., 33-35.

## FOREWORD FOR THE SPECIAL ISSUE

The III all-Russian conference of young scientists «Complex Investigation of the World Ocean» (CIWO-2018) was held at Saint Petersburg state University (SPBU) in May 21 – 25, 2018.

During three years, the aim of the conference has been to unite young scientists from different fields of Oceanology, to stimulate their scientific growth, which, in turn, contributes development of ocean science in Russia. The first conference «Complex studies of the seas of Russia: Operational Oceanography and Expeditionary Researches» was held at the Marine Hydrophysical Institute of Russian Academy of Science (RAS) in April 25 – 29, 2016. The second conference «Complex Investigation of the World Ocean» (CIWO-2017) was held at P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS in April 10 – 14, 2017. These conferences included poster, oral and plenary sessions for four sections: «Ocean Physics», «Ocean Biology», «Marine Geology» and «Ocean Chemistry», as well as round tables and competitions for the best presentation. Until 2016, there were no such youth oceanographic conferences in Russia. Young scientists decided to manifest the conference as a periodic scientific event, which is planned to hold every year in various oceanological scientific or educational organizations of Russia, with the preservation of the name «Complex Investigation of the World Ocean» (CIWO).

At CIWO-2018, plenary, breakout sessions and poster sessions were organized in 5 directions:

- Ocean Physics,
- Ocean Biology,
- Physical and Biological interactions (interdisciplinary section),
- Marine Geology,
- Marine Chemistry.

The geography of studies presented by young scientists at CIWO-2018 was very extensive and covered almost the entire World Ocean: Black, Azov, Caspian, White, Barents, Baltic, Greenland, Labrador, Kara, Chukchi, Okhotsk, Japan and Bering seas, Irminger sea, Scotia, Beaufort and Laptev sea, waters in the area of the Svalbard archipelago, Canary upwelling and the South Kuril region, Central and South-Western Atlantic Ocean, South-Western-Eastern Pacific and Indian ocean. Also, at CIWO-2018 studies on inland waters, such as the Small Aral Sea, salt lakes of the Crimea, Baikal lake, Big Crunches lake, Donuzlav lake, Issyk-Kul lake and ponds of the Sivash area were presented.

Discussion and debate within the workshops at CIWO-2018 showed that the technical possibilities of carrying out the oceanographic studies, analysis of their results, as well as personnel potential in Russia are still deemed to be insufficient. Especially it is important when considering the high global level of modern developments and techniques, continuous expansion of the market of new devices and importance of investigation, monitoring and forecasting of the processes in the World Ocean in the changing climate of the Earth. CIWO contributes the involvement of new scientists, and increases a potential of young scientists of Russia. Complexity of the conference and availability of a large number of plenary presentations covering actual issues of Oceanology allowed young-career scientists and students to extend their horizons significantly, to discuss and to plan possible interdisciplinary studies, to share their experience of investigation of the seas and oceans, which keeps contributing the formation of a young oceanographic community.

CIWO-2018 showed that a new generation of young scientists has being steadily formed. It is capable to solve successfully both fundamental and applied issues of Oceanology with the applying modern technologies. For example, many of the studies presented at the conference were carried out using satellite ocean remote sensing data that made it possible to analyze processes at different spatial and temporal scales. Leading scientists and curators of the sections also noted an increase of the scientific level of all presentations, sufficient speaker's confidence in methods of implementation of their researches and the ability to support the discussion at a high level.

Organization and holding of CIWO-2018 became possible with the joint work of members of twelve leading scientific and educational institutions of Russia, which were included in the organizing and program committees, as well as acted as curators, experts and conveners of the sections. They are: Saint Petersburg State University (Saint-Petersburg), P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS (Moscow, Saint Petersburg), Russian State Hydrometeorological University (Saint Petersburg), Arctic and Antarctic Research Institute (Saint-Petersburg), Zoological Institute RAS (Saint Petersburg), FSBI VNIIOkeangeologia (Saint Petersburg), Saint-Petersburg Branch of State Oceanographic Institute (Saint Petersburg), Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO) (Moscow), Lomonosov Moscow State University (Moscow), Northern Water Problems Institute Karelian Research Centre RAS (Petrozavodsk), FSBSI Marine Hydrophysical Institute of RAS (Sevastopol), Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch of RAS (Vladivostok).

## Conference organizers

Federal State Budgetary Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University» (SPBU).

## Conference topics

- Ocean Physics
- Ocean Biology
- Physical and Biological interactions
- Marine Geology
- Ocean Chemistry

## Support

CIWO-2018 was held with the support of the Russian Foundation for Basic Research, general sponsors: marine engineering company Fertoing, Ltd. and Marine Research Center at Moscow State University (MRC LMSU), as well as with the participation of Russian Geographical Society, Arctic and Antarctic Research Institute and Integrated Marine Research Center at Saint Petersburg State University (IMRC).

## Program committee

Chairman: Zakharchuk E.A., D. Sc., professor (Professor, Department of Oceanology, SPBU; Director, SPB SOI)

Vice-chairman: Zimin A.V., D.Sc. (Head, laboratory of geophysical boundary layers, IO RAS)

Program Committee Members:

Lopatoukhin L.I., D. Sc., Professor (Professor, Department of Oceanology, SPBU)

Nikolaev K.E., Ph.D. (Researcher, White Sea Biological Station "Kartesh ZIN RAS)

Borisov D.G., Ph.D. (Senior researcher, laboratory of Paleoceanology, IO RAS)

Kozina N.V., Ph.D. (Senior researcher, Analytical laboratory, IO RAS)

Ovsepyan E.A., Ph.D. (Senior researcher, laboratory of Paleoceanology, IO RAS)

Podrezova N.A., Ph.D. (Senior lecturer, Department of Oceanology, RSHU)

Zvereva A.E., Ph.D. (Af. author, SPBU)

Ivanov B.V., Ph.D. (Associated professor, Department of Oceanology, SPBU)

Ionov V.V., Ph.D. (Associated professor, Department of Oceanology, SPBU)

Kivva K.K., Ph.D. (Head, department of climatic bases of bioproductivity, VNIRO)

Ph.D. Lobanova P.V. (Lecture assistant, Department of Oceanology, SPBU)

May R.I., Ph.D. (Associated professor, Department of Oceanology, SPBU)

Polukhin A.A., Ph.D. (Scientific researcher, Bio-hydrochemistry laboratory, IO RAS)

Rubchenya A.V., Ph.D. (Associated professor, Department of Oceanology, SPBU)

Tikhonova N.A., Ph.D. (Head, Satellite Oceanography laboratory, SPB SOI; lecture assistant, Department of Oceanology, SPBU)

Tolstikov A.V., Ph.D. (Senior researcher, lab of Geography and Hydrology, NVPI, KarRC RAS)

Savchuk O.P., Ph.D., Associated professor (Associated professor, Department of Oceanology, SPBU)

Medvedev I.P., Ph.D. (Senior scientist, Tsunami laboratory, IO RAS)

Myslenkov S.A., Ph.D. (Senior scientist, Faculty of Geography, MSU)

Sychev V.I., Ph.D., Associated professor (Associated professor, Department of Oceanology, RSHU)

Abyzova G.A. (Junior researcher, laboratory of plankton communities structure and dynamics, IO RAS)

Kubryakova E.A. (Junior researcher, Department of Dynamics of the Oceanic Processes, FSBSI MHI)

Medvedeva A.Yu. (Junior researcher, Tsunami laboratory, IO RAS)

Petrov S.A. (Junior researcher, laboratory of Evolutionary Morphology, ZIN RAS)

Redzhepova Z.Y. (Junior researcher, Analytical laboratory, IO RAS)

## Organizing Committee

Chairman: Ph.D. Lobanova P.V. (SPBU)

Deputy: Ph.D. Zvereva A.E. (SPBU), Ph.D. Tikhonova N.A. (SPBU, SPB SOI), Kubryakova E.A. (FSBSI MHI), Petrosyan N.V. (SPBU)

Members of the organizing committee:

Ph.D. Koldunov A.V. (SPBU), Ph.D. Podrezova N.A. (RSHU), Atadzhanova O.A. (RSHU, IO RAS), Glukhov V.A. (IO RAS), Ishkildina N.R. (VNIRO), Kozub P.K. (SPBU), Novoselova E.V. (SPBU), Petrov S.A. (ZIN RAS), Sandalyuk N.V. (SPBU), Svergun E.I. (RSHU, IO RAS), Smagin P.E. (SPBU), Telpis T.N. (SPBU), Fedorov A.M. (SPBU)

Compilers of the special issue: Ph.D. Lobanova P.V., Kubryakova E.A.

Authors of the translation (Introduction section): Novoselova E.V., Ph.D. Lobanova P.V., Fedorov A.M.

Reviewers team:

Ph.D. Zimin A.V., Ph.D. Ionov V.V., D.Sc. Lopatoukhin L.I., D.Sc. Fuks V.R., Ph.D. Nikolaev K.E., Ph.D., M.N. Kozina N.V., Ph.D., M.N. Ovsepyan E.A., Ph.D., Borisov D.G., Ph.D., Zvereva AE, Ph.D. Rubchenya A.V., Ph.D. Ivanov B.V., Ph.D. Kivva K.K., Ph.D. Lobanova P.V., Ph.D. May R.I., Ph.D. Polukhin A.A., Ph.D. Tikhonova N.A., Ph.D. Savchuk O.P., Ph.D. Tolstikov A.V., Ph.D., Medvedev I.P., Ph.D., Myslenkov SA, Ph.D., Podrezova N.A., Abyzova G.A., Kubryakova E.A., Medvedeva A.Yu., Petrov S.A., Redzhepova Z.Y.

### **Conference venue location**

Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, 199178, 10th line V.O., 33-35.

# 1 Биология океана

# МОРСКИЕ ЧЕРТИ (*LIMACINA HELICINA*) В АРКТИКЕ. РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ПРОИСХОЖДЕНИЕ И СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ

Г. А. Абызова

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

SEA BUTTERFLY (*LIMACINA HELICINA*) IN THE ARCTIC. DISTRIBUTION, ORIGIN AND  
STRUCTURE OF THE POPULATIONS

Abyzova G. F.

Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*abyzova.ga@ocean.ru*

Ключевые слова: Арктика, птероподы, биоразнообразие, баркоддинг

Keywords: Arctic, pteropoda, biodiversity, barcoding

Крылоногий пелагический моллюск *Limacina helicina* может играть ключевую роль в пищевых цепочках в различных морских экосистемах арктических и субарктических вод. Благодаря широкому распространению, а иногда и высокому обилию, они служат пищей для зоопланктона и потребителей более высоких уровней, таких как рыбы, киты и птицы, в особенности в высокоширотных районах. Способны образовывать массовые скопления.

Шельфовые моря Арктики являются областью взаимодействия вод Арктического бассейна и континентального стока, они характеризуются ярко выраженной сезонностью из-за светового и температурного режима, а так же продолжительного ледового сезона.

В арктических водах *Limacina helicina* - единственный вид раковинных крылоногих моллюсков. Арагонитовый состав раковины делает этих животных крайне чувствительными к закислению океана, происходящего из-за увеличения в атмосфере  $CO_2$  антропогенного происхождения [1]. Поэтому этот вид становится хорошим модельным объектом для экологических, физиологических и биогеографических исследований в Арктике в условиях изменяющегося климата.

Это исследование посвящено генетическому разнообразию планктонных моллюсков *Limacina helicina* и их распространению в Арктике. Происхождение и генетическая структура популяций птеропод остается слабоизученной. С помощью фрагмента митохондриального гена COI мы собираемся выявить скрытое внутривидовое разнообразие *Limacina helicina* и сравнить все имеющиеся данные по регионам северного полушария.

Проанализирован материал из различных акваторий Тихого океана и шельфовые моря Арктики. Из базы данных GenBank были взяты последовательности 68 особей из фордов Шпицбергена [2] и 101 образец из северо-западной части Тихого океана [3]. Около 200 образцов из Белого моря, Карского моря, моря Лаптевых и Восточно-Сбирского были собраны нами и сравнены с данными из GenBank. Обнаруженные нами гаплотипы формируют две крупные гаплогруппы, отличающиеся на две нуклеотидные замены. Первая группа (Pacific) широко распространена во всех акваториях, вторая группа в различном соотношении встречается в морях Атлантического сектора Арктики (Atlantic), но не представлена в Тихом океане. Обнаруженные клады обладают определенными различиями, но не дают оснований для выделения независимых видов - они отличаются на две нуклеотидные замены.

Группа гаплотипов Pacific широко распространена и встречается на всех станциях и во всех популяциях, причем, популяции из Тихого океана и Канадской Арктики практически одинаковы и представлены одной и той же последовательностью, что отражает схему течений через Берингов пролив и указывает на возможное направление распространения популяций. В то время как, группа гаплотипов Atlantic встречена в больших выборках из Карского моря и на Шпицбергене, но не отмечена для других известных популяций. В Белом море найдена уникальная реликтовая популяция, обладающая большим сходством с тихоокеанской группой, но отличающаяся от оригинального гаплотипа на пару замен.



В течение ледниковых периодов оледенение и изменение климата, уровня Мирового Океана, приводили к возникновению физических барьеров для потока генов в Арктике и сформировали распространение генетического разнообразия в арктическом регионе. Судя по распределению гаплотипов прежде *Limacina helicina* была широко распространена по Арктике и Тихому океану, потом наступило изолирование популяции во время оледенения, а при отступлении льда произошла вспышка распространения и генетического разнообразия в северных морях. Тихоокеанская фауна могла повторно заселить Арктику, в результате чего мы видим две группы гаплотипов.

Описанная структура популяций и распространение гаплотипов указывают на район происхождения *Limacina helicina* - Тихий океан, где форма устоялась, имела возможность остаться в неизменном виде, в то время как вторя руппа - атлантическая, могла возникнуть, например, в период одного из ледниковых периодов вследствие изоляции от основного очага возникновения вида.

Морские планктонные организмы, как *Limacina helicina* оказываются под воздействием океанических течений, что приводит активному перемешиванию между популяциями. Отсутствие значимых отличий между соседними морями Арктики и сходство пропорций гаплогрупп между районами указывает об имеющемся обмене между этими популяциями, что согласовывается со структурой водных масс. Тихоокеанская фауна широко распространена, в то время как атлантическая остается ограничена арктическим районом и не проникает в Тихий океан. В условиях изменяющегося климата и закисления океана птероподы попадают в зону риска. Мы можем ожидать исчезновения этой группы или ее адаптаций к новым условиям.

*Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) № 16-04-00064*

### Литература

1. Teniswood C. M., Roberts D., Howard W. R., Bray S. G., Bradby, J. E. Microstructural shell strength of the Subantarctic pteropod *Limacina helicina antarctica* // *Polar Biology*. 2016. 39(9). pp. 1643-1652.
2. Sromek L., Lasota R., Wolowicz M. Impact of glaciations on genetic diversity of pelagic mollusks: Antarctic *Limacina antarctica* and Arctic *Limacina helicina* // *Marine Ecology Progress Series*. 2015. 525. pp. 143-152.
3. Shimizu K., Kimoto K., Noshita K., Wakita M., Fujiki T., Sasaki T. Phylogeography of the pelagic snail *Limacina helicina* (Gastropoda: Thecosomata) in the subarctic western North Pacific // *J. of Molluscan Studies*. 2017. 1-8.

## ОТКЛОНЕНИЯ В СОДЕРЖАНИИ ДНК В ГЕМОЦИТАХ СРЕДИЗЕМНОМОРСКИХ МИДИЙ, ОБИТАЮЩИХ В РЕГИОНАХ С РАЗЛИЧНОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

А. Ю. Андреева, Е. С. Ефремова, Е. Г. Сахонь

Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь

ALTERATIONS IN DNA CONTENT IN MEDITERRANIAN MUSSELS FROM REGIONS WITH  
DIFFERENT ANTROPOGENIC PRESSURE

A. Y. Andreeva, E. S. Efremova, E. G. Sakhon

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS

*Andreevaal@gmail.com*

Ключевые слова: *антропогенное загрязнение, гемоциты, проточная цитометрия, клеточный цикл*

Keywords: *antropogenic pressure, hemocytes, flow cytometry, cell cycle.*

Бухты и побережья Черного моря в окрестностях г. Севастополя длительное время подвергаются сильной антропогенной нагрузке со стороны расположенной в этом районе военно-морской базы. [2]. Такая эксплуатация бухт при недостаточной очистке сточных вод и отсутствии комплексных природоохранных мероприятий привела к загрязнению морской среды нефтепродуктами, биогенными веществами, синтетическими поверхностно-активными веществами, металлами и различными органическими ксенобиотиками. [2]. В то же время реакция на антропогенное загрязнение у разных эколого-таксономических групп гидробионтов Черного моря изучена недостаточно [3]. Многие токсианты, присутствующие в водной среде обладают генотоксическим эффектом, вызывая наследуемые повреждения ДНК. У мидий, обитающих в регионах с высокой антропогенной нагрузкой, выявляется целый комплекс повреждений ДНК, включающий в себя хромосомные aberrации, обмен сестринскими хроматидами, образование микроядер и апоптотические процессы [4]. В настоящее время для высокоточного анализа содержания ДНК и геномных характеристик клеток различных органов морских беспозвоночных широко применяется метод проточной цитометрии.

Целью настоящей работы было проанализировать отклонения в содержании ДНК у мидий-обитателей бухт Севастопольского региона Черного моря, характеризующихся различной степенью антропогенного загрязнения.

Особей средиземноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lmk.) весом  $10 \pm 1$  г отбирали в 7 точках вдоль побережья Черного моря вблизи г. Севастополя в течение лета 2017 г. В качестве референтной группы были выбраны особи с мидийно-устричной фермы (о. Донузлав, Крым). Объем выборки для каждой точки составлял не менее 20 особей. Образцы гемолимфы для анализа на проточном цитометре отбирали из мышцы-замыкателя, фильтровали (фильтр 20 мкм) и трижды отмывали в стерильной морской воде путем центрифугирования ( $2500 \cdot \text{min}^{-1}$ , 10 мин). Готовую суспензию гемоцитов разводили стерильной морской водой ( $1 - 2 \times 10^6$  гемоцитов на мл) и окрашивали ДНК-красителем SYBR Green I по протоколу, описанному ранее [1]. Содержание ДНК в гемоцитах мидий анализировали на основании гистрограмм распределения флуоресценции красителя. Число делящихся клеток в суспензии гемоцитов подсчитывали по доле элементов, находящихся в стадии синтетического периода и митоза ( $G_2/M + S$ ) [5].

Содержание ДНК в гемоцитах мидий характеризовались большим разнообразием. Описаны профили, отвечающие нормальному клеточному циклу, анеуплоидии, апоптотическим процессам, асимметрии диплоидного пика, а также некоторым другим отклонениям. Помимо референтной группы, профили ДНК с нормальным клеточным циклом были обнаружены у особей, обитающих в 2-х точках вблизи м. Фиолент, а также у особей, отобранных в открытом море у выхода из бухты Севастопольской. Все три региона характеризуются низкой степенью антропогенной нагрузки. Аномалии клеточного

цикла, связанные с нарушениями плоидности клеток выявлены у мидий, обитающих ухте Северной, Артиллерийской бухте, а также в лимане реки Черной. Эти участки характеризуются высокой степенью загрязнения промышленными и коммунальными стоками и низкой скоростью водообмена. У многих мидий из вышеуказанных областей наблюдались индивидуальные отклонения в содержании ДНК гемоцитов, о чем свидетельствовали высокие значения коэффициента вариации диплоидного пика ( $CV \geq 8\%$ ). В двух участках (бухта Северная, лиман реки Черной) у особей отмечались случаи апоптоза гемоцитов. Вне зависимости от места обитания у мидий отмечались случаи деления гемоцитов. Вместе с тем, процент делящихся клеток в суспензии коррелировал со степенью загрязнения региона и составлял  $7.92 \pm 1.27$  у особей из референтного региона,  $10.23 \pm 1.56$  у обитателей регионов с низкой антропогенной нагрузкой (м. Фиолент, открытое море на выходе из Севастопольской бухты) и  $25.94 \pm 2.56$  у моллюсков из загрязненных участков (бухта Северная, лиман реки Черной, Артиллерийская бухта).

Высокая вариабельность в размере генома внутри особей одной группы и между обитателями разных участков, вероятно, связана с качественным и количественным составом токсикантов в воде. Наиболее часто диплоидные пики с высоким значением коэффициента вариации ( $CV \geq 8\%$ ) обнаруживались в загрязненных участках и, свидетельствовали о наличии хромосомных aberrаций. Кроме того, широкий пик диплоидных клеток может также говорить о наличии анеуплоидных клеток с близким к диплоидному набором хромосом. Наличие анеуплоидных и делящихся гемоцитов у мидий, обитающих в бухтах с высокой антропогенной нагрузкой, несомненно, является следствием хронического воздействия генотоксических веществ.

Таким образом, метод роточной цитометрии зарекомендовал себя удобным и высокоточным инструментом диагностики отклонений в содержании ДНК гемоцитов мидий, который позволяет выявить степень генотоксичности загрязнения региона.

*Российский фонд фундаментальных исследований; Номер гранта: N A16-04-00135.*

#### Литература

1. Андреева А.Ю., Муханов В.С. Метод прижизненной морфометрии ядерных эритроцитов // Гидробиологический журнал. 2012. Т. 48. №3. С. 115-120.
2. Овсяный Е.И., Котельянец Е.А., Орехова Н.А. Мышьяк и тяжелые металлы в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море) //Морской гидрофизический журнал. 2009. № 4. С. 67-80.
3. Петров А.Н., Неврова Е.Л. Сравнительный анализ структуры таксоцено донных диатомовых (Bacillariophyta) в районах с различным уровнем техногенного загрязнения (Черное море, Крым) //Морской экологический журнал. 2004. Т.3. №. 2. С. 72-83.
4. Bihari N., Mičić M., Batel R., Zahn R. K. Flow cytometric detection of DNA cell cycle alterations in hemocytes of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) off the Adriatic coast, Croatia //Aquatic Toxicology. 2003. V. 64. №. 2. pp. 121-129.
5. Nunez R. DNA measurement and cell cycle analysis by flow cytometry //Current issues in molecular biology. 2001. V. 3. pp. 67-70.

# БАКТЕРИОПЛАНКТОН ЭСТУАРНЫХ РАЙОНОВ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

Е. М. Беззубова, Н. Д. Романова  
Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва

BACTERIOPLANKTON OF ESTUARINE AREAS IN EASTERN ARCTIC

E. M. Bezzubova, N. D. Romanova  
Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

*elena.m.bezzubova@gmail.com*

Ключевые слова: *бактериопланктон, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море, эстуарные районы, арктические экосистемы*

Keywords: *Bacterioplankton, Laptev sea, East Siberian sea, Estuarine areas, Arctic ecosystems*

Бактериальные сообщества являются важной составляющей морских планктонных трофических сетей. Пространственно-временная изменчивость и особенности функционирования бактериопланктона рассматривались для ряда районов Арктики [2, 6, 8], однако моря Лаптевых и Восточно-Сибирское по-прежнему остаются малоизученными. В данной работе рассматриваются распределение и активность бактериопланктона эстуарных районов рек Колыма, Индигирка, Хатанга. Материал был собран в ходе 69 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в августе-сентябре 2017 года. Всего было отобрано 199 проб на 43 станциях. Общую численность бактерий (ОЧБ) определяли методом проточной цитометрии [4]. Долю активных клеток рассчитывали по количеству клеток с активной электрон-транспортной цепью [2].

В области эстуария Колымы ОЧБ варьировала в пределах 329-995 тыс. кл/мл при значениях солености 16-27 psu. Наибольшие величины численности были приурочены к верхним слоям воды с максимальным распреснением (16 psu) в ближайшей к устью реки точке отбора. ОЧБ снижалась по мере увеличения солености и на мористом участке разреза (соленость 27,5-31,5 psu) колебалась в пределах 104-529 тыс. кл/мл. Доля клеток с высоким содержанием нуклеиновых кислот [1] наоборот возрастала по мере увеличения солености с 50 до 68%. Процент клеток с активной электрон-транспортной цепью в «речной» части разреза не превышал 1%.

На разрезе от устья Индигирки в открытое море величины численности бактериопланктона варьировали в пределах от 84 до 1599 тыс. кл/мл, достигая максимального значения в «речной» части эстуарной зоны в пределах солености 15-25 psu. Интересно отметить, что на протяжении всего Индигирского разреза доля клеток с высоким содержанием нуклеиновых кислот практически не зависела от колебаний солености и температурных изменений, находясь в пределах 63-71%. Клеток с активной электрон-транспортной цепью в рассмотренных точках обнаружить не удалось.

Картина распределения ОЧБ на разрезе от устья Хатанги не так однозначна. Значительные колебания численности бактериопланктона от 83 тыс. до 1,1 млн. к/мл не могут быть объяснены только изменением солености. Величины, превышающие 1 млн. кл/мл наблюдались только в поверхностных слоях речной части разреза при значениях солености 3-5 psu. По мере продвижения в открытое море отмечалось постепенное снижение численности бактериопланктона с увеличением солености. Заметное увеличение ОЧБ до 996 тыс. кл/мл отмечалось на поверхностных горизонтах ближайшей к кромке льда станции при показателях солености 32-35 psu. Такой рост численности может объясняться повышенным содержанием биогенов, поступающих в толщу воды над континентальным склоном [5]. Количество клеток с высоким содержанием нуклеиновых кислот уменьшалось с увеличением солености. В среднем их доля в «речной» части разреза составляла 47%, достигая в мористой части 67%.

Численность бактериопланктона и доля клеток с высоким содержанием нуклеиновых кислот в море Лаптевых не сильно отличаются от таковых величин в других арктических морях в указанный

период года (август-сентябрь). Примечательна крайне малая доля бактерий с активной электрон-транспортной цепью, однако следует учитывать, что этот параметр является показателем именно активных, а не просто жизнеспособных клеток, и, следовательно, обнаруженное количество клеток не отражает потенциальную способность перехода микробного сообщества к активному метаболизму при изменении условий существования [7].

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 14-50-00095, РНФ № 14-50-00095.*

### Литература

1. Bouvier T., Del Giorgio P.A., Gasol J.M. A comparative study of the cytometric characteristics of high and low nucleic-acid bacterioplankton cells from different aquatic ecosystems // *Environmental Microbiology*. 2007. V. 9(8). pp. 2050-2066.
2. Howard-Jones M. H., Frischer M. E., Verity P. G. Determining the Physiological Status of Individual Bacterial Cells // *Marine microbiology*. 2001 № 30. pp. 175-206
3. Howard-Jones M.H., Ballard V.D., Allen A.E. et al. Distribution of bacterial biomass and activity in the marginal ice zone of the central Barents Sea during summer // *J. of Marine Systems*. 2002. V. 38. P. 77–91
4. Kamia E., Izumiyama S., Nishimura M., Mitchell J.G., Kogure K. Effects of fixation and storage on flow cytometric analysis of marine bacteria // *J.Oceanology*. 2007. V. 63. pp. 101-112
5. Smoot C.A., Hopcroft R.R. Depth-stratified community structure of Beaufort Sea slope zooplankton and its relations to water masses // *Journal of Plankton Research*. 2017. V. 39. pp. 79-91.
6. Steward G.F., Smith D.C., Azam F. Abundance and production of bacteria and viruses in the Bering and Chukchi seas // *Marine Ecology Progress Series*. 1996. V. 131. pp. 287–300
7. Романова Н.Д., Сажин А.Ф. Методологические аспекты определения численности, биомассы и продукции бактериопланктона // *Океанология*. 2011 Т. 51. № 3. С. 550-560
8. Сажин А.Ф., Романова Н.Д., Мошаров С.А. Бактериальная и первичная продукция в водах Карского моря // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 801–808

## ВЛИЯНИЕ ПРОМЫСЛОВОГО РЫБОЛОВСТВА НА НАСТОЯЩИХ ТЮЛЕНЕЙ И ВОДОПЛАВАЮЩИХ ПТИЦ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ

В. В. Вдовенко<sup>1</sup>, А. В. Лосева<sup>1,2</sup>, С. А. Коузов<sup>1</sup>, Р. А. Сагитов<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Санкт-Петербургский Государственный университет, биологический факультет,  
Санкт-Петербург<sup>2</sup>МБОО «Биологи за охрану природы» (Балтийский Фонд Природы), Санкт-Петербург

## THE IMPACT OF COMMERCIAL FISHERY ON EARLESS SEALS AND WATERFOWL AT THE GULF OF FINLAND

V. V. Vdovenko<sup>1</sup>, A. V. Loseva<sup>1,2</sup>, S. A. Kouzov<sup>1</sup>, R. A. Sagitov<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Saint Petersburg State University, Faculty of Biology, Saint Petersburg <sup>2</sup>International Charitable Public Organization "Biologists for Nature Conservation" (Baltic Fund for Nature), Saint Petersburg

vdovenko95@gmail.com

Ключевые слова: кольчатая нерпа, серый тюлень, водоплавающие птицы, рыболовный промысел, орудия лова, приловы, Финский залив

Keywords: ringed seal, grey seal, waterfowl, commercial fishery, fishing gear, bycatch, Gulf of Finland

В российской части Финского залива в настоящее время осуществляется коммерческий рыбный промысел, который оказывает влияние на популяции многих биологических видов. В частности, это касается высших позвоночных животных - водоплавающих птиц и двух видов настоящих тюленей: балтийской кольчатой нерпы (*Pusa hispida botnica*) и балтийского серого тюленя (*Halichoerus grypus grypus*). Тюлени в Финском заливе переходят к активному питанию на орудиях лова взамен естественного пищедобывания. В результате часть улова утрачивается или теряет товарный вид, что провоцирует негативное отношение к тюленям со стороны рыбаков. Кроме того, тюлени обоих видов периодически застревают и погибают в орудиях рыбного промысла (т. н. «приловы» тюленей). Гибель в приловах также отмечена для массовых видов водоплавающих птиц (утиных, чаек, поганок и др.) в местах их концентраций. До сих пор в регионе не уделялось должного внимания изучению данной проблемы. В 2016-2017 годах мы провели исследование гибели в приловах тюленей и птиц, а также питания тюленей на ставных сетях. Рыболовные бригады, работавшие с нами, добывали рыбу, в том числе, в заказнике регионального значения «Кургальский». Несмотря на то, что создание заказника связано с необходимостью сохранения водных биоресурсов, промысел разрешен в его границах согласно текущему положению.

Сбор данных осуществлялся, во-первых, опросным методом. Была разработана анкета, содержащая вопросы о районах лова, частоте случаев ущерба от тюленей («часто», «редко», «никогда»), уровне ущерба (типичный % повреждений), пищевых предпочтениях тюленей, активности по сезонам года, количестве приловов тюленей и птиц в разных типах орудий за 2016 г. Анкетирование рыбаков из 34 бригад проводилось, в основном, в Кингиспепском районе Ленинградской области (Усть-Лужское и Вистинское сельские поселения), опрошены также рыбаки из Ломоносовского, Выборгского районов и Санкт-Петербурга. Кроме того, впервые проводился непосредственный анализ уловов, поврежденных тюленями на весеннем лове. Работа осуществлялась в конце марта-начале мая 2017 г. в посёлке на юго-западном берегу Кургальского полуострова (промысел имел место в Нарвском заливе). Орудия лова - ставные сети с диаметром ячеи 20 мм. Изымались особи рыб, имеющие повреждения; определялась видовая принадлежность (салака, *Clupea harengus tembras*, или европейская корюшка, *Osmerus eperlanus*) и описывался характер повреждения. Поврежденные рыбы визуально распределялись по размерным категориям, для установления которых было измерено 100 целых рыб каждого вида из контрольного улова. Были выделены четыре размерные категории для корюшки (8-14, 15-19, 20-24, 25-30 см) и три для салаки (8-14, 15-19, 20-24 см). Масса поврежденных рыб определялась на сайте

[www.fishbase.org](http://www.fishbase.org) в соответствии с их исходной длиной (среднее арифметическое для категории). В дальнейшем вычислялся процент поврежденной тюленями рыбы от общей массы улова. Отмечались также факторы, потенциально влияющие на питание тюленей у сетей: глубина постановки сети, расстояние до берега, расстояния до ближайшей залежки кольчатой нерпы и серого тюленя, время от восхода Солнца.

В ходе анкетного опроса практически все рыбаки во всех районах побережья Финского залива сообщали о частом (регулярном) повреждении тюленями уловов и рудий лова. Рыбаки наблюдают тюленей обоих видов, но чаще серого тюленя. Из рыбы, промысливаемой рыбаками, тюлени отдают предпочтение корюшке, сигу, лещу, судаку, балтийскому лососю; не едят речного окуня, ерша, плотву. Также рыбаки утверждают, что повреждается обычно 50-90% улова. Из опрошенных рыбаков только 8 призналось в приловах тюленей. Согласно их данным, за 2016 г. было поймано 28 тюленей. 7 из них составляли кольчатые нерпы, 19 - серые тюлени и 2 особи неопределенного вида. У одного из рыбаков, промысливающих в пределах Кургальского заказника, за 2016 г. погибло 20 тюленей (4 нерпы и 16 серых тюленей) в мережах. Учитывая крайне низкую численность балтийской кольчатой нерпы в Финском заливе и приуроченность её залежек к району Кургальского полуострова, такое количество приловов ставит под угрозу существование локальной субпопуляции. Согласно опросу, по меньшей мере 6 пойманных серых тюленей были детенышами-сеголетками или неполовозрелыми особями. Кольчатые нерпы и серые тюлени попадают в морские мережи (заколы) и ставные сети с диаметром ячеи 45-90 мм. Активность тюленей вблизи орудий лова и, соответственно, вероятность приловов максимальна в апреле-мае, несколько меньшая - в сентябре-ноябре.

В период весеннего лова было проанализировано 20 уловов, содержащих поврежденную рыбу (871 особь). Доля поврежденной рыбы в уловах составляла 0,2-51%, в среднем  $14,5 \pm 2,9\%$ . Более, чем 50%-й ущерб улову, был зафиксирован один раз. Вопреки опросам рыбаков, ни разу не был зафиксирован уровень ущерба, приближающийся к 90%. Основную массу поврежденной рыбы составляла корюшка, что соответствует видовому соотношению рыбы в улове. Ущерб от тюленей в улове составил до 5,8 кг корюшки и до 1,2 кг салак. Результаты теста  $\chi^2$  не подтвердили существование предпочтений у тюленей в отношении размерных категорий рыб обоих видов. Из рассмотренных факторов только время нахождения орудий в воде от восхода Солнца оказалось достоверно связано с процентом поврежденной рыбы (результаты линейного регрессионного анализа:  $y=2,47$ ;  $x=4,06$ ;  $p=0,04$ ;  $R^2=22\%$ ), что соотносится с суточной кормовой активностью тюленей. Потери составляли 7-7,5% улова через 4,5 часа после восхода Солнца и достигали 31,5-48% спустя 12 часов.

Сообщение о 184 случаях приловов водоплавающих птиц поступило от рыбаков, промысливающих в районе Усть-Луги и Вистино. Наиболее часто в приловах гибнут нырковые утки (хохлатая и морская чернеть) (*Aythya* sp.) (26%), морянка (*Clangula hyemalis*) (36%), несколько реже - большой баклан (*Phalacrocorax carbo*) (13%), чомга (*Podiceps cristatus*) (10%), турпан и синьга (*Melanitta* sp.) (6%). Сообщаются единичные случаи гибели серебристой чайки (*Larus argentatus*), лысухи (*Fulica atra*), гагарки (*Alca torda*), чернозобой гагары (*Gavia arctica*). Два пика приловов - октябрь и апрель-май, что совпадает со сроками массовых миграций видов и с периодом путины. Морские нырки попадались на банках Лужской губы, Самоед, Намси, Вестгрунд, у о-вов Малый и Мощный. Морская и хохлатая чернеть попадались в ставные сети (20-40 мм) на глубине до 15 м.

По предварительным данным, можно констатировать, что сезонное закрытие части акватории для постановки орудий рыбного промысла и регулирование времени суток для их проверки окажутся действенными методами по минимизации негативного воздействия на морских млекопитающих и птиц в Финском заливе.

# МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ПОСЕЛЕНИЯ *ARCTICA ISLANDICA* L. В БЕЛОМ МОРЕ

А. С. Григорьева, Н. В. Максимович, Н. А. Филиппова, А. В. Герасимова  
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

## LONG-TERM DYNAMICS OF THE STRUCTURE OF *ARCTICA ISLANDICA* L. IN THE WHITE SEA

A. S. Grigoryeva, N. V. Maximovich, N. A. Filippova, A. V. Gerasimova  
St. Petersburg State University, St. Petersburg

*scor-pion777@mail.ru*

Ключевые слова: *Белое море, Bivalvia, Arctica islandica, динамика структуры поселения*

Keywords: *White Sea, Bivalvia, Arctica islandica, dynamics of settlement structure*

Двустворчатые моллюски *Arctica islandica* относятся к широко распространенным обитателям шельфовой зоны северных морей. В последние десятилетия *Arctica islandica* приобрели известность благодаря принадлежащим им двум рекордам - максимальной продолжительности жизни среди неколонизальных и самой медленной скорости роста взрослых организмов. В Белом море *Arctica islandica* обнаружены почти повсеместно, кроме Мезенского залива и южных районов Горла. Наиболее массовые поселения в Белом море арктики формируют на глубинах 10-15 м на песчано-илистых грунтах, часто доминируя по биомассе в сообществах макробентоса. В этом водоеме описано несколько весьма плотных поселений данного вида (с биомассой до 1 кг/м<sup>2</sup>). Типичным примером такого является поселение *Arctica islandica* на участке бентали у о-ва Матренин на глубинах 5-15 м. Сообщество макробентоса и структурные (размерная, возрастная структура, показатели обилия) характеристики поселения *Arctica islandica* изучаются здесь сотрудниками и студентами кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ на протяжении более 30 лет - с 1984 года. В этом местообитании арктики отличались необычайно высокими для Белого моря показателями обилия - среднегодовая численность для всего участка более 100 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса на глубинах 10-15 м могла в отдельные годы превышать 3 кг/м<sup>2</sup>. Основная цель многолетних наблюдений состояла в выявлении закономерных черт в динамике структуры поселения *Arctica islandica*. Наблюдения за поселением арктик осуществлялись в основном с интервалом 1-3 года в конце июня — июле. Материал собирали драгой. Оценка площади, охваченной дражными сборами, произведена с учетом уловов массовых видов *Bivalvia* дночерпателями Петерсена или Ван-Вина (площадь захвата 0,025 м<sup>2</sup>) или зубчатым водолазным дночерпателем (площадь захвата 0,05 м<sup>2</sup>).

Возраст *A. islandica* оценивали по внешней морфологии раковин. В результате многолетнего мониторинга поселения *Arctica islandica* отмечены относительно устойчивая во времени неравномерность пространственного распределения моллюсков в пределах участка, а также существенные межгодовые смещения в структуре поселения изучаемого вида. На протяжении всего периода исследований на глубинах 5-10 м размерное распределение моллюсков носило полимодальный характер. Здесь были представлены практически все размерно-возрастные группы *Arctica islandica*, начиная с сеголеток, в редких случаях наблюдалось явно выраженное доминирование отдельных размерных групп. Среднегодовая величина плотности поселения *Arctica islandica* составила около 50 экз./м<sup>2</sup> (при весьма широких колебаниях от 8 до 124 экз./м<sup>2</sup>). На глубинах более 10 м наблюдалось резкое увеличение показателей обилия моллюсков по сравнению с мелководной зоной. Средняя за все время наблюдений плотность поселения *Arctica islandica* составила около 140 экз./м<sup>2</sup>. Возрастная и размерная структуры этого поселения в 1984-2003 гг. отличались значительным постоянством. Преобладали относительно крупные моллюски (размеры 30-40 мм), возраст которых, судя по структуре раковины, не менее 10 лет, практически отсутствовали особи младше 8 лет (длиной менее 26-27 мм). При этом ни в один из сезонов исследований здесь не было отмечено 2 количество сеголеток, соизмеримое с численностью особей старших возрастов. Было высказано предположение, что механизмом поддержания такой организации



поселения могло быть постоянное перераспределение особей *Arctica islandica* в пределах участка, например, миграции моллюсков в возрасте 7-8 лет из мелководной зоны участка на глубины более 10 м. В августе 2005 года мы впервые (за 20 лет) наблюдали резкие изменения в структуре поселения *Arctica islandica* на глубинах 10-15 м. Численность ранее доминирующей размерно-возрастной группы (размеры 30-40 мм) снилась до 17 экз./м<sup>2</sup>. Впервые в поселении преобладали особи младших возрастов - размерами 3-7 мм. При этом промеры створок мертвых моллюсков показали, что и их численность (около 118 экз./м<sup>2</sup>), и размеры (в основном створки длиной 30-40 мм) вполне соответствовали аналогичным показателям ранее доминирующей модальной группы. В последующие годы (2006- 2011гг.) размерно-возрастная структура поселения носила бимодальный характер.

Стабильно присутствовала практически в неизменном количестве группа моллюсков старших возрастов (размеры более 30 мм), составляющая от 20 до почти 50 % численности поселения. От 40 до 60 % численности поселения в 2006-2011 годах приходилось либо на сеголеток (2006-2008 гг.) либо на особей группы 2-7 лет - 2009-2011 гг.. На глубинах 5-10 м значительных межгодовых смещений в структуре поселения в 2005-2011 гг. не отмечено. Причины столь резкой элиминации особей *A. islandica*, преобладавших на участке в течение 20 лет, не были ясны, однако не исключалась возможность естественного развития событий. Формирование доминирующей размерной группы на глубинах 10-15 м могло быть связано как с постоянным перераспределением моллюсков в пределах участка (миграции особей из мелководной зоны), так и с крайне успешным пополнением поселения по меньшей мере за 10 лет до начала исследования. В пользу последнего предположения свидетельствует несколько обстоятельств. Прежде всего, с 1984 по 2005 гг. мы наблюдали устойчивое (крайне медленное в отдельные периоды) снижение численности моллюсков этой размерной группы на фоне относительно неизменных показателей окружающей среды. Кроме того, по последним данным, *Arctica islandica* в Белом море отличаются весьма низкой скоростью роста (меньше 1 мм в год) по достижении размера около 30 мм. Таким образом, вполне возможно, что стабильная агрегация особей размерами более 30 мм на глубинах 10-15 м на протяжении почти 20 лет состояла в большей мере из представителей одной генерации, время жизни которой к 2004-2005 годам практически истекло. Для проверки данного предположения было необходимо вернуться к анализу возрастного состава этой группы в течение почти 20 лет - 1984-2003 годы. Единственная возможность относительно надежно оценить возраст этих особей - анализ меток во внутренних слоях раковины по спилам раковины. Створки раковины распиливаются от вершины к наиболее удаленному краю, спилы шлифуются, полируются. Под биноклем подсчитывается количество меток роста преимущественно на спилах подмакушечных зубов замка. Из материалов отдельных лет наблюдений (1984- 2003 гг.) мы отобрали по 15-20 моллюсков для выше описанной процедуры. Материал находится еще в стадии обработки, однако уже получены первые результаты. Так, в 1984, 1989 и 1997 годах доминирующая размерная группа моллюсков на 70-80 %, по-видимому, состояла из особей одного возраста, пополнивших поселение приблизительно в 1971-1972 гг. Соответственно, стабильность структуры поселения *Arctica islandica* в этой части участка в 1984-2003 годах вполне могла быть отражением крайне медленной скорости роста особей старше 10 лет и относительно низкого уровня элиминации моллюсков данной группы.

*Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ 16-34- 00216.*

СОСТОЯНИЕ ФАУНЫ ГИДРОИДНЫХ ПОЛИПОВ (HYDROZOA)  
БАРЕНЦЕВА МОРЯ НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ.

Н. Е. Журавлева

Зоологический Институт Российской Академии Наук, Санкт-Петербург

THE STATE OF THE FAUNA OF HYDROZOA (HYDROZOA) OF THE BARENTS SEA TODAY

N. E. Zhuravleva

Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg

nezhuravliova@gmail.com

Ключевые слова: фауна *Hydrozoa*, биогеография, видовое разнообразиеKeywords: *Fauna of Hydrozoa*, *biogeography*, *species diversity*

Первые определения видов *Hydrozoa* Баренцева моря относятся к концу XIX века. Известен аннотированный список зообентоса, собранного в 1878-1879 годах в Баренцевом море [1]. И этот список включает в себя 12 видов донных *Hydrozoa*.

Большой шаг в исследованиях принадлежит экспедиции Научно-Промысловых исследований Мурман (ЭНПИМ) (1898-1909 гг.) под руководством известных отечественных гидробиологов Книповича Н.М. и Брейтфуса Л.С. Материалы, полученные в этой экспедиции содержат порядка 90 видов Cnidaria, в том числе и бентосных *Hydrozoa* [2].

Материалы для данной работы были собраны с участием автора в экспедициях ПИНРО в 2003-2008 гг., в которых были использованы те же сетки станций и орудия лова, что и в 1898-1909 гг. и в экспедициях IMR, проходивших на акватории Баренцева и Норвежского морей с 2010 по 2015 гг.

В этом материале было выявлено 80 видов донных гидроидных полипов, принадлежащих к 42 родам и 17 семействам. Материалы, собранные в экспедициях ЭНПИМ, включают в себя 78 видов гидрополипов, относящиеся к 40 родам и 16 семействам (по старой классификации).

Большая часть обнаруженных видов гидроидов (75) - обычна для Баренцева моря и была ранее отмечена в ряде публикаций [1, 3-12]. Однако в новом материале присутствуют виды (5), которые прежде были отмечены в сопредельных с Баренцевым морем акваториях. Это: *Acaulis primarius* Stimpson, 1853, *Gymnognos crassicornis* Vonpevie, 1898, *Sertularia brashnikowi* [5] *Sertularia cupressoides* Clark, 1876 и *Sertularia schmidti* [5]. Большинство из них не относится к числу массовых для Мирового Океана видов.

В сборах 2003-2005 гг. отмечено 5 новых для Баренцева моря видов относятся к холодноводным зоогеографическим группам: арктической, западной арктической, бореально-арктической и высокобореальной арктической. Эти виды были обнаружены в южной и центральной частях Баренцева моря. Ранее уже отмечалось проникновение арктических видов в район восточного Мурмана и даже в воды Кольского залива [4].

## Литература

1. D'Urban F.L.S. The Zoology of Barents Sea // The Annals and Magazine of Nat. History. 1880. ser. 5. VI. № 34. pp. 257-269.
2. Степаньянц, С.Д., Чернова, Н.В., Лайус, Ю.А., Бьерклунд, К.Р. Первая Российская научно-промысловая экспедиция (К 100-летию экспедиции для научно-промысловых исследований у берегов Мурмана) // Биология моря. 2002. Т. 28. № 4. pp. 308-316.
3. Книпович Н.М. Зоологические исследования на ледоколе «Ермак» летом 1901 г. // Ежегодн. Зоол. Муз. Акад. Наук. 1901. 6. С. 1-20.
4. Дерюгин К.М. Фауна Кольского залива и условия её существования. Петроград, 1915. т.34. Сер.8: 929 с.

5. Куделин Н.В. Гидроиды (Hydroidea). Фауна России и сопредельных стран. Зоол. Муз. Акад. Наук, Том II, вып. 2. Санкт-Петербург, 1914. С. 139-526.
6. Линко А.К. Отчёт о состоянии и деятельности биологической станции Имп. СПб Общества Естествоиспытателей в Екатерининском порту на Мурмане за 1899 г. Тр. Имп. СПб Общ. Естествоисп. 1903. 1 (1). С. 1-10.
7. Линко А.К. Гидроиды (Hydroidea). Фауна России и сопредельных стран. Том I. Зоол. Муз. Акад. Наук, Санкт-Петербург, 1911. 1 – 18. С. 1-250.
8. Линко А.К. Гидроиды (Hydroidea). Фауна России и сопредельных стран. Том II, I. Зоол. Муз. Акад. Наук, Санкт-Петербург, 1912. С. 1-138.
9. Наумов Д.В. Гидроиды и гидромедузы. М.-Л: Изд. А.Н. СССР, 1960. 585 с.
10. Пантелеева Н.Н. Состав фауны гидроидов (Cnidaria, Hydrozoa, Hydroidea) Баренцева моря. В сб.: Совр. бентос Баренцева и Карского морей. Матишов Г.Г. (отв. ред.) Апатиты: изд. КНЦ РАН, 1999. С. 44-54.
11. Stepanjants S.D. Hydrozoa of the Eurasian arctic seas. In Y. Herman (ed.) The Arctic seas. Climatology, Oceanography, Geology, and Biology. New York, Van Ostrand Reinhold Co., 1989. pp. 397-430.
12. Stepanjants S.D. Cnidaria, Subphylum Meduzozoa. In: List of species of free-living invertebrate of Eurasian Arctic seas adjacent deep water. Sirenko V.I. (ed.): 32-35. СПб, Исследования фауны морей, 2001. Т. 51(59).

# ЭФФЕКТ ВОЗРАСТА И РАЗМЕРА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ БЕЛОМОРСКИХ МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* В УСЛОВИЯХ ТЕПЛООВОГО ШОКА

А. Ковалев<sup>1</sup>, И. Соколова<sup>2</sup>, Е. Соколов<sup>2</sup>, А. Сухотин<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский Государственный Университет

<sup>2</sup>Universität Rostock, Institute of Biological Science - Marine Biology

<sup>3</sup>Зоологический институт РАН

EFFECT OF AGE AND BODY SIZE ON THE FUNCTIONAL STATE OF THE WHITE SEA MUSSELS *MYTILUS EDULIS* UNDER CONDITIONS OF HEAT SHOCK

A. Kovalev<sup>1</sup>, I. Sokolova<sup>2</sup>, E. Sokolov<sup>2</sup>, A. Sukhotin<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

<sup>2</sup>Rostock University, Institute of Biological Science - Marine Biology, Rostock

<sup>3</sup>Zoological Institute of RAS, Saint-Petersburg

*retard96@yandex.ru*

Ключевые слова: *старение, рост, Mytilus*

Keywords: *aging, growth, Mytilus*

Многочисленные существующие теории старения животных, разработанные на модельных объектах (преимущественно млекопитающих, насекомых и нематодах), зачастую не применимы к беспозвоночным животным, увеличивающим свои размеры и плодовитость на протяжении всей жизни (моллюски, иглокожие, асцидии, рыбы и другие группы). Постоянно увеличивающаяся с возрастом и размером абсолютная плодовитость может свидетельствовать об отсутствии видимых физиологических изменений, обусловленных старением. Потенциально, в популяции организмов, постоянно увеличивающих свою плодовитость, должен осуществляться отбор в пользу особей с максимальной продолжительностью жизни и массой тела. Однако такого явления ни в одной группе животных не наблюдается, и, более того, обнаруживаются достаточно очевидные возрастные ограничения. Выявление возрастных изменений у животных с асимптотическим (постоянным на протяжении жизни) ростом затруднено, так как большинство физиологических процессов зависит также и от размера (аллометрические зависимости). Одной из гипотез, описывающих механизмы ограничения продолжительности жизни у животных с постоянным ростом, является гипотеза б энергетическом дисбалансе. Гипотеза предполагает, что возрастные ограничения могут определяться прогрессирующим в организме животного дисбалансом между способностью к потреблению энергии и её расходом. Эти две величины находятся в степенной зависимости от (массы организма, однако метаболические потребности в энергии на метаболизм увеличиваются с размером несколько быстрее, чем потребление энергии. Таким образом, в определенный момент организм достигает такого размера, при котором его энергетические потребности превышают способность к ассимиляции энергии, что может приводить к понижению приспособленности к неблагоприятным факторам окружающей среды (например, высокой температуре).

В данном исследовании нами предпринята попытка выявить возрастные различия в реакции беломорских мидий *Mytilus edulis* на тепловой шок и описать механизмы, потенциально влияющие на данные различия.

В качестве основного параметра, отражающего функциональное состояние животных, нами была выбрана интенсивность метаболизма (аэробного и анаэробного). В ходе экспериментов с хроническим и острым воздействием повышенной температуры, измерялась интенсивность аэробного дыхания целых животных. Выявленные тенденции показали понижение скорости метаболизма с возрастом у моллюсков. Исходя из полученных данных, было так же произведено измерение скорости метаболизма на уровне органелл (сuspензии митохондрий) экспериментальных животных, что обнаружило тенденцию к повышению метаболизма с увеличением размера животных. Это не согласуется с общими представлениями об аллометрических зависимостях в литературе. Данное противоречие может указывать на возрастные изменения в эффективности работы отдельных элементов электрон-транспортной цепи или структуре митохондрий.

# ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ДЛЯ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С ЦЕЛЬЮ КОМПЛЕКСНОГО КАРТИРОВАНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН НА ПРИМЕРЕ ЛИТОРАЛИ КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ

А. И. Кокорин, А. А. Барымова  
Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

THE USE OF UAVS FOR INTEGRATED MAPPING OF COASTAL MARINE AREAS ON THE  
EXAMPLE OF KANDALAKSHA GULF LITTORAL (WHITE SEA)

A. I. Kokorin, A. A. Barymova  
LMSU Marine Research Center, Moscow

*korveng@gmail.com*

Ключевые слова: *беспилотные летательные аппараты, аэрофотосъемка, литораль, картирование, комплексные исследования*

Keywords: *unmanned aerial vehicles, drones, aerial imaging, littoral, mapping, integrated research*

Литораль, или приливно-отливная зона, традиционно считается уязвимой для неблагоприятных антропогенных воздействий: с одной стороны, через нее проходит весь береговой сток, потенциально несущий загрязняющие вещества, с другой - прибрежная зона подвержена большому влиянию морских загрязнений.

Традиционные контактные методы исследования литорали включают в себя выделение ключевых полигонов, разметку трансект, отбор проб и их обработку в лаборатории. Это позволяет получить точные данные об интересующих нас параметрах, будь то гранулометрический состав грунта или биомасса бентосных организмов, однако такой подход связан со значительными временными и трудовыми затратами, и, кроме того, требует высокой квалификации исполнителей. Также известные трудности таких работ связаны с транзитным характером литорали и, нередко, её высокой мозаичностью. Все это затрудняет мониторинг обширных пространств приливно-отливной зоны арктических морей. Этим недостатком лишен дистанционный мониторинг с использованием спутниковых фотоснимков, однако, несмотря на все достоинства, их низкое разрешение, обычно 10-30 м [2], не позволяет детально картировать литораль, зачастую имеющую ширину не более 30 метров. Аэрофотосъемка не имеет этого недостатка, а использование сравнительно недорогих и в то же время функциональных серийных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), имеющих в свободной продаже, позволяет резко снизить ее стоимость и повысить доступность.

Полевая часть работы была выполнена в 2017 г. в окрестностях Беломорской биостанции МГУ (Кандалакшский залив, Белое море). Съёмка производилась серийными квадрокоптерами DJI Phantom 3 Professional и 4 Pro в автоматическом режиме под управлением программы DroneDeploy, высота съёмки 60 метров; всего сделано около 13000 снимков. Для построения мозаики (единого изображения) из отдельных снимков использовалось ПО Agisoft PhotoScan. Привязка к топооснове и картирование проводились в программе QGIS. В результате была получена мозаика длиной около 25 погонных километров и шириной от 100 до 360 м. Разрешение съёмки - не хуже 0,5 см.

Показано, что результат выполненной аэрофотосъёмки (собранная мозаика) позволяет решать следующие задачи:

- классификация чувствительности побережья к нефтезагрязнению (ESI [1]);
- геологическое картирование литорали (выделение литологических разностей);
- геоморфологическая классификация;
- картирование сообществ бентоса;
- оценка проективного покрытия и биомассы макрофитов;

- оценка сезонной динамики проективного покрытия макрофитов.

Таким образом, несмотря на ряд существенных ограничений, таких как чувствительность к погодным условиям, небольшая площадь охвата, необходимость присутствия оператора на месте съемки, отсутствие спектральных каналов, использованный метод аэрофотосъемки при помощи БПЛА может рассматриваться как удачное решение для картирования прибрежных зон с целью их комплексного мониторинга.

### Литература

1. Petersen J. et al. Environmental Sensitivity Index Guidelines. Version 3.0 // NOAA Technical Memorandum NOS OR&R. 2002. V. 11. pp. 192.
2. Макаров А. В., Спиридонов В. А. Морские травы: взгляд из космоса // Природа. 2013. №. 2. С. 91-94.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ *MACOMA CALCAREA* (GMELIN) В КАРСКОМ МОРЕ

К. Н. Лисицына, А. В. Герасимова

Кафедра Ихтиологии и Гидробиологии, Санкт-Петербургский государственный университет

DISTRIBUTION OF *MACOMA CALCAREA* (GMELIN) IN THE KARA SEA

K. N. Lisitsina, A. V. Gerasimova

Department of Ichthyology and Hydrobiology, St. Petersburg State University

*Lisitsina\_Ksenia\_1997@mail.ru*Ключевые слова: *Карское море, Bivalvia, Macoma calcarea, распределение.*Keywords: *Kara Sea, Bivalvia, Macoma calcarea, distribution.*

Широко распространенные бореально-арктические циркумполярные двустворчатые моллюски *Macoma calcarea* (Gmelin) относятся к одним из наиболее часто встречающихся представителей *Bivalvia* в сублиторальной зоне всех северных морей России, нередко доминируя по биомассе в составе донных сообществ данного региона. Не смотря на это, экологические особенности маком как в северных морях, так и в других частях ареала вида практически не исследованы. Почти нет сведений о закономерностях распределения *Macoma calcarea*, продукционных свойствах их популяций. В последнее десятилетие интерес к изучению морской биоты северных морей значительно возрос в связи с освоением месторождений нефти и газа арктического шельфа. В результате работы нескольких экспедиций, в составе которых принимали участие сотрудники кафедры ихтиологии и гидробиологии Санкт-Петербургского университета, осуществлены весьма подробные гидробиологические исследования в Баренцевом, Карском и Лаптевых морях, значительные акватории которых оказались хвачены сеткой станций. Таким образом, появилась возможность исследовать экологические характеристики многих массовых представителей донной биоты, ранее обделенных вниманием ученых. Цель данной работы - анализ закономерностей распределения *Macoma calcarea* в юго-западной части Карского моря.

Материал собран в ходе двух экспедиций в августе 2012-2013 годов в юго-западную часть Карского моря. Для сбора бентоса использовали дночерпатель Ван-Вина с площадью пробоотбора  $0,1 \text{ м}^2$  в трехкратной повторности на каждой станции. Всего было обследовано 119 станций (глубины 4-415 м). Анализ абиотических характеристик станций включал результаты океанографического зондирования (определение в придонном слое воды следующих показателей: температура, соленость, растворенный кислород; рН) и оценку гранулометрического состава донных отложений. Сравнение станций по абиотическим показателям проведено с использованием многомерных методов: кластерного анализа, многомерного шкалирования (MDS). В качестве меры сходства между описаниями выбрано расстояние Евклида. Для оценки вклада отдельных переменных в различия групп станций использован анализ Simper. Изучение связи распределения абиотических характеристик и показателей обилия *Macoma calcarea* проведено с применением корреляционного анализа (коэффициент ранговой корреляции Спирмена) и теста Мантеля.

Двустворчатые моллюски *Macoma calcarea* были найдены на 37 станциях (из 119) изучаемого полигона на глубинах от 4 до 190 м при температуре и солености придонной воды от  $-1,6$  до  $6,8 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $30,6 - 34,4 \text{ ‰}$  соответственно. Почти 98 % гранулометрического состава грунта этих станций приходилось на мелкозернистую фракцию (частицы размером менее  $0,25 \text{ мм}$ ), в основном представленную алевритами (фракция илов, в среднем около 80 %, частицы размером  $0,1-0,005 \text{ мм}$ ) и мелким песком (в среднем около 20 %, частицы размером  $0,25-0,1 \text{ мм}$ ). Таким образом, эдафические характеристики станций вполне соответствовали предпочтительным условиям обитания инфаунальных детритофагов, к которым относится *Macoma calcarea*. Средние численность и биомасса маком на станциях обнаружения оказались не высоки, достигая около  $24 \text{ экз./м}^2$  и  $17 \text{ г/м}^2$  соответственно. Максимальные величины обилия моллюсков отмечены на глубине  $42,5 \text{ м}$  в одноименном сообществе ( $127 \text{ экз./м}^2$  и  $91 \text{ г/м}^2$ ). В целом макомы доминировали по биомассе среди представителей макробентоса на 11 станциях (из 37), достигая от 17 до 44 % от суммарного показателя.

Не смотря на то, что макомы были обнаружены в весьма широком диапазоне глубин (4-190 м), основные запасы их оказались приурочены к станциям с глубин 19-53 м, мельче и глубже находки данного вида были эпизодичны. Поэтому только эти станции были выбраны для анализа особенностей распределения *Macoma calcaria* в пределах анализируемого полигона. В диапазоне выше названных глубин численность и биомасса маком варьировали в широких пределах: 3-127 экз./м<sup>2</sup> и 0,05-91 г/м<sup>2</sup> соответственно. Не удалось выявить статистически значимых корреляционных связей между показателями обилия маком и абиотическими характеристиками станций. Однако при анализе сходства станций по абиотическим параметрам было выделено 2 группы, основной вклад в различия между которыми (Simpex анализ) вносили доли фракций алевритов и мелкого песка. При этом наименьшими показателями обилия отличались макомы на станциях, где в грунте преобладала фракция мелкого песка (в среднем около 70 %), а на долю алевритов приходилось всего в среднем около 25 %. Аналогично, при разделении станций на две группы в соответствии с проявлением эффекта доминирования *Macoma calcaria* по биомассе и последующем анализе различий абиотических показателей станций в этих группах оказалось, что по-прежнему, основной вклад в различие полученных объединений вносят фракции мелкого песка и алевритов. На станциях, где представители изучаемого вида доминировали по биомассе, доля алевритов была наибольшей и достигала в среднем 85 %.

Таким образом, на данном этапе исследований нам удалось показать, что наиболее массовые поселения *Macoma calcaria* в юго-западной части Карского моря приурочены к илистым биотопам на глубинах менее 50 м. Возможно, редкие находки моллюсков на больших глубинах связаны с неблагоприятным для размножения этого бореально-арктического вида температурным режимом больших глубин (постоянно низкие температуры воды). На глубинах менее 50 м мы смогли связать распределение *Macoma calcaria* только с характеристиками донных отложений, показав, что наибольшими показателями обилия макомы отличаются в местобитаниях с достаточно высоким содержанием в грунте илистой фракции (более 80 %). Однако даже высокая доля алевритов в грунте не всегда гарантировала массовое поселение данного вида. В пределах рассматриваемого диапазона глубин отмечены станции, где в практически илистом биотопе обнаружены лишь единичные представители *Macoma calcaria*. По-видимому, анализ распределения маком следует продолжить с привлечением биотических характеристик станций, что и планируется в будущих исследованиях.



## БАКТЕРИОПЛАНКТОН ШЕЛЬФОВЫХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Н. Д. Романова  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

BACTERIOPLANKTON OF THE ARCTIC SHELF SEAS

N. D. Romanova  
Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*Romanova-nadya@yandex.ru*

Ключевые слова: *бактериопланктон, арктический шельф, морская экология.*

Keywords: *bacterioplankton, marine ecology, Arctic shelf.*

Несмотря на возрастающий интерес к микробным ценозам арктических морей в связи с климатическими изменениями и активным освоением шельфа, до сих пор нет общих представлений о динамике развития микроорганизмов и о факторах, на них влияющих. Это связано, в первую очередь, с труднодоступностью районов исследования на протяжении большей части года, а также с необходимостью комплексных анализов условий среды, учитывая пятнистость распределения и высокую изменчивость микроорганизмов.

На настоящее время выделяют две области высокой активности арктических микробных сообществ: эстуарные районы, где происходит вынос аллохтонного органического вещества, и область континентального склона, где гидродинамические процессы также обеспечивают повышенную продуктивность планктонного сообщества. Отдельный интерес представляют прикромочные ледовые процессы, однако в силу сложности организации подобных работ, такие исследования еще более малочисленны.

В Баренцевом море величины обилия бактериопланктона поверхностного слоя воды в прибрежных и открытых водах сопоставимы в летний сезон, тогда как численность вирусных частиц (и, следовательно, частота возможных контактов) в прибрежных водах может быть на порядок выше, чем в открытых районах [2]. Величина вирус-индуцированной гибели бактериопланктона в исследованиях, проведенных летом 2010 г., могла достигать 58%, составляя в среднем 14 % [1]. Сопоставление сезонных данных показало, что несмотря на снижение концентрации бактериопланктона в конце осени, величина его биомассы, напротив, возрастает за счет увеличения размера клеток [2].

В морях, куда впадают крупнейшие сибирские реки (Обь, Енисей, Атаганга, Лена, Индигирка и Колыма), их сток и является основным фактором, определяющим распределение бактериопланктона. В области эстуария обилие бактериопланктона может на порядок превосходить значения этого показателя в открытом море [4, 5, 8, 9]. Для Обского эстуария показано, что максимальные величины вирус-индуцированной смертности наблюдались при переходных значениях солености (до 64% суточной продукции), в остальных точках достигая всего 2-10% [3].

Однако, имеющихся сведений далеко не достаточно для понимания закономерностей функционирования микробных ценозов арктических шельфовых морей. В первую очередь, необходимо оценить влияние на структуру микробного сообщества состава взвешенного органического вещества. Подобные работы проводились в устьях Оби и Енисея [7], для которых было показано, что выносимое реками вещество практически не влияет на скорость роста бактериопланктона. Тем не менее, в том же исследовании исходя из оценки синтезируемого фитопланктоном органического вещества был подведен баланс, согласно которому его не достаточно для компенсации потребности бактериопланктона. Основываясь на результатах исследований в море Бофорта, а также на работах по Чукотскому морю и морю Баффина можно предположить, что в прибрежных мутных водах бактерии адаптированы к утилизации взвеси, тогда как в открытых районах они используют легкодоступную органику - продукты синтеза фитопланктона и иные формы окрашенного органического вещества [6].

Таким образом, для того, чтобы сформулировать закономерности функционирования микробной компоненты планктонного сообщества необходим комплексный подход, включающий как рассмотрение иных трофических уровней, так и геохимических и гидрологических характеристик рассматриваемых

биотопов. Отдельной задачей является исследование состояния микробных сообществ в иные сезоны, что стало возможно в последние годы благодаря возобновившимся работам с борта судов ледокольного типа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ 17-77-10138.*

### Литература

1. Венгер, М.П., Копылов, А.И., Заботкина, Е.А., Макаревич, П.Р. Влияние вирусов на бактериопланкто открытой и прибрежной части Баренцева моря // Биология моря. 2016 Т.42. №1. С. 19-26.
2. Венгер М.П., Ширококолобова Т.И. Вирио- и бактериопланктон шельфа Баренцева моря // Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств. Материалы международной научно-практической конференции: в 2-х частях. Мурманский государственный технический университет. 2015. С. 199-205.
3. Копылов А.И., Сажин, А.Ф., Заботкина Е.А., Романенко А.В., Романова Н.Д. Вирио- и бактериопланктон в эстуарной зоне реки Обь и прилегающих районах шельфа Карского моря // Океанология. 2017. Т.57. № 1. С. 118-127.
4. Романова Н.Д., Сажин А.Ф. Бактериопланктон шельфовой части Карского моря // Океанология. Т. 55. №6 С. 949-949.
5. Саввичев А.С., Захарова Е.Е., Веслополова Е.Ф., Русанов И.И., Леин А.Ю., Иванов М.В. Микробные процессы циклов углерода и серы в Карском море // Океанология. 2010. Т. 50 № 6. С. 942-957.
6. Garneau M.-E., Vincent, W.F., Terrado, R., Lovejoy, C. Importance of particle-associated bacterial heterotrophy in a coastal Arctic ecosystem. J. Marine Systems. 2009. pp. 185-197.
7. Meon B., Amon R.M.W. Heterotrophic bacterial activity and fluxes of dissolved free amino acids and glucose in the Arctic rivers Ob, Yenisei and the adjacent Kara Sea // Aquat Microb Ecol. 2004. No. 37. pp. 121-135.
8. Romanova N.D., Zabotkina E.A., Venger M.P. Microbial processes in the Laptev sea pelagial //Workshop 'Biogeochemical processes in the Lena Delta and Laptev Sea regions', LenaDNM project June 25-27, 2016.
9. Sorokin Y.I., Sorokin P.Y. Plankton and primary production in the Lena River estuary and in the south-eastern Laptev Sea //Estuarine, Coastal and Shelf Science. 1996. V. 43. №. 4. pp. 399-418

# ДИНАМИКА БАКТЕРИОПЛАНКТОНА ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ КУРШСКОГО ЗАЛИВА В СВЯЗИ С ПРИСУТСТВИЕМ В ВОДЕ ТОКСИЧЕСКИХ МЕТАБОЛИТОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

М. М. Смирнова<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград

DYNAMICS OF BACTERIOPLANKTON OF COASTAL ZONE OF CURONIAN LAGOON IN CONNECTION WITH THE PRESENCE OF TOXIC CYANOBACTERIAL METABOLITES IN THE WATER

M. M. Smirnova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

<sup>2</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

*smirnova-mm@mail.ru*

Ключевые слова: *Бактериопланктон, микрофлора, цианотоксины, цианобактерии, Куршский залив Балтийского моря*

Keywords: *Bacterioplankton, microflora, cyanotoxins, cyanobacteria, Curonian Lagoon of the Baltic Sea.*

Куршский залив Балтийского моря – полужакрытый мелководный бассейн эвтрофно-гипертрофного статуса, одна из крупнейших лагун Балтийского моря. На берегах залива расположены курортные поселки, детские лагеря, базы отдыха, ООПТ. В 2000-х гг. экстремальные «цветения» с доминированием потенциально-токсичных видов из родов *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Woronichinia*, *Planktothrix*, *Anabaena* стали регулярными и более продолжительными [1].

В российской части Куршского залива с 2010 г. ежегодно регистрируются цианобактериальные гепатотоксины (микроцистины) [2]. Содержание суммарных экстрацеллюлярных микроцистинов может достигать 290 мкг/л [2]. Цианотоксины попадают в воду в результате лизиса клеток, т.е. количество цианотоксинов в воде зависит от стадии развития «цветения».

Один из путей утилизации цианотоксинов в природной среде – бактериальная биодеградация. Микроцистины – пептиды, поддающиеся воздействию аммонификаторов. В связи с участвовавшими осенними токсическими цианобактериальными «цветениями» с 2013 г. проводятся работы по изучению бактериопланктона прибрежной части Куршского залива в осенний сезон года [3, 4]. Цель данной работы – изучить количественный и качественный состав бактериопланктона прибрежной части Куршского залива в осенний период года во время и после «цветения» фитопланктона.

**Материал и методы.** Пробы воды отбирали в литорали Куршского залива (западный берег) из поверхностного горизонта на постоянной мониторинговой станции АО ИОРАН в районе 14 км Куршской косы во время «цветения» (октябрь 2013, октябрь 2014) и после «цветения» фитопланктона (октябрь 2014., ноябрь 2016). Отбор и транспортировка проб осуществлялись согласно общепринятым правилам. При микробиологическом анализе воды применяли метод десятикратных серийных разведений с последующим высевом суспензии на селективные питательные среды и среды общего назначения. Родовую идентификацию выделенных бактерий проводили по Определителю бактерий Берджи.

Результаты и обсуждение. Бактериальная численность достигала высоких значений и изменялась от  $2.7 \times 10^3$  до  $4.1 \times 10^5$  КОЕ/мл, что сопоставимо с данными для летнего периода:  $7.3 \times 10^3$  –  $1.3 \times 10^6$  КОЕ/мл [5]. Распределение по годам было следующим:  $1.1 \times 10^4$  КОЕ/мл в 2013 г.,  $1 \times 10^5$  КОЕ/мл и  $4.1 \times 10^5$  КОЕ/мл во время и после «цветения» фитопланктона в 2014 г., соответственно, и  $2.7 \times 10^3$  КОЕ/мл в 2016 г. Минимальная численность отмечена в ноябре 2016 г., в первую очередь обусловлено более низкой температурой воды в этот период (+5°C), по сравнению с предыдущими годами (+9 – +12°C). Максимальная численность бактерий отмечена в октябре 2014 г., сразу после «цветения» фитопланктона. Высокое содержание органического вещества в воде в это время обусловило увеличение

общей бактериальной численности и снижение содержания кокковых форм бактерий с 48 % до 10 %. В другие годы кокки доминировали: до 70 % от общей численности.

Доля анаэробных бактерий оставляла 42-93 % от общей численности ( $68 \pm 11$  % в среднем), достигая максимальных значений после отмирания «цветений» фитопланктона, что связано с дефицитом кислорода, израсходованного на окисление большого количества органического вещества, поступающего в воду в результате лизиса клеток фитопланктона.

Для выявления соотношения автохтонной и аллохтонной микрофлоры вод литорали Куршского залива в 2016 году посеы проводили в двух повторностях и инкубировали при 22°C и при 37°C. Полученные численные показатели бактериального роста выявили преобладание аллохтонной микрофлоры.

Бактериопланктон литорали Куршского залива на станции наблюдений в осенний период формировали 5 родов: *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Aeromonas*, *Pseudomonas* и семейство *Enterobacteriaceae*. Представители этих родов являются типичными обитателями поверхностных водоемов и активно участвуют в утилизации органического вещества, в том числе поступающего в водоем в результате кризиса «цветений» фитопланктона. Бактерии, обладающие протеолитическими свойствами, присутствуют в каждом выделенном таксоне. Вклад таксонов в общую численность в разе оды был неодинаков: *Staphylococcus* 10-67 % (в среднем  $44 \pm 12$  %), *Micrococcus* 21 %, *Bacillus* 5-45 % (в среднем  $17 \pm 9.5$  %), *Aeromonas* 8-26 % (в среднем  $18 \pm 3.8$  %), *Pseudomonas* 9-18 % (в среднем  $14 \pm 3.2$  %), *Enterobacteriaceae* 1-9 % (в среднем  $4 \pm 2.4$  %). Минимальная численность стафилококков отмечена в период кризиса «цветения», в это же время отмечено максимальное содержание бацилл. Микрококки обнаружены только в ноябре 2016 г., когда «цветение» полностью прошло. Содержание аэромонад и псевдомонад варьировало незначительно. Преимущественно невысокая численность спорных бацилл характерна для водоемов эвтрофого татуса.

Таким образом, бактериопланктон прибрежной части Куршского залива во время осенних токсических цианобактериальных «цветений» составляют сапрофитные бактерии, утилизирующие органическое вещество, среди которых также имеются аммонификаторы. Количественные и качественные показатели бактериопланктона изменяются в зависимости от стадии «цветения».

*Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 0149-2018-0009 Государственного задания ИО РАН.*

### Литература

1. Ланге Е.К. Фитопланктонный комплекс российской части Куршского залива (2001-2007 гг. // Известия КГТУ. – Калининград: КГТУ, 2013. № 28. С. 87-94.
2. Ezhova E., Lange E., Russkikh Y., Chernova E., Zhakovskaya Z. Dynamics of toxic HABs in the Curonian Lagoon, Baltic Sea during 2010-2013 // Book of abstracts. ICES Annual Science Conference (ASC) 15-19 September 2014. H26 [элект. носитель]
3. Смирнова М.М. Бактериальная микрофлора, сопутствовавшая осеннему «цветению» фитопланктона в 2013 году в прибрежной части Куршского залива в НП «Куршская коса» // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. ст. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. Вып. 10. С. 44-52.
4. Сирнова М.М. Бактериальная микрофлора, сопутствовавшая осеннему «цветению» фитопланктона в 2014 году в прибрежной части Куршского залива в НП «Куршская коса» // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. ст. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2015. Вып. 11. С. 23-30.
5. Цыбалева Г.А., Кузьмин С.Ю., Казимирченко О.В. Гидробиологическая и микробиологическая характеристика западной прибрежной зоны Куршского залива в 2014 году // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. ст. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. Вып. 12. С. 138-148.

# МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭРИТРОЦИТОВ *SCORPAENA PORCUS L.* В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГИПОКСИИ. ЭКСПЕРИМЕНТЫ IN VIVO

А. А. Солдатов, Т. А. Кухарева, А. Ю. Андреева, И. А. Парфенова, В. Н. Рычкова, Д. С. Зинькова  
Институт морских биологических исследований РАН

MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ERYTHROCYTES *SCORPAENA PORCUS L.* UNDER  
EXPERIMENTAL HYPOXIA. EXPERIMENTS IN VIVO.

A. A. Soldatov, T. A. Kukhareva, A. Yu. Andreyeva, I. A. Parphenova, V. N. Rychkova, D. S. Zin'kova  
The A.O.Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS, Sevastopol

*altali@yandex.ru*

Ключевые слова: *эритроциты, морфометрия клеток, гипоксия, Scorpaena porcus L.*

Keywords: *erythrocytes, morphometry of cells, hypoxia, Scorpaena porcus L.*

Гипоксические зоны широко распространены в прибрежных водах Мирового океана. Концентрация кислорода в таких зонах может снижаться до 0.5 мг/л. (6-7 % насыщения). Особый интерес представляют организмы, которые в подобных условиях осуществляют процессы своей жизнедеятельности и проводят значительную часть жизненного цикла. У таких организмов наблюдается перестройка ряда метаболических процессов с целью оптимизации энергетических трат. Для регуляции кислородного обеспечения происходят изменения прежде всего в системе красной крови. Рядом исследователей показано, что в условиях гипоксии эритроциты рыб увеличиваются в объеме. Однако, в ходе экспериментов *in vitro*, проводившихся на устойчивом к гипоксии виде *Scorpaena porcus L.*, были получены обратные результаты [1]. Умеренная гипоксия (2.0-4.0 мг/л) приводила к снижению объема клеток, что сопровождалось ростом их удельной поверхности. Это может быть рассмотрено, как компенсационная реакция. Лишь глубокие формы гипоксии (0.5-2.0 мг/л) вели к набуханию клеток. Таким образом, можно предположить, что виды рыб, устойчивых к гипоксии, способны допускать автономное функционирование клеточных систем в условиях целого организма. Проверке данного предположения посвящена настоящая работа.

Целью работы было воспроизвести экспериментальную гипоксию, которая ставилась нами ранее в условиях *in vitro* для *Scorpaena porcus*, на организменном уровне (*in vivo*), и сопоставить реакции клеточных систем (зрелые эритроциты).

Работа выполнена на взрослых особях скорпены (*Scorpaena porcus L.*) в состоянии относительного физиологического покоя (III-IV стадия зрелости гонад): длина тела - 14-17 см, вес тела - 85-115 г. экспериментальная гипоксия воспроизводилась с использованием специально разработанного стенда, позволяющего поддерживать заданную температуру и концентрацию кислорода в воде. Рыбу содержали сутки в нормальных условиях (концентрация кислорода 8.5-8.7 мг/л, температура 14-16°C). После адаптации концентрацию кислорода в течение 2.5-3 часов снижали до 2.6 мг/л (30% насыщения), а затем до 1.3 мг/л (15% насыщения). Экспозиция составила 1.5 часа. Мазки крови исследуемых особей просматривали под иммерсией и фотографировали. В программе ImageJ измеряли большие и малые ос эритроцитов и их ядер, и на основании формул [2, 3, 4] рассчитывали такие показатели, как: объем клетки и ядра, площадь поверхности, ядерно-плазматическое отношение и удельную поверхность эритроцитов.

Обнаружено, что снижение концентрации кислорода до 2.6 мг/л (30% насыщения) приводило к уменьшению объема эритроцитов на 4-5 % ( $p < 0.001$ ). Дальнейшее снижение концентрации кислорода до 1.3 мг/л (15% насыщения) вызывало обратные изменения. Был отмечен рост объема клеток, который составил 4% относительно контрольных значений и 9% ( $p < 0.001$ ), относительно результатов, полученных при 2.6 мг/л ( $p < 0.001$ ). Полученные результаты практически полностью совпадали с результатами экспериментов, проведенных *in vitro*.

Площадь поверхности клетки претерпевала схожие изменения и уменьшалась на 4 % при снижении концентрации кислорода до 2.6 мг/л, а в дальнейшем, напротив, увеличивалась на 9%.

Значения индексов ядерно-плазматического отношения и удельной площади поверхности клеток несколько увеличивались по мере снижения концентрации кислорода.

Было показано, что объем эритроцитов в большей степени коррелирует с длиной большой оси клетки. При этом гипоксия не оказывала влияния на характер связи.

Набухание эритроцитов в условиях гипоксии характерно для многих видов рыб [5]. Считается, что данное явление вызвано выбросом катехоламинов, которые связываются с  $\beta$ -адренорецепторами мембран эритроцитов и запускают работу  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  антипорта. Приток натрия в клетку и выход водорода приводит к увеличению объема клетки, а также к контролю рН цитоплазмы, что, в свою очередь, помогает сохранить положение кривой диссоциации оксигемоглобина [6].

Однако, подобные изменения были описаны для видов рыб, которые относятся к оксифильной группе и в условиях гипоксии испытывают стресс, что сопровождается выбросом катехоламинов. Виды рыб, устойчивые к гипоксии, к которым относится скорпена, способны допускать значительные изменения параметров внутренней среды, сохраняя при этом автономность в реакциях клеточных систем. В ходе работы было показано, что эритроциты скорпены реагировали одинаково на гипоксию как в условиях *in vitro*, так и *in vivo*.

По-видимому, объяснить данные процессы можно изменением внутриклеточной рН. Условия гипоксии приводят к активизации анаэробных процессов в клетке, что сопровождается значительным сбросом протонов, а, следовательно, снижением рН. Это может запускать ряд процессов:

- $\text{K}^+/\text{Cl}^-$  - котранспорт, сопровождаемый выходом осмолитов, что приводит к уменьшению объема клеток при умеренном снижении рН;
- $\text{Na}^+/\text{H}^+$  - антипорт, активизирующийся при значительном снижении рН, что приводит к увеличению клеточного объема.

Данная гипотеза была высказана нами ранее [1] при проведении экспериментов в условиях *in vitro*.

Таким образом, краткосрочная гипоксия (1.5 часа) вызывает ряд последовательных изменений в эритроцитах скорпены: при снижении концентрации кислорода до 15% насыщения объем клеток и их площадь поверхности уменьшается на 4-5%, а при дальнейшем снижении концентрации кислорода до 10% насыщения, объем и площадь поверхности клеток возрастает на 9-10% относительно контрольных значений. Подобные изменения как качественно, так и количественно совпадают с результатами экспериментов, проведенных в условиях *in vitro*. Это означает, что в организме скорпены, устойчивой к воздействию гипоксии, в условиях дефицита кислорода допускается автономное функционирование эритроцитов.

### Литература

1. Андреева А.Ю., Солдатов А.А. Изменение объема ядерных эритроцитов скорпены в условиях внешней гипоксии (эксперименты *in vitro*) // Доп. НАН України, 2012. № 10. С. 149-153.
2. Ташкэ К. Введение в количественную цитологическую морфологию. - Бухарест: Изд-во Академии Респ. Румынии, 1980. 291 с.
3. Чижевский А.Л. Структурный анализ движущейся крови // М.: Изд-во АН СССР, 1959. 474 с.
4. Houchin D.N., Munn J.L., Parnell B.L. A method for the measurement of red cell dimensions and calculation of mean corpuscular volume and surface area // Blood. 1958. V. 13. pp. 1185-1191.
5. Nikinmaa M. Control of red cell pH in teleost fishes // Ann. Zool. Fenn. 1986. V. 23. no 2. pp. 223-235.
6. Nikinmaa M. Adrenergic control of oxygen transport in salmonids // Fischerei-Forschung. 1991. V. 29. no 3. pp. 64-65.

# ТРАНСФОРМАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО БИОФИЛЬТРА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

О. В. Соловьёва

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь

## THE NATURAL BIOFILTER OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES TRANSFORMATION DURING THE RECREATIONAL PERIOD

O. V. Soloveva

A. O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS, Sevastopol

*kozl\_ya\_oly@mail.ru*

Ключевые слова: *мидии, митилиастеры, гидротехнические сооружения, биофильтр, рекреационные акватории, Чёрное море.*

Keywords: *mussels, mytilasters, hydrotechnical structures, biofilter, recreational water areas, the Black Sea.*

На значение гидротехнических сооружений в прибрежных акваториях, как субстратов для формирования мощных биофильтров, многократно указывалось различными специалистами в области гидробиологии [1]. Особенно велика роль подобных объектов в местах с повышенной антропогенной нагрузкой, к которым в курортный сезон относятся акватории пляжей крымского побережья. Формирующиеся на различных берегозащитных и пляжеудерживающих конструкциях поселениями моллюсков *Mytilus Galloprovincialis* Lam. Gmel. биофильтры способны оказывать определённое влияние на экологическое благополучие акватории [2], что особенно актуально в период рекреации. На протяжении курортного сезона меняются не только физические, химические и микробиологические показатели воды, но и характеристики самих митилидных поселений (размерная структура, численность, биомасса), что неизбежно влечёт за собой изменение роли естественных биофильтров в санации акватории. При этом исследование особенностей распределения, динамики митилидного обрастания искусственных сооружений, формирующего биофильтр, в рекреационных зонах в курортный сезон ранее не проводилось.

Целью настоящей работы стала оценка динамики характеристик поселений *Mytilus Galloprovincialis* Lam. и *Mytilaster lineatus* Gmel. на гидротехнических сооружениях в рекреационных акваториях в течение курортного сезона.

Материал отбирали с гидротехнических сооружений, расположенных в рекреационных зонах Севастополя, коорые во время «высокого» сезона зачастую оказываются неблагополучными по санитарным показателям. Выбранные районы отличаются глубинами, уровнем загрязнения, степенью прибойности. Пробоотбор производили трёхкратно: в начале июня, до начала массового курортного сезона, в начале августа - при пиковой рекреационной нагрузке и максимальных температурных показателях воды; и в конце сентября, по завершении сезона. Это позволило проследить, каким образом изменяются поселения митилид, а соответственно и формируемые ими биофильтры на протяжении летнего сезона.

Обрастание исследовалось в поверхностном горизонте (0 - 1 м). При этом из литературных данных можно судить, что при глубине сооружений не более 2 м достоверных отличий в обилии митилидных моллюсков на различных горизонтах глубин их поверхности быть не должно [3]. На бунах пробы брали с левой и правой сторон с площадки 16\*16 см в 3-х повторностях. На трубе коллектора была взята одна проба в трёх повторностях с боковых поверхностей сооружения. На набережной б. Севастопольская исследовались 3 станции, на каждой из которых пробы брались трёхкратно. Таким образом, общее количество материала составило 72 пробы перифитона.

Во время 1-го отбора проб температура воды колебалась в пределах 18 - 20 °С. В период 2-й съёмки - 25 - 27 °С, при этом пляж б. Песочная был закрыт по предписанию СЭС. При 3-ей съёмке температура была 20 - 22 °С.

Из образцов обрастания, собранных с поверхности набережной Севастопольской бухты, отбирали мидий (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) и митилястеров (*Mytilaster lineatus* Gmel.). Далее их измеряли штангенциркулем (точность 0,1 мм) и разделяли на размерные группы 1 - 10, 11 - 20, 21 - 30, 31 - 40, 41 - 50, 51 - 60, 61 - 70, 71 - 80, 81 - 90, 91 - 100 мм. Особи с пограничным размером относили к группе более крупных организмов. Особей мельче 1 мм не учитывали. Моллюсков взвешивали на технических весах (точность 0,1 г).

Фильтрационная работа (л·сут.<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup>), совершаемая за сутки моллюсками, обитающими на 1 м<sup>2</sup> гидротехнического сооружения оценивалась исходя из средней скорости фильтрации моллюсков в *i*-ой размерной группе ( $F_i$ , л·экз.<sup>-1</sup>·сут.<sup>-1</sup>) [4; 5] и численности размерных групп ( $N_i$ , экз·м<sup>-2</sup>). Кластерный анализ данных произведён с помощью программы *STATISTICA*. Для обработки данных использовал дровидную кластеризацию с евклидовым расстоянием объединения [6].

В результате проведённых работ установлено, что:

1. Численность и биомассам моллюсков *Mytilus Galloprovincialis* Lam. и *Mytilaster lineatus* Gmel. на гидротехнических сооружениях рекреационных акваторий севастопольского побережья колебались в широких пределах. Обилие мидий составляло 65 до 14727 экз./м<sup>2</sup>, митилястеров - от 2227 до 193385 экз./м<sup>2</sup>. Для основного числа станций максимальная численность мидий отмечена в июне, в начале рекреационного сезона. Для митилястера - напротив, в июне были минимальные значения этого показателя. Данные факты связаны с ритмами оседания молоди указанных видов.
2. Биомасса мидий колебалась от 5 - 10 г/м<sup>2</sup> до 5516 г/м<sup>2</sup>, митилястеров - от 171 до 18322 г/м<sup>2</sup>. Для мидии в весенний период отмечены более высокие показатели биомассы, чем при последующих съёмках. Изменение данной характеристики поселений митилястеров во времени не имело чёткой тенденции.
3. Диапазон размеров мидий до начала сезона был от 1 до 70 мм, а в дальнейшем моллюски длиннее 50 мм не встречались. Размерный состав мидий говорит о незначительной продолжительности их жизни, что характерно для данного горизонта. Для митилястеров отмечены размерные группы от 1 до 30 мм. На большинстве станций не встречались особи крупнее 20 мм, за исключением б. Круглой, где создаются благоприятные условия для выживания данного вида и возраст моллюсков превышает 1 год.
4. В последние годы, более толерантный ко многим факторам среды митилястер, в условиях массовой элиминации мидии на твёрдых субстратах крымского побережья, замещает собой данный вид, образуя достаточно обильные поселения. Попытка сгруппировать станции показала, что наиболее сходство имеют бетонные буны, находящиеся в районах с различными гидродинамическими условиями, которые зачастую являются ведущим фактором в формировании и функционировании митилидного обрастания в поверхностном горизонте. Т.о. их сходство, скорее всего, связано с комплексом факторов, оценка которого является более сложной задачей, нежели та, которую можно решить на данном этапе. Наибольшее отличие выражено для станции, на которой отличным был материал, из которого создано сооружение и его пространственная ориентация. Металлически коллктор, расположенный горизонтально, имел более высокие показатели обилия митилид, нежели вертикальные стенки.
5. Мощность естественного биофильтра, создаваемого мидиями колебалась на различных объектах в течение сезона от 0 до 88685 л/сут·м<sup>2</sup>. Для митилястеров данный показатель находился в диапазоне 2316 до 148088 л/сут·м<sup>2</sup>. На большей части станций на фильтрационную работу митилястеров приходилась основная фильтрационная работа митилидных поселений. Рассчитанное изменение мощности биофильтра на протяжении курортного сезона является как следствием естественных процессов внутригодовой трансформации сообщества обрастания, так и, вероятно, результатом антропогенной нагрузки.

Работа подготовлена по теме государственного задания ФГБУН ИМБИ "Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем номер гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2.

## Литература

1. Александров Б.Г. Гидробиологические основы управления состоянием прибрежных экосистем Чёрного моря: автореф. дисс. ... докт. биол. наук: Севастополь, 2002. 36 с.



2. Соловьёва О.В. Потоки нефтяных углеводородов через поселение мидий, обитающих на южном молу Севастопольские бухты (Чёрное море) // Морск. экол. журн. 2007. 4, № 4. С. 61 – 68.
3. Митилиды Чёрного моря / Заика В. Е., Валовая Н. А., Повчун А. С. и др. Киев: Наук. думка, 1990. 208 с.
4. Миронов Г.Н. Фильтрационная работа и питание мидий Черного моря // Тр. Севастоп. биол. станции. 1948. 6. С. 338 – 352.
5. Петров А.Н., Ревков Н.К. Изучение респираторной и фильтрационной активностей у двух видов моллюсков в зависимости от экологических особенностей мест обитания // Проблемы современной биологии / МГУ им. М. В. Ломоносова, биологический факультет. М., 1987. С. 48 – 50. Деп. в ВИНТИ, май 1987, № 66252 – В 87.
6. StatSoft, Inc. (2012). Электронный учебник по статистике. Москва, StatSoft. <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>

# ХИМИКО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОЙ АКВАТОРИИ

Е. А. Тихонова, Н. В. Бурдиян, О. В. Соловьёва

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь

THE CHEMICAL-MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SEA BOTTOM SEDIMENTS OF THE KERCH STRAIT AND ADJACENT AZOV-BLACK SEA WATER AREAS

E. A. Tikhonova, N. V. Burdiyan, O. V. Soloveva

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS, Sevastopol

*tihonova@mail.ru*

Ключевые слова: *хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды, гетеротрофные и нефтеокисляющие бактерии, морская вода, донные отложения, Керченский пролив, Чёрное море, Азовское море*

Keywords: *chloroform-extractable substances, oil hydrocarbons, heterotrophic and oil-oxidizing bacteria, sea water, sea bottom sediments, Kerch Strait, Black Sea, Azov Sea*

Для вод Азовской акватории характерны уровни НУ не превышающие ПДК (средняя их концентрация -  $0.036 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ ). Данный показатель на исследованном участке колебался в пределах от  $0.004 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$  до  $0.044 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ . По литературным данным, в период с 2004 по 2008 гг. средняя концентрация углеводородов в Азовском море составляла  $0.040 - 0.070 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ , при максимальном значении в весенний период  $0.090 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ . Данное повышение уровней авторы связывают со смывом накопившихся за зиму поллютантов тальми водами [1].

В поверхностном слое воды в причерноморской акватории количество НУ составило  $0.063 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ , то есть полученные результаты превышают предельно-допустимую концентрацию в 1.3 раза (ПДК= $0.05 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ ). Тогда как ранее нами в данном районе нефтяного загрязнения не было выявлено [2]. С одной стороны, отмеченные уровни НУ могут быть также результатом естественных процессов, с другой, могут быть связаны с подвижностью водной среды. В целом, в отношении нефтяного загрязнения вод Керченского пролива в литературных источниках содержатся различные данные: как существенное превышение ПДК [3], так и концентрации ниже санитарных нормативов [4].

В исследуемом районе изучение нефтеокисляющей микробиоты и наблюдение над общим количеством гетеротрофных микроорганизмов было начато летом 1969 г. и продолжено в 1971 г. [5]. Проведённые нами бактериологические исследования морской воды показали, что численность гетеротрофных бактерий в акватории Азовского моря варьировала в пределах  $10^4 - 10^5$ . Высокая численность гетеротрофов в азовской воде, богатой органическими веществами, была отмечена и ранее [5]. Нефтеокисляющие бактерии на станциях, расположенных в Азовском море, высеяны в единичных количествах. В причерноморской акватории Керченского пролива (ст. 1), число бактерий, осуществляющих деструкцию нефтяных углеводородов в морской воде, составило  $10 \text{ кл}\cdot\text{мл}^{-1}$ .

Донные отложения в настоящем исследовании, также как и ранее были представлены серыми или тёмно-серыми илами, в большинстве случаев с примесью песка или ракушки, с достаточно чётко выраженным поверхностным окисленным слоем толщиной 3-5 мм. Ил на большинстве станций отбора проб был мелкодисперсным, что, как известно, способствует накоплению органических веществ, в том числе и нефтепродуктов.

Важными параметрами, характеризующими качество и сорбционную способность донных отложений, являются рН, окислительно-восстановительный потенциал, размеры частиц. По результатам наших исследований в морских грунтах активная реакция среды была слабощелочной (рН=7.54-7.82). Eh, который непосредственно зависит от гранулометрического состава донных осадков, в причерноморской части акватории Керченского пролива был положительным (+110 мВ), что обеспечило

окислительные условия среды. Тогда как в Азовском море они были слабовосстановленными ( $Eh = +1 \dots +44$  мВ), за исключением мелководной ст. 2 с глубиной 11 м и восстановительными условиями ( $Eh = -165$  мВ). Такие условия способствуют накоплению углеводородов в донных отложениях, т.к. при низких значениях окислительно-восстановительного потенциала среды замедляются процессы преобразования битумоида [6].

Полученные ранее результаты показали, что в 2009 г. минимальные значения ХЭВ ( $26 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$  возд.-сух. д. о.) [7] были отмечены на станции, расположенной у входа в пролив со стороны Чёрного моря, тогда как настоящие исследования указывают на уровень в 2 раза превышающий прошлые значения и в 1.96 раз больше средних (которые с учётом завышенных показателей вблизи Ялтинского коллектора составили  $36.7 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ ) по черноморской прибрежной акватории Крымского полуострова (за исключением концентраций ХЭВ в хронически загрязнённых бухтах Севастопольского побережья).

Максимальные же величины ХЭВ, как и ранее характерны для Азовской акватории, в частности станции на выходе из Керченского пролива, где значения 2010 и 2016 гг. одинаковы и составляют  $187 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$  [6]. При этом ранее была отмечена тенденция к увеличению содержания ХЭВ, которая сохранилась и до настоящего времени. Однако полученные значения не превышают величин характерных для данной акватории (для ракушника Азовского моря -  $20 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ , для пелитовых илов -  $230 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ ) [8]. Следует отметить, что единых нормативов для определения уровня загрязнённости углеводородами донных отложений до настоящего времени не существует [9], поэтому обычно проводится сравнительный анализ данных показателей до и после каких-либо разливов, в местах слива загрязняющих веществ с условно чистыми участками акваторий и в сравнении с другими регионами [7].

Если ранее в наших исследованиях [7] отмечена тенденция к уменьшению количества НУ в донных отложениях Керченского пролива и предпроливья, то в настоящее время зафиксированные концентрации больше следовых ( $5 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ ), что в среднем в 3 и 1.6 раз выше отмеченных ранее в I-м и III-м районах соответственно. Однако данный уровень нефтяного загрязнения, как и в предыдущих исследованиях, не превышает величин, характерных для чистых и слабозагрязнённых акваторий Чёрного моря.

Максимальные значения концентрации НУ идентичны в донных отложениях как на ст. 2 в Азовском море, так и в причерноморской части Керченского пролива, но их доля от ХЭВ различна. Так, в азовской акватории она одинакова на всех исследованных станциях и составляет 6 %, тогда как в Чёрном море в 2.3 раза выше (14 %) [6]. Более высокие показатели содержания ХЭВ и НУ в причерноморской части Керченского пролива могут указывать на современные процессы накопления этих веществ в донных осадках, а более высокое процентное содержание об интенсивной антропогенной нагрузке в данной акватории.

В пробах донных отложений, отобранных в Азовском море, численность гетеротрофных бактерий колебалась от  $2.5 \cdot 10^4$  до  $4.5 \cdot 10^4$  бактериальных клеток в одном грамме донных отложений ( $\text{кл.} \cdot \text{г}^{-1}$ ). Количественные показатели нефтеокисляющих бактерий, соответственно, варьировали от  $2.5 \cdot 10$  до  $4.5 \cdot 10^2$   $\text{кл.} \cdot \text{г}^{-1}$ . В районе черноморского предпроливья (ст. 1) число гетеротрофов в донных отложениях составило  $4.5 \cdot 10^3$   $\text{кл.} \cdot \text{г}^{-1}$ , а нефтеокисляющих бактерий -  $10$   $\text{кл.} \cdot \text{г}^{-1}$ . Определённые нами показатели численности бактериобентоса на ст. 1 близки к аналогичным показателям, полученным в акватории Керченского пролива в 2007 г. Так, число гетеротрофных бактерий в причерноморской акватории Керченского пролива в 2007 г. варьировало от  $9.5 \cdot 10^3$  до  $4.5 \cdot 10^5$   $\text{кл.} \cdot \text{г}^{-1}$ , нефтеокисляющих - от 75 до 115  $\text{кл.} \cdot \text{г}^{-1}$  [10].

*Работа подготовлена по теме государственного задания ФГБУН ИМБИ «Молисматологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», номер гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2.*

## Литература

1. Клёнкин А. А., Агапов С. А. Динамика распределения нефтепродуктов в воде и донных отложениях Азовского и Чёрного морей после аварии судов в Керченском проливе // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 2. С. 214-222.
2. Тихонова Е. А. Нефтяное загрязнение донных осадков и прибрежных наносов Керченского пролива в период 2007-2010 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2011. Т. 1, № 25. С. 200-205.

3. Ларин А. А., Павленко Л. Ф., Скрыпник Г. В., Корпакова И. Г. Загрязнение прибрежной акватории российского Причерноморья нефтяными компонентами // Морской экологический журнал. 2011. № 2 (спец. вып.). С. 49-55.
4. Петренко О. А., Жугайло С. С., Авдеева Т. М., Аджиумеров С. Н. Содержание нефтепродуктов в водной среде, донных отложениях и почве рекреационной зоны г. Керчи и о. Коса Тузла // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10, № 1. С. 818-821.
5. Самоочищение в прибрежной акватории Чёрного моря / под ред. В. Н. Грезе : Наукова думка, 1975. 142 с.
6. Тихонова Е. А., Соловьёва О. В., Котельянец Е. А. Оценка уровня загрязнения донных отложений крымского побережья Чёрного и Азовского морей // Принципы экологии. 2016. №5 (21). С. 56- 70.
7. Тихонова Е. А., Бурдиян Н. В., Соловьёва О. В., Дорошенко Ю. В. Химические и микробиологические показатели донных отложений Керченского пролива после аварии судна «Волгонепть-139» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 4. С. 12-16.
8. Миронов О. Г. Санитарно-биологическая характеристика Азовского моря // Гидробиологический журнал. 1996. Т. 32, № 1. С. 61-67.
9. Михайлова Т. В. Разработка нормативов загрязняющих веществ в донных грунтах (на примере нефти) // VII Съезд гидробиологического общества РАН : тезисы докладов. Калининград. 2001. С. 152-153.
10. Еремеев В. Н., Миронов О. Г., Алёмов С. В., Бурдиян Н. В., Шадрин Т. В., Тихонова Е. А., Волков Н. Г. Предварительные оценки нефтяного загрязнения Керченского пролива после аварии судов 11 ноября 2007 г. // Морской экологический журнал. 2008. Т. 7, № 3. С. 15-24.

## 2 Физика и биология океана

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЦВЕТЕНИЯ  
СИНЕЗЕЛЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В ЧЕРНОМ И АЗОВСКИХ МОРЯХ

А. А. Алескерова, А. А. Кубряков, С. В. Станичный, П. Н. Лишаев  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF CYANOBACTERIA BLOOM IN THE BLACK AND  
AZOV SEAS

A. A. Aleskerova, A. A. Kubryakov, S. V. Stanichnyi, P. N. Lishaev  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*Annet08@mail.ru*

Ключевые слова: *Азовское море, Черное море, сине-зеленые водоросли, Landsat, цветение, оптические измерения.*

Keywords: *Landsat, Sea of Azov, Black sea, cyanobacteria, optical measurement, bloom.*

Сине-зеленые водоросли оказывают значительное влияние на функционирование экосистемы Азовского моря и северо-западного шельфа Черного моря. В период их цветения поглощение кислорода превосходит его продукцию, что приводит к кислородному голоданию в верхних слоях моря [1]. Выделяемые отмирающими клетками цианобактерий токсины опасны для всех живых организмов, в том числе для человека. Цветение сине-зеленых обусловлено воздействием нескольких факторов окружающей среды: большое количество биогенов поступающих с речным стоком, слабое (отсутствующее) перемешивание воды, высокая температура. Области северо-западного шельфа Черного моря, Азовское море отвечают всем параметрам и являются благоприятными районами для цветения сине-зеленых водорослей [1, 2]. Изучение пространственного и временного распределения синезеленых водорослей, важно для определения мест их частого скопления, выявления источников их распространения и определения факторов, вызывающих их цветения.

В настоящей работе исследуется пространственная и временная изменчивость цветения синезеленых водорослей в акватории Азовского моря и северо-западного шельфа Черного моря. Работа выполнена на основе использования 17-летнего массива данных спутников Landsat 4, 5, 7, 8 с 1999 по 2016 г., которые позволяют определять оптические и температурные характеристики моря с высоким разрешением (15–100 м). По спутниковым снимкам Landsat их можно различить на поверхности воды как нитчатые структуры, которые хорошо просматриваются на композитных изображениях (RGB) при использовании комбинаций каналов для получения «естественного цвета». Также при анализе спутниковых снимков для выделения синезеленых водорослей использовались ближние инфракрасные каналы, в которых сине-зеленые имеют значительно повышенные значения яркости по сравнению с чистой водой.

Данные, полученные со спутников Landsat, использованы для выявления случаев интенсивных цветений водорослей, определению характерных мест их существования и их пространственной изменчивости. Этот анализ использован далее для разработки и валидации алгоритма автоматической идентификации сине-зеленых водорослей на основе спектрального анализа данных MODIS.

На основе статистического анализа получено пространственное распределение синезеленых водорослей. Показано, что наиболее часто данные водоросли наблюдаются у стоков рек Дон (Таганрогский залив), Кубань, Притока и у Ахтарского лимана в Азовском море, в Днепровско-Бугском, Приднестровском лиманах и так же прилегающих акваториях, и вблизи устья Дуная на северо-западном шельфе Черного моря.

Были исследованы особенности сезонной изменчивости цветения синезеленых водорослей. Показано, что цветения в Таганрогском заливе наблюдаются чаще всего с марта по ноябрь, а в остальной части Азовского моря – с апреля по октябрь. В Черном море цветение наблюдается с апреля по сентябрь, а максимум цветения сине-зеленых водорослей приходится на летние месяцы.

Отмечена значительная межгодовая изменчивость площади, покрытой цветением, в данных регионах. В Азовском море наблюдаются экстремальные цветения в 1999 году и с 2006 по 2009 гг., а в некоторые года, например, в 2004 и 2014 гг. наблюдается минимум распространения синезеленых водорослей в данном районе. Заметно, что с течением времени сильные цветения наблюдаются все реже.

На северо-западном шельфе Черного моря максимальное цветение наблюдалось у Днепро-Бугского лимана в 2009 - 2010, минимальное в 2013. У устья Дуная минимальные цветения отмечены в 2007–2009, максимальные в последние годы 2014 - 2016. Так же отмечено, что в последние годы наблюдается резкий рост синезеленых в данном районе.

Обсуждены причины, влияющие на интенсивность и пространственное распределение «цветения» синезеленых в Азовском море и на северо-западном шельфе Черного моря. Основными из них являются: стратификация (определяемая температурой и скоростью ветра), топография, сток рек и динамика течений, которая в свою очередь влияет на халинные свойства акваторий, что играет существенную роль для цветения преснолюбивых водорослей.

*Исследование сезонной изменчивости цветений выполнено при поддержке гранта РФФИ 16-35-60036 мол\_а\_дж. Выделение зон аномальных цветений по данным Landsat выполнено при поддержке гранта РФФИ 17-05-41102 РГО\_а. Обработка и получение данных выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Морской гидрофизический институт РАН» по контракту ФАНО № 0827-2018-0002.*

### Литература

1. Матишов Г.Г., Фуштей Т.В. К проблеме вредоносных «цветений воды» в Азовском море // Электронный журнал «Исследовано в России». 2003. С. 213 - 225.
2. Александров Б. Г., Теренько Л. М., Нестерова Д. А. Первый случай цветения воды в Черном море водорослью *Nodularia spumigena* Mert. ex Bornet et Flahault (Суанопрокaryota) // Альгология. 2012. №. 22, № 2. С. 152 - 165.

# ВЛИЯНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СЕЗОННУЮ И МНОГОЛЕТНЮЮ ДИНАМИКУ ЗООПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

А. Б. Амелина, Е. Г. Арашкевич, Н. Е. Луппова, О. И. Подымов  
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

THE INFLUENCE OF HYDROPHYSICAL CONDITIONS ON THE SEASONAL AND LONGTERM ZOOPLANKTON DYNAMICS IN THE COASTAL ZONE OF THE NORTH EASTERN BLACK SEA

A. B. Amelina, E. G. Arashkevich, N. Y. Louppova, O. I. Podymov  
P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*anastasia.nikishina@gmail.com*

Ключевые слова: *зоопланктон прибрежной зоны, Черное море, гидрофизическое воздействие на пелагические сообщества*

Keywords: *coastal zone zooplankton, Black Sea, hydrophysical influence on pelagic ecosystems*

Зоны шельфа и континентального склона играют ключевую роль в функционировании экосистем пелагиали. В различных морских водоёмах эти биотопы обеспечивают до 80% всей продукции. В Черном море большая часть пелагиали заражена сероводородом, поэтому круговорот биогенов замедлен, что значительно ограничивает продуктивную способность моря. В связи с этим ещё большее значение для всей экосистемы водоёма приобретают биологические процессы, происходящие на шельфе и в зоне свала глубин [1, 2].

В последние десятилетия сообщество пелагиали Черного моря претерпело значительные изменения [3, 4]. Вселение гребневика *Mnemiopsis leidyi* в середине 80-х и последовавшее за ним развитие хищного гребневика-вселенца *Beroe ovata* значительно изменили планктонное сообщество. Активное развитие *M. leidyi* привело к значительному снижению среднегодовой биомассы зоопланктона. Наибольшее влияние новый хищник оказал на сообщества шельфа, где биомасса уменьшилась на 1-2 порядка [5]. В последующие годы наблюдался постепенный рост биомассы зоопланктона, однако значительные изменения биотических и абиотических факторов окружающей среды вызвали серию структурно-функциональных перестроек сообщества зоопланктона [6].

Кавказский сектор Черного моря характеризуется узким шельфом, ширина которого составляет 3-5 миль. Далее расположен резкий склон до глубин порядка 1000 м. Характер рельефа дна обуславливает особенности гидродинамической циркуляции в этом районе - образование вихревых структур разного знака и масштаба, осуществляющих кросс- и вдоль-шельфовый перенос планктонных организмов. Это приводит к неоднородности распределения планктона, образованию «пятнистости» и быстрому изменению видовой структуры сообщества прибрежной зоны [7].

Целью данной работы было изучение сезонных и межгодовых изменений в планктонном сообществе в разных областях прибрежной зоны (на внутреннем шельфе, среднем шельфе и над континентальным склоном). Нашей задачей было исследование ответа зоопланктонного сообщества на изменение гидрофизических условий, прежде всего температуры и гидродинамического режима. Для того, чтобы выявить изменения зоопланктона, вызванные воздействием гидрофизических условий, на фоне происходящих в последние десятилетия более глобальных структурных перестроек сообщества, было проведено сравнение результатов наших наблюдений с данными прошлых лет.

Основой настоящей работы являются регулярные наблюдения зоопланктона, проводившиеся в период с конца июня 2005 по октябрь 2014 гг. на 10-мильном кросшельфовом разрезе у северо-восточного побережья Черного моря. На разрезе были определены три станции: на внутреннем шельфе (над глубиной 25-30 м), на срединном шельфе (50-60 м) и в области континентального склона (500-1000 м). Материал собирали практически ежемесячно. Отбор проб зоопланктона проводился стандартной сетью Джеди (площадь входного отверстия 0,1 м<sup>2</sup>, размер ячеей 180μ) тотальными ловами от дна до



поверхности. Концентрированные пробы зоопланктона фиксировали 4% формалином для дальнейшей обработки под бинокляром в лабораторных условиях. Для анализа влияния гидрофизических условий использовали данные STD-зондирования.

На основании анализа полученных наблюдений мы можем сделать следующие предварительные выводы:

- Состав зоопланктона значительно различался на шельфе и над склоном. Холодноводные виды наблюдались преимущественно над склоном, а виды, обитающие выше слоя ХПС, равномерно распределялись вдоль кросшельфового разреза.
- Сезонный ход биомассы на трёх исследованных станциях различался в соответствии с распределением экологических комплексов планктона на них. На внутреннем шельфе комплекс поверхностных видов обеспечивал максимум биомассы в летне-осенний период, над склоном максимум биомассы был обусловлен весенним развитием холодноводного комплекса видов, а на срединном шельфе наблюдались оба пика биомассы.
- Сезонные и межгодовые изменения видовой структуры и обилия зоопланктона были сильнее выражены на шельфе по сравнению с зоной континентального склона. Это связано с тем, что пелагическое сообщество шельфа в большей степени подвержено влиянию гидрофизических условий. Так в октябре 2006 года в прибрежной зоне наблюдался суб-мезомасштабный антициклонический вихрь [7]. Во фронтальной зоне этого вихря скорость нормального к берегу течения достигала 10-15 см/с, что обусловило интенсивный кросшельфовый перенос. В результате такого гидродинамического воздействия планктонное сообщество прибрежной зоны значительно изменилось. До прихода вихря, 2 октября, в планктоне доминировали по численности мелкие особи *Parasagitta setosa*. 10 октября, когда вихрь еще присутствовал в прибрежной зоне, по численности доминировала гетеротрофная динофлагеллята *Noctiluca scintillans*.
- Значительные межгодовые отличия в сезонной динамике массовых видов планктона, наблюдавшиеся в 2005-2014 годах, свидетельствуют о высокой временной подвижности биологических процессов в исследованном сообществе. Факторный анализ многолетних данных по динмиаке зоопланктона в прибрежной зоне Северо-восточной части Черного моря показал, что наиболее значимое влияние на динамику популяций массовых видов зоопланктона в этом районе оказывает ветровое воздействие. Причем ветра разного направления благоприятны для разных видов и групп зоопланктона. Так, Северо-Восточный ветер отрицательно сказывается на численности теплолюбивых видов, таких как аппендикулярии и кладоцеры. По-видимому, это связано с тем, что под действием этого ветра происходит быстрое выхолаживание верхнего перемешанного слоя [8]. Общее количество сильных ветров (со скоростью выше 6 м/с) положительно влияет на численность всех массовых видов зоопланктона, кроме ноктилюки. Это можно объяснить тем, что при сильном ветровом воздействии происходит увеличение биогенов в фотическом слое. Это вызывает развитие фитопланктона и вслед за ним растительного зоопланктона и хищников. Ноктилюка же имеет особый механизм питания, один из этапов которого - образование агрегатов клеток. Клетки ноктилюки не могут образовывать агрегаты при сильном ветровом воздействии, что снижает эффективность их питания [4]).

Финансирование: Грант РФФИ № 17-05-00799, № 17-35-50158

### Литература

1. Виноградов М.Е., Сапожников В.В., Шушкина Э.А. Экосистема Черного моря. Москва: Наука, 1992. С. 62-76.
2. Сорокин Ю. И. Черное море: Природа, ресурсы. М.: Наука., 1982.
3. Daskalov G. M. Overfishing drives a trophic cascade in the Black Sea //Marine Ecology Progress Series. 2002. Т. 225. С. 53-63.
4. Mikaelyan A. S., Zatsepin A. G., Chasovnikov V. K. Long-term changes in nutrient supply of phytoplankton growth in the Black Sea //Journal of Marine Systems. 2013. Т. 117. С. 53-64.
5. Хорошилов В. С., Лукашева Т. А. Изменения зоопланктонного сообщества Голубой бухты после вселения в Черное море гребневика мнемнописца //Океанология. 1999. Т. 33. №. 46. С. 558-562.

6. Арашкевич Е.Г., Луппова Н.Е., Никишина А.Б., Паутова Л.А., Часовников В.К., Дриц А.В., Подымов О.И., Романова Н.Д., Станичная Р.Р., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Флинт М.В. Судовой экологический мониторинг в шельфовой зоне Черного моря: оценка современного состояния пелагической экосистемы // Океанология. 2015. Т. 55. № 6. С. 964.
7. Зацепин А. Г. и др. Формирование прибрежного течения в Черном море из-за пространственно-неоднородного ветрового воздействия на верхний квазигомогенный слой //Океанология. 2008. Т. 48. №. 2. С. 176-192.
8. Зацепин А. Г. и др. Изучение гидрофизических процессов на шельфе и верхней части континентального склона Черного моря с использованием традиционных и новых методов наблюдений //Океанология. 2008. Т. 48. №. 4. С. 510-519.

# ОЦЕНКА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ВЫЛОВОВ В РАЙОНЕ КАНАРСКОГО АПВЕЛЛИНГА

А. В. Артамонова

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

EVALUATION OF THE OCEANOGRAPHIC FACTORS AFFECTING PRODUCTIVITY YIELDS IN THE AREA OF THE CANARY UPWELLING

A. V. Artamonova

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*artamonova.anastasya2011@yandex.ru*

Ключевые слова: *Канарский апвеллинг, биологическая продуктивность, МСА, классификация, районирование*

Keywords: *Canary upwelling, biological productivity, multivariate statistical analysis, classification, zoning*

Известно, что наиболее значительными по биомассе пелагических рыб и площади их распространения являются зоны апвеллинговой циркуляции, в том числе и Канарский апвеллинг, рассмотренный в данной работе. Однако изменение среды обитания в ту или иную сторону влияет на популяции, особенно это заметно, когда дело касается видов, вылавливаемых в промышленных масштабах. Изменение численности популяций прямо влияет на продуктивность выловов, поэтому задача исследования и прогнозирования гидрологических, гидрохимических и биологических условий обитания рыб, влияющих на направленность их миграций и особенности пространственного распределения, так актуальна в настоящее время [1]. Важным аспектом состояния популяций рыб в исследуемом районе является положение фронтальной зоны, образующейся на месте столкновения водных масс северного и южного происхождения [2]. В данном районе наблюдается особенно повышенное содержание биогенных элементов, а, следовательно, и его биологическая продуктивность. По мере исследования определяются месяцы затухания и интенсификации апвеллинговых процессов. Месяцы и области затухания предполагаются наименее продуктивными в плане промысла, а месяцы и места интенсификации - наиболее продуктивными.

Для оценки качества среды, основным решением является разделение исследуемого района на отдельные классы с различными океанологическими характеристиками с помощью нескольких методов кластерного анализа. Особенно важно выделение областей всесезонного апвеллинга, интенсивность которого мало зависит от колебаний температуры воды и атмосферной циркуляции.

В качестве исходных данных проанализирована ежедневная ТПО выбранной области и определены годы с предположительно разной интенсивностью системы апвеллинга. Для наиболее тёплого и наиболее холодного года рассчитаны и построены карты пространственного распределения глубины залегания ВКС. Таким образом стало возможным определить месяц затухания и интенсификации апвеллинга для двух лет. Для данных месяцев построены пространственные распределения ещё трёх важнейших характеристик, таких как вертикальная составляющая скорости, отражающая интенсивность поднятия богатых биогенами глубинных вод, растворённый кислород и хлорофилл «а». Произведена классификация иерархическим методом Уорда, построена дендрограмма для определения наиболее крупных из существующих кластеров, после чего становится возможной классификация итерационным методом k-средних с последующим районированием. Для этого составляется ряд, состоящий из номеров кластеров и координат в пространстве, где исходные значения каждой характеристики заменены номером кластера, в который она помещена. Воды исследуемой части Канарского апвеллинга были поделены на 3 характерных класса (рис. 2.1, 2.2).

Литература

1. Доманевский Р.Н. Рыбы и рыболовство в неретической зоне Центрально-Восточной Атлантики. Калининград, АтлантНИРО, 1998. 196 с.
2. Лидванов В.В. Мезозоопланктон в районе Канарского архипелага. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Санкт-Петербург, ФГУН ЗИ РАН, 2014, 213 с.

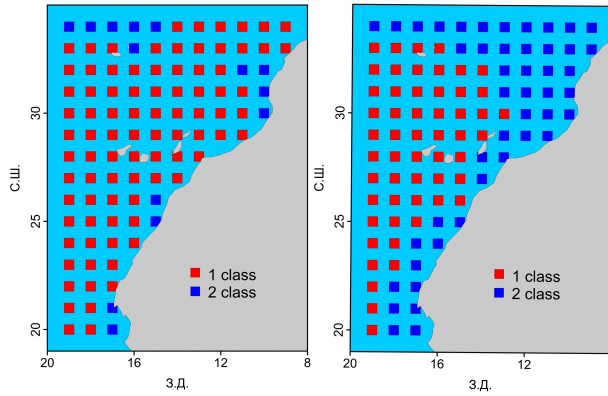


Рис. 2.1: Пространственное распределение двух кластеров для февраля (слева) и апреля (справа) 2010 г.

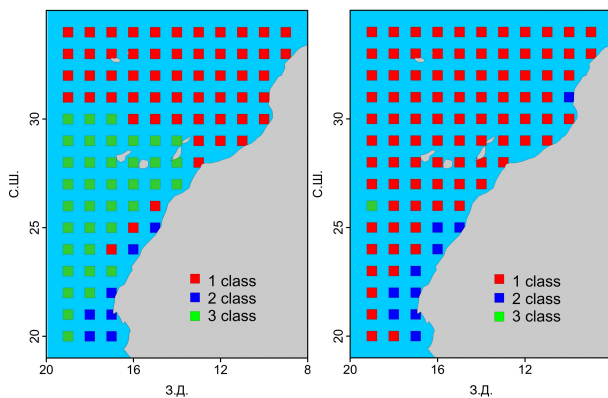


Рис. 2.2: Пространственное распределение трёх кластеров для февраля (слева) и апреля (справа) 2014 г.

# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ВОДОЕМОВ ПРИСИВАШЬЯ ПОСЛЕ ПЕРЕКРЫТИЯ СЕВЕРО-КРЫМСКОГО КАНАЛА

Е. С. Ерёмина, Л. В. Харитонова  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

## THE CURRENT STATE OF THE COASTAL RESERVOIRS OF PRISIVASHIE AFTER THE CLOSURE OF THE NORTH CRIMEAN CHANNEL

E. S. Eremina, L. V. Haritonova  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*shchurova88@gmail.com*

Ключевые слова: *Азовское море, залив Сиваш, береговая линия, дистанционные методы, спутниковые снимки, Северо-Крымский канал*

Keywords: *Sea of Azov, Sivash Bay, coastline, remote methods, satellite imagery, North-Crimean Channel*

Залив Сиваш представляет собой гиперсолёную лагуну Азовского моря, расположенную в его северо-западной части и глубоко врезающуюся в полуостров Крым. Сиваш связан с Азовским морем Геническим проливом. На берегах Сиваша сосредоточены как объекты природно-заповедного фонда, так и предприятия химической промышленности, крупные массивы сельскохозяйственных угодий. В аграрном производстве ведущей отраслью является растениеводство, среди зерновых культур до 2014 года преимущественно выращивался рис. В 2000 году объемы поступления пресных вод в залив составляли около 400 млн. м<sup>3</sup> [1], в связи с перекрытием в 2014 году Северо-Крымского канала (СКК) природные равновесия нарушились и начались новые изменения гидрохимического и гидрологического режимов залива, о чем свидетельствуют результаты экспедиционных исследований 2014 - 2016 гг. [2]. После перекрытия СКК выращивание риса стало невозможным, ландшафты, отведенные под сельскохозяйственные угодья, видоизменяются, адаптируются под новые условия среды и природопользования.

С помощью современных спутниковых методов авторы работы провели оценки изменений морфометрических характеристик Сиваша и прибрежных водоемов, которые возникли после 2014 г., отметили современное состояние районов рисовых чеков.

Анализ спутниковых снимков позволяет получить описательно-распознавательные образы водоемов, главным образом в виде площади водного зеркала  $S_3$  и ее контура. Зная площадь, максимальную и среднюю глубину  $H_{ср}$ , можно получить объем водного тела  $V = S_3 \cdot H_{ср}$ . Характеристики  $V$  и  $S_3$  характеризуют обмен веществом и энергией между водоемом и окружающей средой [3].

Для исследования морфометрических характеристик восточного Сиваша использовались спутниковые снимки высокого разрешения серии серии *Landsat-8* сканера *OLI/TIRS TM*, полученные в безоблачную и штилевую погоду 10 августа 2013 г. и 02 августа 2016 г. Снимки привязаны к системе координат WGS 84/UTM, район исследования целиком попадает в 36 зону северного полушария.

Для решения поставленной задачи с помощью свободной геоинформационной системы QGIS (<https://qgis.org/ru/site/>) проводилось RGB-комбинирование снимков из каналов: ближнего инфракрасного (ИК) (SWIR 3) (2.100 – 2.300 мкм), ближнего ИК (SWIR 2) (1.560 – 1.660 мкм) и красного видимого канала (0.630 – 0.680 мкм). Излучение ближнего инфракрасного участка спектра практически полностью поглощается тонкой пленкой воды, не проникая в глубину, что дает резкий контраст между акваториями и объектами суши. В данном диапазоне хорошо отслеживается береговая линия, что позволяет достаточно четко выделить границу суша - море [4]. С большой точностью дешифрируются внутри суши водные объекты, как пресные, так и гиперсолёные [5].

Далее в этом же программном пакете проводилась оцифровка береговой линии Восточного Сиваша, прибрежных лагун, водоемов и рисовых чеков, заливавшихся водой во время действия СКК. Полученные данные позволили рассчитать площади водного зеркала ( $S_3$ ), объемы вод ( $V$ ) рассматриваемых водных объектов.

Анализ результатов расчетов площадей водного зеркала Восточного Сиваша показал, что площадь непосредственно Сиваша после 2014 г. не подверглась существенному изменению. Однако, в значительной мере сократились площади озер-лагун и ставков в береговой зоне Восточного Сиваша, которые испаряются полностью в летний период, общая площадь водоемов на момент 10 августа 2013 г. составила 72,09 км<sup>2</sup>, а 2 августа 2016 г. - 69,64 км<sup>2</sup>. По-видимому, эти водоемы существовали за счет отвода вод из СКК и грунтовых вод, уровень которых был выше в период действия канала. Также отмечено, что обвалованные поля для выращивания риса (чеки) по назначению более не используются, однако по-прежнему заполняются водой за счет дождевой влаги в весенний период, которая испаряется к середине лета.

Спутниковые снимки высокого разрешения фиксируют состояние водоема в определенный момент времени. Сопоставление снимков, полученных с временным интервалом, позволяет получать характеристики состояния водоема в динамике с последующей интерпретацией степени преобразования водного объекта.

Сделан вывод о том, что площадь водного зеркала залива Сиваш не изменилась, а площадь водоемов и рисовых полей в сумме сократилась на 79,24 км<sup>2</sup>.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 (шифр «Прибрежные исследования»), и частично при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 16-45-910582р\_а.*

### Литература

1. Марушевский Г.Б., Костюшин В.А., Сионих В.Д. Сиваш: природа и люди. Киев: Черноморская программа Ветландс Интернешнл, 2005. 80 с.
2. Позаченюк Е.А., Совга Е.Е., Хмара Т.В., Харитоновна Л.В. О методах оценки современного состояния акватории залива Сиваш в условиях перекрытия Северо-Крымского канала в 2014 году // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. вып.4. С. 41-49.
3. Ястреб В.П., Иванов В.А., Хмара Т.В. К вопросу о классификации водоемов зоны сопряжения суши и моря Азово-Черноморского побережья // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. вып.15. С. 326-346.
4. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: Аспект Пресс, 2004. 184 с.
5. Ястреб В.П., Харитоновна Л.В., Хмара Т.В. Морфометрические характеристики озер-лиманов Керченской группы для оценки изменчивости их бальнеологического ресурсного потенциала. Морские ресурсы прибрежной зоны Украины. Под ред. акад. НАНУ П.Ф. Гожики, акад. НАНУ В.А. Иванова. НАН Украины, МГИ. Севастополь, 2012. С. 248-256.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» КУЛЬТУР ФИТОПЛАНКТОНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ДЛИНАХ ВОЛН ВОЗБУЖДЕНИЯ

Д. И. Глуховец<sup>1,2</sup>, Ю. А. Гольдин<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный

STUDY OF CHLOROPHYLL «A» FLUORESCENCE OF PHYTOPLANKTON CULTURES USING DIFFERENT EXCITATION WAVELENGTHS

D. I. Glukhovets<sup>1,2</sup>, Yu. A. Goldin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

<sup>2</sup>Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny

*glukhovets@ocean.ru*

Ключевые слова: *флуоресценция морской воды, спектр флуоресценции, хлорофилл «а», цианобактерии, культуры фитопланктона.*

Keywords: *seawater fluorescence, fluorescence spectrum, chlorophyll «a», cyanobacteria, phytoplankton cultures.*

Концентрация хлорофилла «а» (хл «а») - важная характеристика морской воды [5]. Её пространственное распределение позволяет оценить состояние и видовой состав колоний фитопланктона [1, 6, 9], границы фронтальных зон [3, 4] и циркуляцию морской воды [7]. Важное преимущество флуоресцентных методов - оперативность получения результатов и относительная простота процесса измерений. Интенсивность флуоресценции хл «а» связана с его концентрацией неоднозначно. Эта связь зависит от видового состава и адаптации водорослей к внешним условиям [8, 9]. В работе исследована зависимость интенсивности флуоресценции хл «а» различных культур морского фитопланктона в зависимости от длины возбуждения.

Измерения проводились в лаборатории с помощью лазерного спектрометра ЛС-2 [4] и светодиодного спектрофлуориметра СДСФ-1 [2]. В ЛС-2 флуоресценция окрашенной части растворенного органического вещества (ОРОВ) и исследуемого пигмента хл «а» возбуждается непрерывным излучением полупроводниковых лазеров фиолетового (401 нм) и зеленого (532 нм) участков спектра. В СДСФ-1 для возбуждения флуоресценции используется сверхяркий светодиод с максимумом излучения на 595 нм. Спектр флуоресценции регистрируется малогабаритным спектрометром Ocean Optics Flame и передается на персональный компьютер, где выполняется обработка: нормировка значений интенсивности флуоресценции ОРОВ и хл «а» на интенсивность комбинационного рассеяния на молекулах воды (КР) с учетом взаимного наложения полос их флуоресценции и усреднение по серии измерений.

Исследования выполнены при комнатной температуре (21-22 °С) для двух культур морского фитопланктона, выращенных в лабораторных условиях: *Chlorella sp.* (зеленые водоросли), *Synechococcus sp.* (цианобактерии). Измерения начинались с максимальной концентрации, при которой возможна регистрация сигнала КР. Затем проба последовательно разбавлялась в 4 раза оптически чистой водой с помощью механического дозатора Sartorius Proline (точность 0,5%). Минимально регистрируемая концентрация определялась шумами измерительной системы. Для каждой концентрации регистрировалась серия из 10 спектров. Процесс измерений для каждой культуры не занимал более одного часа.

Благодаря квазиоднородным условиям эксперимента, соблюдавшимся во время проведения измерений, получены функциональные зависимости с высоким коэффициентом детерминации ( $R^2 > 0.9$ ). Исследованные культуры имеют различный тип связи интенсивности флуоресценции хл «а» с его концентрацией при различных длинах волн возбуждения: линейные при 401 нм и степенные при 532 нм и 595 нм. Это объясняется, по-видимому, высокой эффективностью поглощения фотонов в синем диапазоне спектра самим хлорофиллом «а» (в «полосе Core»). В тоже время в зеленом и оранжевом

диапазонах спектра его возбуждение происходит в основном за счет безызлучательного переноса со вспомогательных пигментов, что приводит к усложнению типа зависимости.

Возбуждение флуоресценции каждой из используемых длин волн имеет свои преимущества. Оранжевый канал наилучшим образом подходит для исследования цианобактерий, а также имеет наибольшую чувствительность. Синий диапазон хорошо поглощается и ОРОВ и хл «а», но как раз влияние полосы ОРОВ на полосу КР может негативно повлиять на результаты измерений интенсивности флуоресценции хл «а». Зеленый канал удобен для исследования флуоресценции хл «а» из-за близости полосы его флуоресценции к пику КР, но он плохо подходит для исследования цианобактерий.

Результаты экспериментов показали, что для проведения абсолютной калибровки флуориметров необходимо учитывать видовой состав фитопланктона.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-50-00095), предоставленного через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Авторы выражают благодарность И.В. Конохову и Е.Н. Вороновой (Биологический факультет МГУ) за предоставление культур фитопланктона.*

### Литература

1. Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А. Исследование зависимости интенсивности флуоресценции хлорофилла «а» от концентрации фитопланктона для различных культур // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых. Москва: ИО РАН. С. 59-61.
2. Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А., Гуреев Б.А., Венцкут Ю.И. Светодиодный флуориметр со спектральной регистрацией // Труды I международной конференции «Современные проблемы термогидромеханики океана». С. 42-45.
3. Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А., Шатравин А.В. Исследование флуоресценции морской воды в Карском море // Экосистема Карского моря - новые данные экспедиционных исследований. Материалы научной конференции. М.: АПР, 2015. С. 46-49.
4. Гольдин Ю.А., Шатравин А.В., Левченко В.А. и др. Исследования пространственной изменчивости интенсивности флуоресценции морской воды в западной части Черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т.8. № 1. С. 17-26.
5. Карабашев Г.С. Флюоресценция в океане. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 200 с.
6. Конохов И.В., Глуховец Д.И. Оптические методы для определения состояния фитопланктона в Черном море // Океанология. 2017. Т. 57. № 3. С. 464-468.
7. Копелевич О.В., Артемьев В.А., Глуховец Д.И. и др. Оценка биогеохимических характеристик поверхностного слоя вод Баренцева моря летом 2017 г. по оптическим данным // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. М.: ИО РАН, 2017. С. 87-91.
8. Кузьминов Ф.И., Ширшин Е.А., Горбунов М.Ю., Фадеев В.В. Новые оптические подходы в исследовании фотофизиологических характеристик цианобактерий in situ // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т.8. № 1. С. 41-47.
9. Чурилова Т.Я., Финенко З.З., Акимов А.И. Пигменты микроводорослей / Микроводоросли Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования. Севастополь: ЭКОСИ-гидрофизика. 2008. С. 301-319.



# РАЙОНИРОВАНИЕ АКВАТОРИИ БЕРИНГОВА МОРЯ НА ОСНОВЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

К. К. Кивва

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

REGION DELINEATION IN THE BERING SEA BASED ON OCEANOGRAPHIC DATA

К. К. Kivva

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»)

*kirill.kivva@gmail.com*

Ключевые слова: *море, районирование, геодезическая сетка, ячейки Вороного, классификация, кластерный анализ.*

Keywords: *Sea, region delineation, geodetic grid, Voronoi tessellation, classification, cluster analysis.*

Разделение морских акваторий на естественные районы целесообразно как для фундаментальных научных исследований, так и для рационализации хозяйственного использования водоёмов. До недавнего времени подобные работы чаще всего выполнялись методом экспертной оценки с использованием очень ограниченных сведений об объекте. На современном этапе для большей части Мирового Океана имеются массовые океанологические данные прямых наблюдений и дистанционного зондирования, что позволяет по-новому поставить вопрос о районировании морских акваторий с использованием аналитических методов [2]. Цель данного исследования - выделение естественных экологических районов в пределах Берингова моря на основе анализа массива данных прямых наблюдений за гидролого-гидрохимическими параметрами в водной толще.

В основу работы положена вся доступная нам информация по распределению гидрохимических параметров в водах Берингова моря и прилегающей части Тихого океана. Источниками послужили массивы Национального океанографического центра данных США (NODC), проекта по исследованию экосистемы Берингова моря (BEST-BSIERP, США), Японского агентства по морским наукам и технологиям (JAMSTEC), Беринговоморской арктическо-субарктической комплексной экспедиции (BASIS, США), ФГБНУ «ВНИРО» и ФГБНУ «ТИПРО-Центр». Акцент сделан на гидрохимические данные (концентрации минеральных форм основных биогенных элементов и растворённого кислорода), поскольку в распределении гидрохимических параметров отражается совместное действие физических и биологических процессов. Сопутствующие гидрологические данные также сохранены в базе и использованы в анализе, однако относительно них полученная база далеко не может быть названа полной.

Акватория исследования разделена на ячейки (замощена) с помощью пакета *dgridR* в языке R [1]. Данный пакет строит дискретную глобальную геодезическую сетку на сфере, аппроксимированной правильным многогранником [3]. Использована равноплощадная гексагональная сетка Шнайдера на основе икосаэдра. Такое замощение является частным случаем диаграммы Вороного для сферы. Использование гексагональной формы ячеек позволяет получить наиболее плавные границы районов. Размер ячеек выбран с таким расчётом, чтобы получить относительно высокое разрешение с сохранением малого времени вычислений. Расстояние между центрами соседних ячеек составило около 55 км. Данные каждой станции линейно интерполировались на горизонты с шагом 5 м. Использованы только летние значения (с июля по сентябрь включительно), поскольку в этот период временная изменчивость гидрологических и биологических процессов наиболее ярко выражена. Поскольку станции распределены неравномерно в пространстве и времени, для многих ячеек данных или нет вовсе или недостаточно для расчёта средних многолетних значений (например, только за 1-2 года наблюдений). Поэтому данные станций распределялись по ячейкам с пространственным сглаживанием в радиусе 100 км Гауссовой функцией взвешивания по расстоянию. Значения каждого использованного параметра на каждом горизонте в диапазоне 0-50 м для каждой ячейки осреднялись за каждый год с

наблюдениями, а затем для каждого горизонта рассчитывалось среднее многолетнее. Ячейки группировались иерархическим кластерным анализом на основе вертикального распределения температуры, аномалии растворённого кислорода относительно растворимости, минерального растворённого кремния и фосфора.

Разработанная методика позволила выделить в пределах Берингова моря естественные экологические районы. Возможные пути её совершенствования могут включать привлечение данных спутникового зондирования, использование нерегулярной (неструктурной) сетки для замощения акватории, а также выполнение оценки достоверности выделения групп по результатам кластерного анализа.

*Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 16-35-00388 мол\_а.*

### Литература

1. Barnes R. dggridR: Discrete Global Grids for R. R package version 0.1.12. 2016. <https://github.com/r-barnes/dggridR/>
2. Kavanaugh M. T., Oliver M. J., Chavez F. P., Letelier R. M., Muller-Karger F. E., Doney S. C. Seascapes as a new vernacular for pelagic ocean monitoring, management and conservation. ICES Journal of Marine Science. 2016. Т. 73, №7. С. 1839-1850.
3. Sahr K., White D., Kimerling A. J. Geodesic discrete global grid systems. Cartography and Geographic Information Science. 2003. Т. 30, №2. С. 121-134.

# ФЛУОРИМЕТР С ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЗБУЖДАЮЩЕГО СВЕТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФИЦИТА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПРИРОДНОГО ФИТОПЛАНКТОНА ПО ПАРАМЕТРАМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА

И. В. Конюхов, О. В. Воробьева

Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова», Биологический факультет, Москва  
Всероссийский Научно-исследовательский Институт Рыбного Хозяйства и Океанографии, Москва

THE PULSE-MODULATED FLUORIMETER FOR THE MINERAL DEFICIENCY DETECTION AND PHOTOSYNTHESIS LIGHT RESPONSE ASSESSMENT IN NATURAL PHYTOPLANKTON

I. V. Konyukhov, O. V. Vorobieva

M. V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow  
Russian federal research institute of fisheries and oceanography, Moscow

*vanka.kon@gmail.com*

Ключевые слова: *флуоресценция хлорофилла, РАМ, фитопланктон, фотосинтез, первичная продукция, световые кривые, ETR, NIFT.*

Keywords: *chlorophyll fluorescence, RAM, phytoplankton, photosynthesis, primary production, light response curves, ETR, NIFT.*

Метод измерения флуоресценции хлорофилла (ФХ) *in vivo* широко используется в изучении процессов фотосинтеза высших растений, одно- и многоклеточных водорослей. Регистрация ФХ в живых клетках имеет ряд особенностей, которые касаются адекватного выбора интенсивности возбуждающего света, ограничения общей продолжительности облучения и необходимости регулирования интенсивности света в широких пределах. Все эти требования учтены в специальных, т.н. РАМ-флуориметрах, с модуляцией интенсивности возбуждающего света (фирмы Walz, Photon System Instruments, Hansatech Instruments). Однако не все модели обладают достаточной чувствительностью для работы с природным фитопланктоном в судовых экспедициях. В докладе описан универсальный портативный флуориметр кафедры биофизики Биологического факультета МГУ и обсуждается опыт его использования в океанологических исследованиях. Прибор позволяет измерять световые кривые скорости первичных процессов фотосинтеза в культурах водорослей и в пробах природной воды, осуществлять мониторинг активности фитопланктона в проточной схеме подачи пробы, а также определять трофическую активность мелких водных ракообразных.

Флуориметр имеет мощный светодиод (445 нм, 5000 мкмоль · м<sup>-2</sup> · с<sup>-1</sup>), формирователь импульсов тока для питания светодиода, фотодиод с граничным светофильтром ( $\lambda > 670$  нм), усилитель сигнала, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и микроконтроллер. Динамический диапазон флуориметра не менее 10000:1 (0.2-2000 мкг/л по хлорофиллу «а» для *Phaeodactylum tricornerutum*). После установки образца в измерительное отделение флуориметра можно провести адаптацию клеток водорослей к темноте или к постоянному свету (0.2-700 мкмоль · м<sup>-2</sup> · с<sup>-1</sup>). По завершении адаптации прибор увеличивает интенсивность возбуждающего света до 5000 мкмоль · м<sup>-2</sup> · с<sup>-1</sup> и регистрирует т.н. кривую индукции флуоресценции - кинетику изменения интенсивности флуоресценции во времени. При интенсивном облучении (5000 мкмоль · м<sup>-2</sup> · с<sup>-1</sup>) процессы фотосинтеза в клетках постепенно насыщаются, поэтому вероятность обратного излучения световой энергии (флуоресценции) возрастает. В течение первой секунды облучения интенсивность флуоресценции хлорофилла увеличивается от начального уровня  $F_0$  до максимального уровня  $F_m$ . По величине  $F_m$  можно определить концентрацию клеток в

растущих монокультурах водорослей, а так же рассчитать скорость потребления водорослей водными ракообразными.

По минимальному и максимальному значению флуоресценции программа рассчитывает безразмерную величину относительной переменной флуоресценции, которая близка к нулю в мертвых клетках и достигает 0.84 в активно делящихся клетках. Параметр  $F_v/F_m$  показывает, с какой вероятностью поток поглощенных квантов света преобразуется в поток электронов на мембране хлоропластов. Самое большое значение величина  $F_v/F_m$  имеет, как правило, после адаптации клеток водорослей к темноте. В этом случае  $F_v/F_m$  определяется сохранностью белкового комплекса фотосистемы 2 и мало зависит от температуры, дефицита минеральных элементов и  $CO_2$  и от целостности других молекулярных компонентов фотосинтетических мембран - фотосистемы 1, цитохромного комплекса, АТФ-синтетазы и ферментов темновых реакций фотосинтеза.

Другой вариант измерения  $F_v/F_m$  подразумевает предварительную адаптацию клеток к постоянному свету. В таких условиях в работу включается вся электрон-транспортная цепь хлоропластов, и ее производительность будет определяться не только фотосистемой 2, но и активностью других белковых комплексов, подвижностью мембранных переносчиков электрона, наличием фосфата как субстрата АТФ-синтетазы и т.д. Относительная переменная флуоресценция, измеренная после адаптации к свету, обозначается как  $F'_v/F'_m$ .

Динамика содержания фитопланктона ( $F_m$ ) и его фотосинтетической активности ( $F_v/F_m$ ) может быть исследована в проточной схеме подачи пробы воды. При этом флуориметр может записывать данные по ходу движения исследовательского судна или может быть установлен стационарно, как это показано на примере бухты Голубая Черного моря (сентябрь 2014 г., июнь 2016 г.).

Наиболее полную информацию о скорости первичных процессов фотосинтеза дает измерение световой кривой скорости фотосинтетического электронного транспорта ETR(I). Для получения световой кривой ETR необходимо провести серию измерений флуоресценции после адаптации водорослей к свету различной интенсивности (8-10 точек, 15-30 мин на всю серию).

Кривая ETR имеет начальный линейный участок, на котором скорость фотосинтеза увеличивается пропорционально увеличению интенсивности света. При дальнейшем увеличении интенсивности облучения кривая ETR выходит на плато. В некоторых случаях после плато можно наблюдать фазу снижения ETR вследствие фотоповреждения клеток.

По физическому смыслу кривая ETR наиболее близка к скорости выделения кислорода. Определить абсолютные значения первичной продукции в пробе в  $[мг\ C/(м^3\ сут)]$  по флуоресценции невозможно, так как параметр ETR вычисляется в относительных единицах, которые не учитывают общего содержания клеток в пробе. Тем не менее, по световой кривой ETR можно установить:

- при какой интенсивности освещения наступает насыщение фотосинтеза ( $I_{max}$ ),
- как изменяется максимальная скорость фотосинтеза ( $ETR_{max}$ ) при изменении физико-химических факторов среды,
- возможно ли фотоповреждение клеток фитопланктона в реальных условиях существования.

Изменение световых кривых ETR в ответ на понижение температуры и недостаток азота рассмотрены на примере морской диатомовой водоросли *Phaeodactylum tricoratum*.

Особый интерес представляют быстрые изменения интенсивности ФХ, которые возникают в ответ на добавление элементов минерального питания (в первые 5-30 мин, nutrient induced fluorescence transients, или NIFTs). Механизмы образования NIFT изучены не полностью, но такие тесты позволяют обнаружить лимитирование (по азоту, фосфору и кремнию) в короткие сроки и не дожидаясь увеличения численности клеток.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОККОЛИТОФОРИДНОГО ЦВЕТЕНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ ДИСТАНЦИОННЫМИ И КОНТАКТНЫМИ МЕТОДАМИ

Е. Н. Корчёмкина  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

DETERMINATION OF BIO-OPTICAL CHARACTERISTICS OF COCCOLITHOPHORE BLOOM IN  
BLACK SEA USING REMOTE SENSING AND CONTACT METHODS

E.N. Korchemkina  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*lisenik@mail.ru*

Ключевые слова: коэффициент яркости моря, показатель ослабления света, минеральная взвесь, кокколитофориды, полуаналитический алгоритм.

Keywords: sea reflectance, beam attenuation coefficient, mineral suspension, coccolithophore, semi-analytical algorithm.

Изучение цветений кокколитофорид в последние годы приобретает особую значимость. В Черном море кокколитофориды представлены в основном массовым видом *Emiliania huxleyi*, составляющим 90-99% от их общей численности [1]. Ранее цветение *E. huxleyi* отмечалось редко, однако начиная с 1990г. на фоне общего изменения биооптических свойств морской воды [2] стали наблюдаться участвовавшие случаи массового развития кокколитофорид [1, 3]. Благодаря разработке спутниковых средств наблюдения стало известно, что цветение кокколитофорид в Черном море наблюдается в той или иной степени [1] каждый год в период мая-июня. В данной работе предпринимается попытка изучения влияния цветения на восходящую яркость моря и другие оптические свойства морской воды. Основная цель состояла в том, чтобы оценить характеристики рассеяния морской взвесью, содержащей кокколитофиды и клетки кокколитофорид.

Натурные исследования были проведены в период конца мая - начала июня 2017 г. в прибрежных водах Черного моря на океанографической платформе Черноморского гидрофизического полигона РАН. Регулярно измерялись спектры коэффициента яркости моря в диапазоне 390-700 нм на платформе. Были проведены измерения показателя ослабления света в 4-х спектральных интервалах (460, 520, 590, 625 нм) на платформе и на морском полигоне, прилегающем к платформе. Кроме того, использованы спутниковые данные MODIS-Aqua о коэффициенте яркости моря.

Разработанный ранее полуаналитический алгоритм [4], позволяющий восстанавливать концентрацию пигментов фитопланктона, а также поглощение неживой органикой и обратное рассеяние взвесью по данным спектрального коэффициента яркости применялся для обработки контактных и спутниковых данных, полученных во время цветения. По данным показателя ослабления с использованием метода собственных векторов [5] были восстановлены спектры показателя ослабления в диапазоне 416-700 нм, по которым далее были рассчитаны поглощение неживым органическим веществом и рассеяние взвесью.

В результате получены величины показателей рассеяния и обратного рассеяния морской взвеси, а также концентрации кокколитофидов, зафиксировано стабильное возрастание этих величин на 30% в течение 8 дней эксперимента. Полученные средние значения концентрации кокколитофидов порядка  $10^{11} \text{ м}^{-3}$  позволяют охарактеризовать стадию цветения как близкую к максимуму. При анализе стандартных спутниковых продуктов, таких как обратное рассеяние по модели GIOP и содержание неорганического углерода, показано, что значения отличаются от результатов обработки контактных данных коэффициента яркости менее чем на 10-15%. Предположительно, при кокколитофоридном цветении возрастает влияние взвеси на оптические свойства черноморских вод, таким образом снижая влияние растворенной органики. Благодаря этому стандартные спутниковые алгоритмы и региональные дают сходный результат. Сравнение с данными прошлых лет показало значительную интенсивность цветения, однако, не достигающую значений 2012 г.

Финансирование: Гранты РФФИ 14-45-01049, 14-45-01610, 16-05-00062

**Литература**

1. Микаэлян А. С. и др. Развитие кокколитофорид в Черном море: межгодовые и многолетние изменения // *Океанология*. 2011. Т. 51, № 1. С. 45-53.
2. Маньковский В. И. и др. Многолетняя изменчивость прозрачности воды в Черном море и факторы, обусловившие ее сильное снижение в конце 80-х - начале 90-х гг. Севастополь: МГИ НАНУ, 1996. 32 с.
3. Cokacar T., Oguz T., Kubilay N. Satellite-detected early summer coccolithophore blooms and their interannual variability in the Black Sea // *Deep Sea Res.* 2004.V. 51. № 8. pp. 1017-1031.
4. Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Корчемкина Е.Н., Мартынов О.В. Определение концентрации примесей в морской воде по спектру яркости восходящего излучения // *Мор. гидрофиз. журн.* 2015. № 6. С. 17-33.
5. Mankovskaya E.V., Korchemkina E.N. A method of remote determination of the suspended matter concentration in seawater on the effective wavelength of upwelling radiation // *Proceedings of SPIE, «22nd Int. Symp. on Atm. and Oc. Optics: Atm. Phys.»* 2016. pp. 100352Y

# ВИХРЕВОЙ АПВЕЛЛИНГ КАК МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ БЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЙ СКОПЛЕНИЙ САЙРЫ В ЮЖНО-КУРИЛЬСКОМ РАЙОНЕ

П. К. Козуб, Т. В. Белоненко  
Санкт-Петербургский Государственный университет, Санкт-Петербург

VORTEX UPWELLING AS A MECHANISM FOR FORMATION OF SAURY AGGREGATIONS IN  
THE SOUTH KURIL REGION

P. K. Kozub, T. V. Belonenko  
Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

*pkkozub07@gmail.com*

Ключевые слова: сайра, Южно-Курильский район, мезомасштабная динамика.

Keywords: saury, South Kuril region, submesoscale dynamics.

Тихоокеанская сайра *Cololabis saira* (Brevoort) образует плотные скопления, которые представляют огромный интерес для ее промышленного лова в летне-осенний период в водах около Курильских и Японских островов [1]. Влияние положения фронтальных зон в океане на формирование скоплений сайры имеет долгую историю исследований [2, 3]. Так, ярко выраженный фронтальный раздел, расположенный перпендикулярно основному направлению миграции сайры, создает преграду для ее перемещения, соответственно, в этой зоне ее скапливается много.

Изучение условий формирования скоплений и путей миграций сайры является актуальной задачей для составления прогнозов состояния запасов. Результаты прогнозов помогают стабилизировать вылов и улучшить экономические показатели.

Целью исследования является изучение влияния мезомасштабной динамики вод на распределение сайры в Южно-Курильском районе (ЮКР) северо-западной части Тихого океана. В качестве исходных данных использовались:

- Данные о промысле сайры - «Атлас суточных и пентадных карт распределения поверхностной температуры и скоплений тихоокеанской сайры в период нагула у Курильских островов» ГУП ТИПРО-Центр, Владивосток (2002), за сентябрь 2001 г.
- Продукты сервиса CMEMS по следующим переменным:
  - А) Температура поверхности моря (ТПО) по спутниковым ИК-изображениям сканеров AVHRR и (A)ATSR и данным *in situ* (дрифтеры, суда, буи) из массива данных ICOADS; горизонтальное разрешение  $0,05^\circ \times 0,05^\circ$ ;
  - Б) Абсолютная динамическая топография (АДТ) по массивам данных спутников ERS-1 и -2, Envisat, GFO, Jason-1 и -2, Topex/Poseidon (AVISO); горизонтальное разрешение  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ ;
  - В) Хлорофилл «а» по массивам данных спутников MERIS, MODIS/AQUA, VIIRS и SeaWiFS; горизонтальное разрешение  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ ;
  - Г) Соленость воды по данным батитермографов, сети ARGO и CTD зондирования (EN3v2a); горизонтальное разрешение  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ .

В работе проанализированы данные о местах скоплений тихоокеанской сайры в ЮКР и сопоставлены с распределением динамической топографии, ТПО, а также аномалий ТПО, солености и концентрации хлорофилла-а за сентябрь 2001 г.

Основные результаты:

- Вылов сайры в сентябре 2001 г. происходил исключительно в тех районах, которые расположены в стрекне течения Ойясио,

- При анализе распределения значений ТПО и районов вылова сайры, подтвердилась приуроченность сайры к температурным фронтам, особенно это отмечается в последнюю декаду сентября,
- Места вылова сайры располагались преимущественно на перифериях отрицательных значений аномалий ТПО, которые, вероятно, представляли собой наиболее благоприятные зоны для образования скоплений сайры,
- Отмечается приуроченность к циклоническим структурам в поле динамической топографии,
- Рассчитаны поля скорости изменения уровня океана, для которых существует обратная зависимость с дивергенцией полных потоков. Показано, что для сентября 2001 г. места вылова сайры приурочены преимущественно к областям дивергенции (значения дивергенции полных потоков положительны), хотя для начала сентября 2001 г. места вылова сайры были приурочены к областям конвергенции (значения дивергенции полных потоков отрицательны).

### Литература

1. Филатов В.Н. Миграции тихоокеанской сайры в период нагула в районе Курильских островов и Охотского моря // Изв. ТИНРО. 2004. Т. 139. С. 260-270.
2. Новиков Ю.В. Условия образования промысловых скоплений сайры // Тр. ВНИРО. 1966. Т. 60. С. 143-149.
3. Huang W. B., Lo N. C. H., Chiu T. S. and Chen C.S. Geographical distribution and abundance of Pacific saury, *Cololabis saira* (Brevoort) (Scomberesocidae), fishing stocks in the Northwestern Pacific in relation to sea temperatures // Zool. Stud. 2007. 46(6). pp. 705-716.



# ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВОВЛЕЧЕНИЯ И ДИНАМИКИ ВОД НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ АНОМАЛЬНО СИЛЬНЫХ ЦВЕТЕНИЙ КОККОЛИТОФОРИД В ЧЕРНОМ МОРЕ

А. А. Кубряков, С. В. Станичный  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

IMPACT OF VERTICAL ENTRAINMENT AND HORIZONTAL DYNAMICS ON THE ANOMALOUSLY STRONG COCCOLITHOFIDES BLOOMS IN THE BLACK SEA

A. A. Kubryakov, S. V. Stanichny  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*arskubr@ya.ru*

Ключевые слова: *кокколитофориды, вертикальное вовлечение, Черное море, спутниковые измерения, горизонтальный обмен, перемешивание, плотность*

Keywords: *coccolithophorids, vertical entrainment, Black Sea, satellite measurements, horizontal exchange, mixing, density*

В Черном море отмечаются одни из наиболее сильных цветений кокколитофорид в мире [1]. Кокколитофориды являются одним из доминирующих видов фитопланктона в бассейне и их влияние на морскую экосистему в последнее время возрастает [2, 3]. Известняковые чешуйки - кокколиты, покрывающие этот вид фитопланктона, значительно уменьшают фотоингибирование, что способствует развитию кокколитофорид в теплый период года в условиях солнечного прогрева. Кокколиты вызывают значительное отражение света, позволяя исследовать динамику их цветения по оптическим данным [5, 6].

В настоящей работе на основе спутниковых оптических данных MODIS и данных вертикального зондирования буев Био-Арго исследуются пространственно-временная изменчивость и вертикальная структура цветения кокколитофорид в Черном море. Одно из наиболее сильных цветений в Черном море наблюдалось в 2012 г., когда по оценкам [4] концентрация фитопланктона превышала 10 млн.кл./л. Однако, в 2017 г. рекорд 2012 г. был побит и были зафиксированы еще более высокие значения отражательной способности. Сильные цветения также отмечались в 2006, 2008 гг.

Анализ эволюции плотностной структуры вод Черного моря по данным исторических гидрологических измерения и данным буев Арго показал, что важной причиной межгодовой изменчивости цветения является вертикальное вовлечение вод. В годы с сильными цветениями в зимний период (февраль-март) на поверхность выклинивались воды с более высокой плотностью, чем в годы со слабым цветением. В высокостратифицированном Черном море химические элементы сильно привязаны к изопикническим поверхностям. Поэтому плотность поверхностных вод является хорошим индикатором интенсивности вертикального вовлечения биогенов в эвфотический слой, которые модулируют цветение фитопланктона в бассейне. В годы с сильными цветениями кокколитофорид (2006, 2008, 2012, 2017 гг.) плотность верхних слоев достигала наиболее высоких значений. Высокие значения плотности также отмечены в 1993 г., в котором по данным контактных измерений [1] были зафиксированы наиболее высокие концентрации этого вида фитопланктона.

Плотность верхнего слоя в зимний период в первую очередь зависит от термических условий - зимнего выхолаживания [3]. Все годы с аномально сильными цветениями кокколитофорид (2006, 2008, 2012, 2017 гг.) характеризовались пониженными зимними температурами и интенсивным образованием Холодного Промежуточного Слоя (ХПС). Однако, интенсивность аномальных цветений в эти годы не коррелировала с температурой поверхности. Например, цветение было максимальным в 2017 г., а наименьшие температуры наблюдались в 2006 г. Такие различия связаны с существенным влиянием халинного фактора. В последние годы соленость верхнего слоя значительно возросла. Особенно резкий рост наблюдался после 2015 г, когда соленость увеличилась на 0,2 епс в слое 0-50 м. Увеличение

солености верхних слоев привело к ослаблению стратификации, что способствовало росту вовлечения биогенов в верхние слои, и привело к максимальному цветению кокколитофорид в 2017 г.

Еще одной причиной увеличения количества доступных биогенов является перенос вод Дуная Основным Черноморским Течением (ОЧТ) в зимний период. Обычно в холодные годы наблюдается интенсификация ОЧТ, которое переносит воды Дуная вдоль берега в циклоническом направлении. Этот перенос вод, богатых органическим веществом, хорошо наблюдается по спутниковым оптическим и инфракрасным измерениям. В годы с аномальным цветением кокколитофорид струя Дунайских вод в зимний период была наиболее выражена и достигала южной, а в 2012 г. и юго-восточной части бассейна. В южной прибрежной части бассейна наблюдаются интенсивные динамические мезомасштабные процессы, связанные с бароклинной неустойчивостью течений - вихри, филаменты и т.д. Эти процессы способствуют кросс-шельфовому обмену и горизонтальному вовлечению шельфовых вод в центральную часть моря, по-видимому также являясь важным источником биогенов для фитопланктона.

Усиление циклонической циркуляции также приводит к подъему хемоклина в центре бассейна, способствуя вовлечению глубинных вод в верхний перемешанный слой. В работе показано, что наиболее плотные воды наблюдаются зимой в центре западного круговорота, а значит здесь вертикальное поступление биогенов наиболее сильно. Даны оценки связи термических условий и интенсивности вовлечения в различных районах бассейна.

*Исследование влияния вертикального вовлечения на цветение кокколитофорид поддержано грантом РФФИ 16-35-60036 мол\_а\_дк, определение межгодовой изменчивости цветения кокколитофорид и выделение аномальных ситуаций выполнено при поддержке гранта РФФИ 17-05-41102 РГО\_а, сбор, обработка и анализ гидрологической информации выполнены в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002 (шифр «Оперативная океанология»).*

### Литература

1. Tyrrell T., Merico A. *Emiliana huxleyi*: bloom observations and the conditions that induce them. In *Coccolithophores*. Springer Berlin Heidelberg. Tyrrell, 2003. pp. 75-97.
2. Mikaelyan A.S., Pautova L.A., Chasovnikov V.K., Mosharov S.A., Silkin V.A. Alternation of diatoms and coccolithophores in the north-eastern Black Sea: a response to nutrient changes // *Hydrobiol.* 2015. V. 755(1). pp. 89-105.
3. Mikaelyan A.S., Silkin V.A., Pautova L.A. Coccolithophorids in the Black Sea: their interannual and long-term changes // *Oceanol.* 2011. V. 51(1). pp. 39-48.
4. Ясакова О.Н., Станичный С.В. Аномальное цветение *Emiliana huxleyi* (Prymnesiophyceae) в Чёрном море в 2012 г.
5. Cokacar T., Kubilay N., Oguz T. Structure of *Emiliana huxleyi* blooms in the Black Sea surface waters as detected by SeaWiFS imagery // *Geophys. Res. Lett.* 2001. V. 28(24). pp. 4607-4610.
6. Kopelevich O., Burenkov V., Sheberstov S., Vazyulya S., Kravchishina M., Pautova L., ... & Grigoriev A. Satellite monitoring of coccolithophore blooms in the Black Sea from ocean color data // *Rem. sens. of env.* 2014. V. 146. pp. 113-123.

# СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА И ЕЕ СВЯЗЬ С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ЗИМНЕГО ВЫХОЛАЖИВАНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Е. А. Кубрякова, А. А. Кубряков  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

SEASONAL VARIABILITY OF PHYTOPLANKTON CONCENTRATION AND ITS RELATION TO THE INTENSITY OF WINTER COOLING IN THE BLACK SEA

E. A. Kubryakova, A. A. Kubryakov  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*elena\_kubryakova@mail.ru*

Ключевые слова: *Черное море, зимнее выхолаживание, вертикальное вовлечение, верхний квази-однородный слой, биохимическое моделирование.*

Keywords: *Black Sea, winter cooling, vertical entrainment, mixed layer, biogeochemical modeling.*

Для Черного моря, которое расположено в умеренных широтах, является характерным существование ярко выраженных сезонных колебаний абиотических факторов среды и связанного с ними распределения фитопланктона и содержания хлорофилла в столбе воды [1]. В настоящей работе на основе спутниковых оптических измерений, данных буев Био-Арго с высоким вертикальным разрешением (1 м) и биохимического моделирования исследуется сезонная изменчивость вертикального распределения биомассы фитопланктона в Черном море. Спутниковые и контактные данные последних лет свидетельствуют о том, что цветение фитопланктона и наибольшие концентрации хлорофилла «а»  $C_a$  в поверхностном слое Черного моря наблюдаются в осенне-зимний период [2], что связано с вовлечением биогенных веществ из глубинных слоев в результате зимней конвекции. В работе на основе численных расчетов и контактных данных проводится исследование влияния зимнего выхолаживания на вертикальное вовлечение биогенных веществ и интенсивность цветения фитопланктона в центральной части бассейна.

По данным MODIS-Aqua был построен сезонный ход  $C_a$  и температуры поверхности моря (ТПМ), осредненный по глубоководной части бассейна (>500 м) за 2004-2013 гг. Высокие значения  $C_a$  (0,9-1,0 мг/м<sup>3</sup>) характерны для периода низких значений поверхностной температуры и наблюдаются с ноября по февраль, а минимум приходится на июль. В холодный период года в Черном море интенсифицируется вертикальное перемешивание, связанное с выхолаживанием поверхности и действием штормов. Перемешивание вызывает сначала вовлечение фитопланктона из слоя его подповерхностного максимума (20-40 м) в октябре-декабре, а затем поступление биогенных веществ из слоя максимума нитратов и фосфатов (40-100 м). Эти два процесса приводят к возникновению максимума  $C_a$  на поверхности в центральной части Черного моря в зимний период, который фиксируется по спутниковым измерениям [2].

Спутниковые данные позволяют получать информацию об изменчивости  $C_a$  только в верхнем слое моря. Однако в летний период наиболее высокие концентрации сосредоточены в подповерхностном слое максимума, который не виден по спутниковым измерениям. На основе измерений трех буев Био-Арго была рассчитана сезонная изменчивость интегральной  $C_a$ , осредненной по слою 0-60 м. Сезонный ход интегральной  $C_a$  имеет ряд отличий от хода поверхностной  $C_a$ . Пик интегральной  $C_a$  приходится на март, после чего следует резкий минимум в апреле, связанный, вероятно, с выеданием фитопланктона и интенсивным прогревом, отсекающим биогенные элементы от верхнего слоя. Второй выраженный максимум отмечается летом - в августе. Он определяется повышением  $C_a$  в подповерхностном слое (15-35 м). В сентябре-октябре  $C_a$  падает, а с ноября начинает расти. В зимний период (декабрь-март) отмечаются высокие интегральные значения  $C_a$ .

Для исследования влияния зимнего выхолаживания на цветение фитопланктона в центральной части моря использовалась модификация одномерной биохимической модели [3], разработанная в [4],

лимитирующим элементом выступает азот. Результаты моделирования согласуются с предыдущими исследованиями и с данными по буям Био-Арго [1]. На основе серии расчетов одномерной физико-биохимической модели с различными потоками тепла в холодный период были даны оценки связи интегральной и поверхностной биомассы фитопланктона с зимним потоком тепла и ТПМ. Результаты показывают, что в суровые зимы интенсивность цветения на 50% выше, чем в теплые зимы. Зимнее вовлечение биогенных веществ в зону фотосинтеза отражается и на биомассе фитопланктона на глубине в летний период, увеличивая значение в его максимуме на  $\approx 30\%$  в холодные зимы по сравнению с теплыми.

В работе также проведено исследование влияния физических факторов на вертикальное вовлечение биогенных веществ в верхний эвфотический слой моря. На основе контактных данных даны оценки связи между глубиной, плотностью верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) и интегральной концентрацией нитратов и фосфатов, их отношения в различных районах Черного моря. Получено, что при увеличении плотности ВКС от 1014,0 до 1014,2  $\text{кг}/\text{м}^3$  интегральная концентрация биогенных веществ в центральной части бассейна и на его периферии в ВКС увеличивается в 2-4 раза, а при достижении 1014,5  $\text{кг}/\text{м}^3$  - в 3-10 раз. Таким образом, плотность ВКС выступает хорошим индикатором интенсивности поступления биогенных веществ в верхние слои моря. Исследовано влияние выхолаживания на плотность ВКС. Показано, что плотность, равная 1014,2  $\text{кг}/\text{м}^3$ , достигается в центре моря при ТПМ, равной 7,5-8,0 $^{\circ}\text{C}$ , а на периферии моря при ТПМ, равной 6,5 $^{\circ}\text{C}$ . Максимальное значение плотности, равное 1014,5  $\text{кг}/\text{м}^3$ , отмечается в центральной части моря ( $> 2000$  м) при ТПМ менее 6,5 $^{\circ}\text{C}$ . Отличия в интенсивности вертикального вовлечения в разных районах моря при одних и тех же атмосферных условиях могут влиять на химический состав вод и вызывать пространственные особенности интенсивности цветения и биоразнообразия фитопланктона в бассейне.

*Получение и обработка данных выполнена в рамках государственного задания по теме 0827-2018-0002 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений»; исследование связи между ТПМ и характеристиками вертикального вовлечения поддержано грантом РФФИ №16-35-60036 мол\_а\_дк.*

### Литература

1. Ведерников В.И., Демидов А.Б. Первичная продукция и хлорофилл в глубоководных районах Черного моря // *Океанол.* 1993. Т. 33. № 2. С. 229-235.
2. Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Yunev O. et al. Surface chlorophyll in the Black Sea over 1978–1986 derived from satellite and in situ data // *J. Mar. Sys.* 2002. V. 36. Is. 3-4. pp. 145-160.
3. Oguz T., Ducklow H., Malanotte-Rizzoli P. Modeling distinct vertical biogeochemical structure of the Black Sea: Dynamical coupling of the oxic, suboxic, and anoxic layers // *Glob. Biogeochem. Cycles.* 2000. V. 14. Is. 4. pp. 1331-1352.
4. Kubryakova E.A., Korotaev G.K. Influence of vertical motions on maintaining the nitrate balance in the Black Sea based on numerical simulation // *Oceanol.* 2016. V. 56. Is. 1. pp. 25-35. doi:10.1134/S0001437016010082.

# УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АВТОНОМНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ IN SITU

О.Б. Кудинов, А.А. Латушкин  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

UNIVERSAL AUTONOMOUS STORAGE DEVICE FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF IN SITU HYDRO-OPTICAL RESEARCH

O. B. Kudinov, A. A. Latushkin  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*kudinov\_ob@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: *гидрооптика, оперативный мониторинг, автономный накопитель.*

Keywords: *hydro-optics, operational monitoring, autonomous storage device.*

Для обеспечения задач оперативного мониторинга водной среды в настоящее время массово применяются гидрооптические методы исследования, основанные как на непосредственном взаимодействии аппаратуры с водной средой (контактные методы *in situ*), так и на дистанционных измерениях. Несмотря на преимущества дистанционных методов (высокое пространственное разрешение, оперативность получения), они нуждаются в постоянной верификации. Алгоритмы, разработанные для открытых районов океана, плохо работают в прибрежных акваториях в связи с наличием большого количества речных и техногенных стоков, приносящих в морскую воду значительные массы воды с высокими концентрациями растворенных и взвешенных веществ антропогенного происхождения, которые являются загрязнителями и не участвуют в биологическом цикле. Все это вызывает необходимость уделять особое внимание верификации дистанционных данных контактными методами (созданию, усовершенствованию и использованию современных инструментальных средств исследования водной среды *in situ*).

При проведении полигонных подспутниковых гидрооптических исследований *in situ* важным является сокращение времени выполнения измерений, особенно это актуально для акваторий с мелкомасштабными быстропотекающими процессами [1]. Большой опыт в разработке и использованию гидрооптической аппаратуры для исследования прибрежных и открытых районов Мирового океана имеется у отдела «оптики и биофизики моря» ФГБУН МГИ. Однако разработанные в отделе до настоящего времени гидрооптические зондирующие измерители имеют кабельное исполнение [2]. Накопленный опыт показывает, что использование кабельных приборов не всегда является удобным, особенно при работе на маломерных судах, когда возможность размещения на судне ограничена. Также ограничивающим фактором использования таких измерителей является длина кабеля. Не говоря уже о том, что повреждение кабеля делает практически невозможным дальнейшее использование зонда. А сами приборы зачастую имеют корпус, не позволяющий разместить внутри них дополнительно источник питания и электронный блок накопления информации.

В связи с этим нами был разработан универсальный компактный автономный модуль, позволяющий обойти данные ограничения и тем самым повысить оперативность проведения исследований. Основным отличием от аналогов, является то, что данный модуль выполнен в виде отдельного погружаемого блока, подключаемого к измерителю коротким кабелем, что преобразует уже имеющиеся кабельные измерители в автономные, без внесения каких-либо конструктивных изменений. Универсальность заключается в том, что он способен работать с любыми зондами, передающими данные в формате RS-232, для чего требуется внести незначительные изменения в управляющей программы модуля. Функционально, представленный авторами модуль, осуществляет питание, управление зондирующего измерителя, накопление и индикацию данных на встроенном экране повышенной яркости, что позволяет оперативно визуализировать вертикальный профиль проведённого зондирования. Также имеются встроенный модуль времени, каналы управления и передачи данных. Управление может

осуществляться посредством Bluetooth-канала, радиоканала, радиопультот управления или герконовыми кнопками. Накопление данных происходит на встроенную карту памяти в формате файловой системы FAT32. Передача накопленных данных производится подключением карты памяти накопителя к компьютеру или посредством Bluetooth-канала. Зондирование может проводиться как без участия оператора в автоматическом режиме, так и в инженерном режиме, позволяющем настроить необходимые параметры зонда перед погружением. После завершения зондирования возможна также автоматическая передача последнего записанного файла на ПК.

Модуль был успешно испытан в составе спектрального измерителя показателя ослабления направленного света (СИПО4) [3] на океанографической платформе ФГБУН «Черноморский гидрофизический полигон» РАН. Также активно использовался в 98-м и 101-м рейсах НИС «Профессор Водяницкий», где благодаря автономности, были получены уникальные данные о вертикальной структуре (до глубин 250 м) спектрального показателя ослабления направленного света у берегов Крыма и прилегающей открытой акватории Черного моря, с высокими дискретностью и пространственным разрешением.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений» (шифр «Оперативная океанология»)*

### Литература

1. Лемешко Е.М., Латушкин А.А. Особенности формирования гидрооптической структуры в районе Черноморского гидрофизического полигона // Мат. IX всерос. конф. «Современные проблемы оптики естественных вод» (ONW'2017). Санкт-Петербург 2017. С. 97-101.
2. Ли М.Е. Разработки гидрооптических приборов в МГИ НАН Украины // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, Вып. 17. 2012. С. 7-20.
3. Латушкин А.А. Многоканальный измеритель коэффициента ослабления света для проведения океанографических подспутниковых исследований // Управление и мехатронные системы. 16-19 апреля 2013 г. Севастополь: Изд. СевНТУ. 2013. С. 231-236.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ПРИ ОЦЕНКЕ ЗАПАСА ТИХООКЕАНСКОЙ САЙРЫ (*COLOLABIS SAIRA*) В КОМИССИИ ПО РЫБОЛОВСТВУ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

В. В. Кулик

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ТИНРО-Центр),  
Владивосток

THE SEA-SURFACE TEMPERATURE USAGE DURING STOCK ASSESSMENT OF PACIFIC  
SAURY (*COLOLABIS SAIRA*) IN THE NORTH PACIFIC FISHERIES COMMISSION

V. V. Kulik

Pacific Fisheries Research Center (TINRO-Center), Vladivostok

*vladimir.kulik@tinro-center.ru*

Ключевые слова: *сайра, SST, GAM, CPUE, запас.*

Keywords: *pacific saury, SST, GAM, CPUE, stock.*

Ареал тихоокеанской сайры (*Cololabis Saira*) в Тихом океане простирается от Японии на восток до залива Аляска и на юг до Мексики, в зависимости от условий окружающей среды [1]. Среди прочих вероятных факторов, определяющих распределение сайры в северной части Тихого океана, часто исследуется температура поверхности океана (ТПО) [2].

Комиссия по рыболовству в северной части Тихого океана (NPFC) является межправительственной организацией, созданной в соответствии с Конвенцией об охране и рациональном использовании ресурсов рыбного промысла открытого моря в северной части Тихого океана. В пределах своей компетенции NPFC устанавливает меры по сохранению запасов и управлению промыслом. В 2017 г. в NPFC проведено 2 встречи технической рабочей группы для оценки запаса сайры и выработки научных рекомендаций по управлению промыслом (TWG PSSA). В TWG PSSA используется байесова модель прибавочной продукции в пространстве состояний [3]. Одним из допущений данной модели является равенство индекса биомассы произведению биомассы, коэффициента улавливаемости и суммы ошибки процесса и наблюдения, нормально распределённой в логарифмическом масштабе. За индекс биомассы принимается стандартизированный индекс вылова на усилие -  $CPUE_i$ . Таким образом, при условии постоянства ошибок  $CPUE_i$  оказывается прямо пропорционально связан с биомассой запаса. Следовательно, крайне важной задачей является корректная оценка  $CPUE_i$  и его ошибки.

Стандартизация  $CPUE$  производится представителями Китая, Китайского Тайбэя, Республики Корея, России и Японии отдельно. Однако все обязаны следовать утверждённому Протоколу стандартизации  $CPUE$ . Этот протокол включает требование о проверке различных моделей с включением в качестве предикторов  $CPUE_i$  известных факторов окружающей среды, включая ТПО, с целью выбора оптимальной по информационным критериям или другим соответствующим модели диагностиком.

Во время первых двух встреч TWG PSSA отмечалось, что  $CPUE_i$ , полученные нами, наиболее близки к итоговым оценкам биомассы сайры, хотя и имеют признаки гиперстабильности, выявленные на последней встрече. Далее представляются наши результаты стандартизации  $CPUE$ , прошедшие контроль в NPFC во время второй встречи TWG PSSA.

Исходными данными по уловам служили судовые суточные донесения (ССД), сохраняемые в ТИНРО-Центре в базе данных (БД) «Промысел» и обновляемые в последние годы из информационно-го узла Отраслевой Системы Мониторинга (ОСМ) ФГБУ «Центр системы мониторинга рыболовства и связи». Мы выбрали из БД «Промысел» четверть (125) судов, имевших не менее 210 ССД и показавших уловы сайры в течение 5 и более лет с 2001 по 2016 гг. В итоге, осталось 39456 ССД.

В ССД из ОСМ отсутствует информация о ТПО в местах вылова. Для сохранения прозрачности расчётов и воспроизводимости результатов мы восстановили по координатам и датам данные ТПО из открытого проекта «Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature» [4]. Ещё одним статистически значимым предиктором CPUE<sub>i</sub> оказалась площадь освещённой части Луны  $S = \pi r^2 l$ , где  $r$  - радиус Луны в астрономических градусах и  $l$  - доля освещённой части Луны, рассчитанные по известным формулам [5] в пакете «осе» для языка программирования R.

Среди множества проверенных нами моделей оптимальной по информационному критерию Акаике (AIC) [6] оказалась обобщённая аддитивная модель (GAM) с логарифмической функцией связи и Гамма распределением невязок, включавшая в сумме с общим смещением годы, месяцы по данному году, а также коды судов как категориальные факторы, а S и ТПО как континуальные переменные, сглаженные тонкоплёночными сплайнами (TPRS) [7] в пакете mgcv [8] для R. Данная GAM описывала 48,7% дисперсии, а аддитивные части GAM из TPRS имели высокую статистическую значимость ( $p < 0,001$ ), при этом их удаление вело к повышению AIC. Таким образом, показано, что ТПО является статистически значимым предиктором индекса запаса в наблюдаемой части ареала в целом за год.

### Литература

1. Парин Н.В. Ареал сайры (*Cololabis saira* Brev. - Scomberesocidae, Pisces) и значение океанографических факторов для ее распространения // ДАН СССР. 1960. Т. 130. № 3. С. 649–652.
2. Huang W.-B. et al. Geographical Distribution and Abundance of Pacific Saury, *Cololabis saira* (Brevoort) (Scomberesocidae), Fishing Stocks in the Northwestern Pacific in Relation to Sea Temperatures // Zool. Stud. 2007. V. 46. № 6. pp. 705–716.
3. Meyer R., Millar R.B. BUGS in Bayesian stock assessments // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1999. V. 56. № 6. pp. 1078–1087.
4. Reynolds R.W. et al. Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature // J. Clim. 2007. V. 20. № 22. pp. 5473–5496.
5. Meeus J. Astronomical Formulae for Calculators. 4th Ed. Richmond: Willmann-Bell, 1988. 219 p.
6. Akaike H. A new look at the statistical model identification // IEEE Trans. Automat. Contr. 1974. V. 19. № 6. pp. 716–723.
7. Wood S.N. Thin plate regression splines // J. R. Stat. Soc. Ser. B. 2003. V. 65. № 1. pp. 95–114.
8. Wood S.N. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models // J. R. Stat. Soc. Ser. B (Statistical Methodol). 2011. V. 73. № 1. pp. 3–36.



# ПРИЧИНЫ ОШИБОК СПУТНИКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ)

П. В. Лобанова

Санкт-Петербургский Государственный университет, Санкт-Петербург

MAIN CAUSES OF ERRORS IN SATELLITE DERIVED MODELS OF PRIMARY PRODUCTION:  
THE CASE STUDY OF THE WESTERN PART OF THE JAPAN/EAST SEA

P. V. Lobanova

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

*pl19@mail.ru*

Ключевые слова: *хлорофилл-а, морской фитопланктон, первичная продукция, спутниковые модели, Японское море.*

Keywords: *chlorophyll-a, marine phytoplankton, primary production, satellite derived models, Japan/East Sea.*

Понимание биологической и промысловой продуктивности морской экосистемы невозможно без систематической оценки пространственно-временной изменчивости её первичного трофического звена - фитопланктона и органического вещества, продуцируемого им в процессе фотосинтеза с помощью зеленого пигмента хлорофилла-а (Хл-а). Синтез органического вещества или первичная продукция (ПП) может быть восстановлена с помощью моделей, которые основаны на зависимости скорости фотосинтеза от параметров среды. Поскольку свет даёт начало фотосинтезу, то большинство моделей представляют ПП как односубстратный процесс, в котором в качестве субстрата выступает подводная освещённость [2]. В условиях отсутствия *in situ* данных ПП, её восстановление с помощью моделей представляет большой интерес. Применение спутниковых моделей ПП, использующих данные дистанционного зондирования океана для её восстановления, открывает новые возможности оценки пространственно-временной изменчивости ПП на различных масштабах [5]. Однако всегда следует учитывать ошибки модельного восстановления ПП, которые могут повлиять на конечный результат моделирования и неправильную интерпретацию пространственно-временной изменчивости ПП.

В данной работе проведён анализ ошибок спутниковых моделей ПП и объяснены основные причины их возникновения на примере западной части Японского моря (35-44° с.ш., 130-137° в.д.). Для этого в качестве спутниковой ПП использованы её оценки из базы Ocean Productivity (<http://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity>), полученные с помощью Vertical Generalized Production Model (VGPM) [4]. Из-за недостаточного количества *in situ* данных ПП в западной части Японского моря, спутниковая ПП сравнивалась с модельными оценками ПП, полученными с использованием судовых данных, входящих в модели параметров. Для этого использованы две модели ПП: VGPM и модель ТОИ [2]. Судовые данные для восстановления ПП представлены Тихоокеанским Океанологическим Институтом им. В.И. Ильичёва (ТОИ ДВО РАН). Это данные трёх морских экспедиций, выполненных весной 2004 и осенью 2005 и 2011 гг. Поскольку Хл-а является био-оптическим индексом используемых моделей, дополнительно проведена валидация его оценок из базы данных Climate Change Initiative Ocean Colour, версия 2 (<http://www.esa-oceancolour-cci.org/>). Проведённое исследование позволило наглядно показать три основные причины ошибок спутниковых моделей ПП.

*Точность определения био-оптического индекса моделей.* Анализ результатов показал, что в те периоды, когда спутниковая ПП была завышена/занижена, спутниковый Хл-а также был выше/ниже его судовых оценок. Эти результаты подтверждают результаты анализа чувствительности моделей [3], где основной вклад в ошибку восстановления ПП принадлежит био-оптическому индексу.

*Океанологические условия, стратифицированность вод.* Анализ двух осенних экспедиций показал, что в 2005 г спутниковые оценки ПП несколько завышали, в то время как в 2011 г. они сильно занижали значения ПП. Причина этих различий объясняется океанологическими условиями акватории в

рассматриваемые периоды времени. На основе осреднённого для всех станций вертикального профиля Хл-а, сделан вывод, что во время осенней экспедиции 2005 г. воды в среднем были хорошо перемешаны и вертикальный градиент Хл-а практически отсутствовал. В 2011 г., наоборот, воды были сильно стратифицированы и наблюдался глубоководный максимум Хл-а на глубине ниже зоны «видимости» спектрорадиометра. Поэтому общее содержание Хл-а в эвфотическом слое согласно VGPM сильно занижено. Это и привело к низким оценкам спутниковой ПП.

*Точность определения фотосинтетических параметров моделей.* Во время осенней экспедиции 2005 г. воды в среднем были хорошо перемешаны, и спутниковые оценки ПП были близки к натурным. Однако они несколько завышали их. При этом систематическая ошибка Хл-а для этого периода небольшая и является минимальной из всех рассматриваемых экспедиций. Следовательно, в данном случае точность оценки спутникового Хл-а не может определять общую ошибку спутниковой модели ПП. Ассимиляционное число (АЧ) - важный фотоадаптивный параметр моделей ПП, который характеризует удельную максимальную (или оптимальную) скорость фотосинтеза в условиях насыщения. В модели ТОИ использовалось *in situ* значение АЧ, региональное для западной части Японского моря [1]. В то время как в спутниковой модели VGPM АЧ восстанавливалось как функция температуры поверхности океана согласно алгоритму, предложенному авторами модели [4]. Для осеннего периода 2005 г. величина модельного АЧ была максимальной и превышала *in situ* значение. Это и привело к тому, что в условиях слабо выраженного вертикального градиента Хл-а наблюдались завышенные спутниковые оценки ПП.

Таким образом, в данном исследовании на примере западной части Японского моря показаны и описаны три основные причины ошибок спутниковых моделей ПП, что представляется важным для их дальнейшего совершенствования.

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: А 16-05-00452 и мол\_а 18-35-00543.*

### Литература

1. Захарков С.П. Отчет гидробиологического отряда // Науч. отч. экспед. ТОИ ДВО РАН на НИС «Академик М.А. Лаврентьев», рейс № 33. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2004.
2. Звалинский В.И. Формирование первичной продукции в море // Известия ТИНРО. 2006. Т. 147. С. 276-302.
3. Лобанова П.В. Анализ чувствительности спутниковых моделей первичной продукции морского фитопланктона // Матер. II Всерос. науч. конф. мол. уч. «КИМО-2017». 2017. С. 371-373.
4. Behrenfeld M.J., Falkowski P.G. Photosynthetic rates derived from satellite based chlorophyll concentration // Limnol. and Oceanogr. 1997. V. 42 (1). pp. 1-20.
5. Joo H.T., Son S.H., Park J.-W., Kang J.J., Jeong J.-Y., Lee C.I., Kang C.K., Lee S.H. Long-Term pattern of primary productivity in the East/Japan sea based on ocean color data derived from MODIS-Aqua // Rem. Sensing. 2015. V. 8 (25).

## АНОМАЛЬНОЕ ЦВЕТЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

А. В. Медведева, С. В. Станичный  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

## ANOMALOUS ALGAL BLOOM IN THE CASPIAN SEA

A. V. Medvedeva, S. V. Stanichny  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*Shift@mail.ua*

Ключевые слова: *Каспийское море, фитопланктон, аномальное цветение, сине/зеленые водоросли, цианобактерии.*

Keywords: *Caspian Sea, algal bloom, phytoplankton, Cyanobacteria.*

В северной части Каспийского моря ежегодно наблюдаются случаи экстремального цветения фитопланктона и присутствие цианобактерий, что связано с сочетанием малых глубин района и мощным речным стоком Волги, как источником биогенов. Напротив, в средней и южной части акватории аномальные ситуации формируются эпизодически и имеют зависимость от большего числа факторов.

В данной работе для выявления аномального цветения в Среднем и Южном Каспии в период с 2001 по 2017 гг. были использованы данные спутниковых сканеров Modis Aqua и Terra, а также - SeaWIFS, на основе которых проводился анализ изменчивости концентрации хлорофилла и яркости восходящего излучения. Дополнительно применялись данные спутников LandSat, Sentinel, NOAA и реанализа MERRA для оценки влияния гидрометеорологических условий на развитие аномального цветения, а также - для выявления изменений в абиотической среде из-за наличия аномальной ситуации.

В Среднем Каспии развитие фитопланктона обуславливается преимущественно поступлением северокаспийских вод и речным стоком на западном побережье, но аномалии цветения наблюдались единично. В 2001 г. отмечалась нетипично высокая концентрация хлорофилла, а в 2017 - несколько центров развития цианобактерий.

В южной части бассейна аномальные ситуации фиксировались чаще, чем в средней (в теплые сезоны шести лет), наиболее выраженные наблюдались в 2001 и 2005 гг. В 2001 г., так же, как и в Среднем Каспии, концентрация фитопланктона достигла экстремальных значений, а в 2005 на протяжении почти двух месяцев регистрировалось крупномасштабное формирование сине-зеленых водорослей, по площади захватившее до четверти рассматриваемого района.

Положительная плавучесть этого класса водорослей в сочетании с высокой концентрацией существенным образом изменяют оптические и физические характеристики поверхностного слоя вод. В частности, было выявлено изменение режима прогрева в зонах цветения из-за увеличения поглощения солнечной радиации, что создало температурные контрасты в дневное время суток до 5°C.

В отличие от Северного и Среднего Каспия, в южной части Каспийского моря речной сток не является преобладающей причиной развития сине-зеленых водорослей, большое значение имеет сочетание таких условий, как значительный прогрев вод и низкие скорости ветра. Также проанализирована роль мезомасштабных вихрей в формировании области проявления аномальных цветений.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений» (шифр «Оперативная океанология»).*

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-05-41102 РГО\_а.*

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМНЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕЛОМ МОРЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ОКЕАНОЛОГИИ

А. В. Толстик<sup>1</sup>, И. А. Чернов<sup>2</sup>, Д. М. Мартынова<sup>3</sup>, Н. Г. Яковлев<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, Петрозаводск

<sup>2</sup>Институт прикладных математических исследований Карельского НЦ РАН, Петрозаводск

<sup>3</sup>Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

<sup>4</sup>Институт вычислительной математики РАН, Москва

## MODELLING OF ECOSYSTEM PROCESSES IN THE WHITE SEA FOR SOLVING APPLIED PROBLEMS OF OCEANOLOGY

A. V. Tolstikov<sup>1</sup>, I. A. Chernov<sup>2</sup>, D. M. Martynova<sup>3</sup>, N. G. Iakovlev<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Northern Water Problems Institute of Karelian Research Centre of the RAS, Petrozavodsk

<sup>2</sup>Institute of Applied Math Research of Karelian Research Centre of the RAS, Petrozavodsk

<sup>3</sup>Zoological Institute of the RAS, Saint Petersburg

<sup>4</sup>Institute of Numerical Math of the RAS, Moscow

*alexeytolstikov@mail.ru*

Ключевые слова: *Белое море, JASMINE, BFM, численное моделирование, экосистемные процессы.*

Keywords: *White Sea, JASMINE, BFM, numerical modelling, ecosystem processes.*

Модель JASMINE основана на конечно-элементной модели Северного Ледовитого океана [1]. В ней использована система «примитивных» уравнений, приближения Буссинеска и несжимаемости морской воды, условие гидростатики. Описываются трехмерные течения, термохалинная структура вод, а также характеристики морского льда: дрейф, замерзание и таяние, торшение. Модель апробирована на примере Северного Ледовитого океана и Белого моря и удовлетворительно описывает крупномасштабное состояние моря [2]. JASMINE взаимодействует с биогеохимическим модулем BFM [3], описывающим потоки элементов (углерода, азота, фосфора, кремния, кислорода и др.) на базовых уровнях трофической сети пелагической экосистемы. Предусматривается по четыре группы фито- и зоопланктона и одна группа нефотосинтезирующих бактерий. Каждая группа описана полями концентрации элементов, включая неконсервативный «псевдоэлемент» хлорофилл для большей части автотрофов и неорганический кремний для диатомовых водорослей.

На комплексной модели JASMINE [3] были проведены модельные расчеты распределения температуры и солености воды, льда, концентрации хлорофилла "а", биогенных элементов (нитратов, фосфатов, силикатов) и пассивных примесей (загрязнители - нефть, твердые вещества), а также первичной продукции в Белом море. Рассматривались среднемесячные величины, осредненные за период 2002-2014 гг. Внимание уделено сравнению распределений двух лет (1970 и 2014), т.е. оценивались изменения, произошедшие за период, превышающий климатическую норму. В ходе работы выявлено, что в последнее десятилетие наблюдается смещение сезонов, связанное с изменением климатических условий на водосборе Белого моря. Лед в мае сейчас сходит быстрее. Эти изменения отражаются на экосистемных процессах в Белом море и для 2014 г. проявляются в более ранней по сравнению с 1970 г. вспышке фитопланктона, быстром "выедании" биогенных элементов в июне, и большей продукции при более высокой температуре воды. Данные модели согласуются с данными фенологических наблюдений *in situ* [4]. Результаты будут показаны в докладе. Стоит отметить, что согласованность полученных нами модельных и измеренных значений выше по сравнению, например, с [5], где, в частности, начало цветения в Белом море смещено на апрель, что, вероятно, связано с не вполне правильным описанием морского льда.

При сравнении концентрации хлорофилла "а" в поверхностном слое Белого моря в 1970 и 2014 гг. отмечено, что количество вещества за этот период изменилось незначительно. Однако в относительно мелководном Онежском заливе развитие продуцентов начинается раньше, что связано с более высокими температурами воды в 2014 г. по сравнению с 1970 г. Из-за раннего развития продуцентов в мае

происходит и более быстрое "выедание" органического вещества в июне консументами первого порядка. Поэтому, чем раньше отмечается вспышка фитопланктона, тем быстрее проявляется и снижение количества биогенных элементов. В более теплом 2014 г. в июле вещества меньше по сравнению с 1970 г. Ранней осенью содержание хлорофилла "а" выравнивается, и картина в октябре 1970 и 2014 гг. практически идентична.

Полученные результаты, выполненные с использованием модели JASMINE, могут быть востребованы в прикладных задачах океанологии (разрешении вопросов повышения рыбопродуктивности, моделировании загрязнений акватории нефтепродуктами). Можно рассматривать процессы в Белом море исходя из сценариев развития событий: теплый или холодный год, ранний или поздний сход льда, количество осадков больше или меньше нормы, а также учитывать колебания характеристик расходов, впадающих в море рек.

Вышеизложенные результаты позволяют сделать вывод о том, что по данным моделирования в последние годы в Белом море наблюдается более ранняя весна, активизирующая размножение продуцентов, что в свою очередь раньше запускает другие биологические процессы. Результаты моделирования удовлетворительно согласуются с данными наблюдений. Механизмы воздействия абиотических факторов на экосистемы Белого моря требуют дальнейшего изучения.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-45-100162 p\_a*

### Литература

1. Яковлев Н.Г. Воспроизведение крупномасштабного состояния вод и морского льда Северного Ледовитого океана в 1948-2002 гг. Часть 1: Численная модель и среднее состояние // Изв. РАН. ФАО. 2009. Т. 45. № 3. С. 1-16
2. Biogeochemical Flux Model (BFM). [Электронный ресурс]. URL: <http://bfm-community.eu>
3. Чернов И.А., Толстикова А.В., Яковлев Н.Г. Комплексная модель Белого моря: гидротермодинамика вод и морского льда // Труды КарНЦ РАН. Серия «Математическое моделирование и информационные технологии». 2016. № 8. С. 116-128. doi: 10.17076/mat397
4. Usov N., Kutcheva I., Primakov I., Martynova D. Every species is good in its season: Do the shifts in the annual temperature dynamics affect the phenology of the zooplankton species in the White Sea? // Hydrobiol. 2013. V. 706. pp. 11-33.
5. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Под ред. Н.Н. Филатова, А.Ю. Тержевика. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 335 с.

# ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ОСНОВНЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А. И. Шупило, Д. К. Старицын  
Санкт-Петербургский Государственный университет, Санкт-Петербург

THE EXPERIENCE OF FORECASTING THE NUMBER OF THE MAIN COMMERCIAL FISHES OF THE BALTIC SEA IN CONDITIONS OF VARIABILITY OF HYDROPHYSICAL PROCESSES

A. I. Shupilo, D. K. Staritzyn  
Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

*s.gire@yandex.ru*

Ключевые слова: *численность, улов, прогнозирование, гидрофизические процессы, промысел.*

Keywords: *strength, statistical relationships, hydrophysical processes, cod, herring, sprat, Baltic Sea.*

Целью данной работы является поиск возможных статистических связей между колебаниями уловов основных промысловых рыб (треска, сельдь, шпрот) и изменчивостью гидрометеорологических и геофизических процессов, а также прогноз уловов указанных рыб на основе полученных связей.

Прогнозирование численности является важным аспектом в промысловой океанографии, так как реалистичный прогноз позволяет заблаговременно спланировать необходимые ресурсы для промысловой кампании и предвидеть её результат, а со стороны государства появляется возможность внесения корректировок в предельно допустимые уловы, исходя из спрогнозированных изменений численности популяции [4].

Гидрофизические, гидрометеорологические и ряд других абиотических процессов, очевидно, оказывают значительное влияние на численность промысловых гидробионтов, так как вместе с этими процессами изменяются условия среды, в которой происходит их рост и размножение [3]. Важно как установить связь между конкретными процессами и численностью основных промысловых видов региона, так и проводить опыты по прогнозированию изменений численности, используя найденные статистические связи с конкретными процессами.

В процессе достижения цели были поставлены следующие задачи:

- провести анализ динамики численности промысловых рыб в Балтийском море, для определения периодичности уменьшения или увеличения уловов,
- установить взаимосвязь между численностью гидробионтов и изменчивостью гидрофизических процессов,
- дать статистический прогноз уловов промысловых рыб в Балтийском море.

При такой постановке задачи, прежде всего, следует ответить на следующий вопрос: насколько изменчивость уловов отражает динамику численности рыб? Вылов, как правило, не затрагивает всю популяцию гидробионтов, так как ежегодно на уловах могут сказываться, к примеру, такие факторы, как техническое обеспечение промысла и количество штормовых дней. Однако, как показали результаты исследований, среднегодовые значения уловов, довольно тесно связаны с общей динамикой численности промысловых объектов.

Изменчивость уловов, как и динамика численности, зависит, в том числе и от изменчивости набора природных факторов, поэтому для оценки связи между этими величинами целесообразно использовались интегральные индексы атмосферной и океанической циркуляции.

В качестве независимых переменных испытывался набор из 18 предикторов за период 1982-2016 гг. [2]

Выполнен корреляционный и взаимокорреляционный анализы по стандартным методикам, с помощью которых получены регрессионные зависимости [1].

В результате получены устойчивые статистические оценки линейной связи динамики численности основных промысловых рыб Балтийского моря с абиотическими процессами. Выявлена связь

численности промысловых видов со скоростью вращения Земли, индексами солнечной активности и аномалиями глобальной температуры Земли. Построены прогностические модели линейной множественной регрессии с заблаговременностью 2 года.

#### Литература

1. Драган Я.П., Рожков В.А., Яворский И.Н. Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов. СПб.: Гидрометеиздат, 1987. 320 с.
2. Зезера А.С. Многолетние изменения абиотических условий в Балтийском море (1975-2007 гг.) // Промыслово-биологические исследования Атлант-НИРО в 2006-2007 гг. Т. 1. Балтийское море и заливы. Калининград, 2009. С. 6-17.
3. Фельдман В.Н., Назаров Н.А., Зезера А.С. Многолетняя динамика запасов промысловых рыб Балтийского моря и влияние на них факторов окружающей среды и промысла // Сб. научн. тр. АтлантНИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Калининград, 1998. С. 6-12.
4. Назаров Н.А. Биоресурсные исследования АтлантНИРО в Балтийском море в 1992-2006 гг. [http://www.gilge.ru/ru/publication/oceanolog/part\\_5\\_6.php](http://www.gilge.ru/ru/publication/oceanolog/part_5_6.php)

## 3 Химия океана



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ПЛЮССА В ПРЕДЕЛАХ Г. СЛАНЦЫ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ (БАСЕЙН БАЛТИЙСКОГО МОРЯ)

А. А. Анисова

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

IDENTIFICATION OF SPECIFIC SOURCES OF POLLUTION OF THE PLUSSA RIVER IN SLANTSY TOWN OF THE LENINGRAD OBLAST (THE BASIN OF THE BALTIC SEA)

A. A. Anisova

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Saint Petersburg

*a.anisowa@gmail.com*

Ключевые слова: *река Плюсса, река Ленинградской области, загрязнение от сланцевой промышленности, гидролиз горючих сланцев.*

Keywords: *the Plusa river, the river of the Leningrad oblast, pollution from the shale industry, hydrolysis of shale.*

Согласно принятой в России классификации, р. Плюсса, имеющая длину 281 км и площадь водосборного бассейна 6550 км<sup>2</sup>, принадлежит к рекам средней категории [1]. Значительная часть протяженности реки территориально относится к Псковской области, где на ее берегах встречаются крупные населенные пункты сельского типа с численностью населения порядка 500 человек (Чернёво, Ляды), а также ряд более мелких поселений.

Река Плюсса является критически значимым источником водоснабжения крупнейшего населенного пункта: районного центра - г. Сланцы с населением около 33 тыс. человек. Использование водозаборных скважин вблизи города осложнено высоким уровнем антропогенного преобразования подземных водоносных горизонтов в результате горнопромышленной деятельности периода СССР - в непосредственной близости от города эксплуатировались шахты по добыче горючих сланцев. Даже после закрытия предприятий дренажные воды шахт сбрасывались в р. Плюсса (водоброс с шахт им. Кирова и Ленинградская суммарно составлял не менее 4600 м<sup>3</sup>/час). В 2008-2009 г. была предпринята попытка использования шахтных вод в качестве резервного источника водоснабжения города Сланцы, однако данная вода не соответствовала санитарно-гигиеническим нормам (отмечалось превышение ПДК бария, марганца и меди), а очистку признали нерентабельной.

Город Сланцы расположен в пределах Лужско-Нарвской предглинтовой низменности. В гидрогеологическом профиле выделяется следующий ряд водоносных горизонтов (сверху вниз): четвертичный, старооскольский, наровский, везенбергский, невский, кукерский, таллинский, кембро-ордовикский, ломоносовский и нижнекотлинский, разделенных относительными водоупорами. Интенсивная эксплуатация подземных вод во время разработки сланцевых пластов привела к истощению отдельных водоносных горизонтов и образованию региональной пьезодинамической депрессии.

В настоящее время подземные воды города Сланцы не эксплуатируются в промышленном масштабе, шахты законсервированы: им. Кирова - сухим способом, Ленинградская - затоплена. Безопасность мокрого способа консервации в свое время вызывала опасения у ряда специалистов (Конасавский П.К., Потапов А.А., Петров Н.С., Семикобыла Я.Г. и др.), но в силу экономических причин затопление состоялось. На сегодняшний день есть свидетельства о подъеме уровня подземных вод в шахте Ленинградская до границ, представляющих потенциальную угрозу для находящихся над шахтой сооружений (нескольких жилых домов). Кроме того, химический состав грунтовых и подземных вод в пределах г. Сланцы в связи с подъёмом уровня шахтных вод может изменяться не в лучшую сторону. Избирательный анализ воды одного из комплекса слабонапорных родников, обнаруженных в ходе маршрутных обследований берегов р. Плюсса (правый берег, в районе лодочной станции ГИМС МЧС) показал наличие в пробе фенола в количестве 0,0013 мг/л (1,3 ПДК). Кроме того, при визуальной оценке родника отмечались периодические подъемы со дна (из точки пульсации) смолоподобных

сгустков черно-коричневого цвета, напоминающих сланцевый деготь (сланцевую смолу). Вещество горючее, с характерным запахом горящего сланца, при подъеме на поверхность постепенно расходуется в виде «масляной» пленки. Температура воды в исследуемом роднике (в точке выхода) составляет 6-9°C круглогодично. Родник не замерзает в холодный период, и, стекая множественными мелкими водотоками, впадает в р. Плюсса, образуя вдоль правого берега удлиненную незамерзающую полынью протяженностью до 50 м.

По состоянию на 2016 г. вода в реке Плюсса является загрязненной (класс качества 3 «а») [2]. Анализ официальных статистических источников за период 2012-2016 гг. показывает, что качество воды остается неизменным (фигурируют классы качества 3«а» и 3«б» - "загрязненная" и "очень загрязненная"). С точки зрения гидрохимического состава, отмечается систематическое превышение норм по четырем основным показателям: ХПК (3,1 норм.), железо общее (5,6 ПДК), медь (2 ПДК) и марганец (1,5 ПДК). Учитывая тот факт, что в настоящее время в г. Сланцы функционирует не так много предприятий, являющихся источником прямого или опосредованного загрязнения р. Плюсса, есть основания предполагать, что определенная часть органических соединений привносится с поверхностным и подземным стоком из зон контакта природных вод со сланцевыми породами, т.е. данные органические соединения являются продуктами гидролиза горючих сланцев (в затопленных участках шахт при участии подземных вод, и на склонах терриконов при участии атмосферных вод) [3]. Кроме того, повышенное содержание переходных металлов (меди и марганца) может указывать на активно протекающие процессы окисления сульфидов, которые нередко содержатся в сланцевых породах в виде вкраплений (включений).

От экологического благополучия р. Плюсы во многом зависит состояние Нарвского водохранилища, так как река является его вторым крупнейшим притоком наряду с р. Нарва. По некоторым оценкам, в водах Нарвского водохранилища также наблюдается избыток органических соединений, что для слабопроточного водоема озерного типа является серьезной проблемой, в конечном счете сказывающейся на содержании в воде свободного кислорода, лимитирующего возможность роста численности гидробионтов.

#### Литература

1. Гидрографическое районирование территории Российской Федерации. Кн. 1. С. Е. Беднарук, Ю. Г. Мотовилов, А. В. Мاستрюкова и др. М.: НИИ-Природа, 2008. 541 с.
2. Доклад «Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2016 году». Комитет по природным ресурсам Ленинградской области. Андреев Е.Л., Мурашко И.И. СПб.: Администрация Ленинградской области, 2017. 122 с. С. 29-30.
3. Петров Н.С. Ленинградское месторождение горючих сланцев: гидрогеологические, экологические и экономические проблемы // Записки Горного института. 2008. Т. 176. С. 201-204.

# СОСТАВ И ГЕНЕЗИС N-АЛКАНОВ В ВОДЕ, ВЗВЕСИ И ДОННЫХ ОСАДКАХ НА РАЗРЕЗЕ ОТ УСТЬЯ Р. ЛЕНА ДО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

Н. Е. Вылегжанина<sup>1</sup>, Н. А. Шульга<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

DISTRIBUTION OF N-ALKANES IN WATER, SUSPENDED MATTER AND BOTTOM SEDIMENTS ON A TRANSECT FROM THE LENA RIVER TO CONTINENTAL SLOPE, LAPTEV SEA

N. E. Vylegzhanina<sup>1</sup>, N. A. Shulga<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*nat.vylegzhanina@gmail.com*

Ключевые слова: *Арктика, органическое вещество, взвесь, донные осадки, ГХ-МС, n-алканы*

Keywords: *Arctic, organic matter, suspended matter, sediments, GC-MS, n-alkanes*

Для более полного изучения текущего состояния экосистемы и понимания процессов, идущих в устьевой, шельфовой областях, а также на континентальном склоне Арктического региона была поставлена цель: изучить содержание, генезис и степень трансформации органического вещества (ОВ) в воде, взвеси и донных осадках по разрезу от устья р. Лены до континентального склона (Ленский разрез). Лена - одна из крупнейших Сибирских рек - оказывает колоссальное влияние на процессы, протекающие в море Лаптевых и в Арктическом регионе в целом. Речной сток определяет особенности циркуляции, а также формирование сезонной стратификации вод [1].

В основу исследования положено изучение образцов воды, взвеси и донных осадков, отобранных в ходе 63 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в сентябре 2015 года в восточной части моря Лаптевых (рис. 3.1). Общая протяженность разреза составила около 700 км. Аналитическое изучение состава ОВ в образцах воды (3 образца), взвеси (9 образцов) и поверхностных донных осадках (8 образцов) заключалось в определении качественного и количественного состава n-алканов методом газовой хроматографии масс-спектрометрии и рассчитанные на их основе органо-геохимические индексы.

В изученных образцах установлено наличие n-алканов в интервале  $C_{15-33}$ , концентрация которых составляет 0.003 - 0.008 мкг/л в воде (происходит увеличение концентрации при движении от устья Лены к континентальному склону), 0.06 - 0.39 мкг/л во взвеси (концентрация увеличивается при движении от устья к континентальному склону; с глубиной концентрация также возрастает) и 0.69 - 16.79 мкг/г в осадках (концентрации больше в наилке; при движении от устья к континентальному склону концентрации убывают).

Анализ молекулярного состава УВ в воде, взвеси, донных осадках на Ленском разрезе моря Лаптевых в области устья, внешнего шельфа и континентального склона выявил изменчивость состава ОВ в зависимости от источников его поступления: речного стока и биогенного органического вещества (рис. 3.2). Выявленная повышенная бактериальная трансформация ОВ имеет большое значение, несмотря на условия низких температур.

В поверхностных пробах воды ОВ вблизи устья образовано остатками терригенной органики, на внешнем шельфе и континентальном склоне - остатками гидробионтов (фито- и зоопланктона), о чем свидетельствует значение  $C_{15+17+19}/C_{27+29+31+33}$ , равные 0.76, 2.33 и 2.45, соответственно (рис. 3.2а). При движении от материка к глубоководным станциям прослеживается смена источника поступления ОВ от аллохтонного к автохтонному. Высока доля органики бактериального происхождения (43 - 69%), выраженная в наличии интенсивных максимумов n- $C_{16}$ , n- $C_{18}$ . Об этом также свидетельствует индекс нечетности  $OEP_{17-19} < 1$ . Наиболее активно процессы бактериальной деструкции ОВ наблюдаются на континентальном склоне, где не прослеживается влияние материкового стока.

Во взвеси выявлено наличие биогенного материала, представленного гидробионтными и бактериальными компонентами, наряду с привнесением компонент континентальной органики ( $C_{15+17+19}/_{27+29+31+33} = 1.38$ ,  $OEP_{17-19} = 0.62$ ,  $CPI = 1.37$ , в среднем) (рис. 3.26). Наиболее заметный вклад наземной растительности 21% фиксируется на станции в устьевой области, снижаясь до 9% на шельфе и 4% на континентальном склоне. Доля продуктов бактериальной жизнедеятельности увеличивается по мере удаления от материка ( $C_{16+18+20-24} = 63, 69, 75 \%$ , соответственно для областей устья, шельфа и склона). Анализ вертикального распределения УВ во взвеси в области континентального склона позволяет сделать вывод о значительной преобразованности ОВ при движении от поверхности ко дну. Здесь наблюдается полная деструкция соединений морского биогенного генезиса и выявлена значительная доля (до 75%) продуктов бактериальной трансформации ОВ на глубинах 140 и 600 м (рис. 3.2г). У дна на глубине 2385 м обнаружены следовые количества углеводородов.

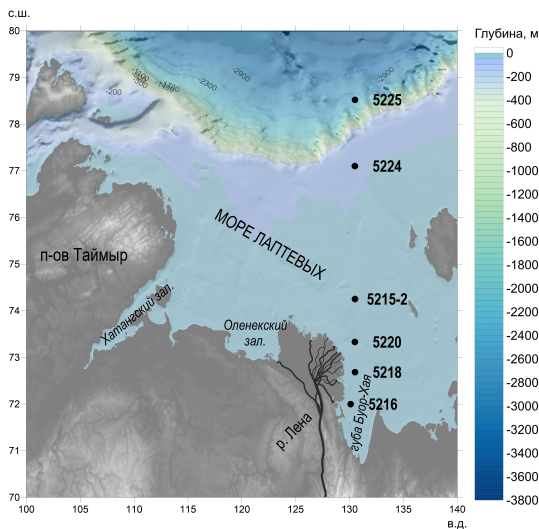
Состав *n*-алканов поверхностных осадков принципиально отличается от состава воды и взвеси (рис. 3.2в). Высокомолекулярные гомологи, генетически связанные с наземной растительностью, отчетливо преобладают над гидробионтными низкомолекулярными, о чем свидетельствуют значения индекса ( $C_{15+17+19}/ C_{27+29+31+33} = 0.47$ ). Низкомолекулярные гомологи - остатки бактерий и гидробионт - подверглись значительным диагенетическим преобразованиям ( $OEP_{17-19} = 0.60$ , в среднем). О привнесении в осадки свежей терригенной органики говорят максимумы концентрации *n*-C<sub>27</sub>, *n*-C<sub>29</sub>, *n*-C<sub>31</sub> и наличие преимущественно нечетных *n*-алканов ( $CPI = 6.21$  в среднем), что характерно для остатков восков сосудистых растений и компонент торфа. Доминирование гентриаконтана (*n*-C<sub>31</sub>) в ряду соседних с ним гомологов также может указывать на эоловый источник ОВ, например, пыльцу высших растений. Подобное распределение УВ является специфичным для осадков морей Арктики [2]. Характер распределения *n*-алканов в поверхностных осадках свидетельствует о значительной роли речного стока в выносе наземного ОВ, распространяющегося от Лены до самой глубоководной точки разреза.

Изученные образцы воды, взвеси, донных осадков отбирались в одно и то же время на одних и тех же станциях. Таким образом, это позволило исключить временной фактор, а также дало возможность проведения корректного сопоставления результатов изучения органо-геохимических индикаторов. Антропогенное влияние на изученной акватории не выявлено, в отличие от российских областей западной Арктики, и, вероятно, имеет локальный характер. Представленные в работе данные могут быть использованы в качестве фоновых величин при проведении экологического мониторинга региона.

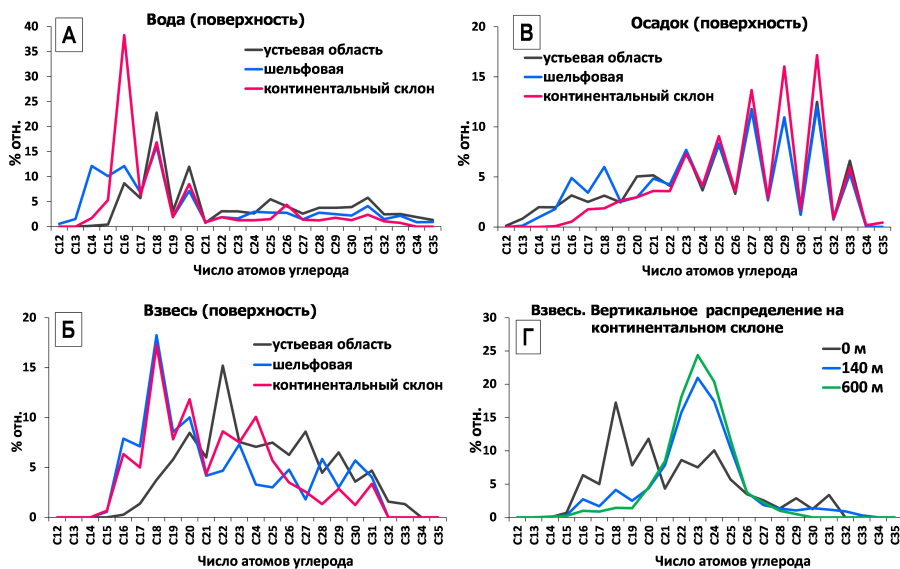
*Работа выполнена в рамках Госзадания № 0149-2018-0005.*

### Литература

1. Романкевич Е.А., Ветров А.А. Цикл углерода в арктических морях России. М., Наука, 2001. 302 с.
2. Пересыпкин В.И., Романкевич Е.А. Биогеохимия лигнина. М.: ГЕОС, 2010. 340 с.



**Рис. 3.1:** Карта-схема расположения станций пробоотбора на Ленском разрезе (ст. 5216, 5218 – устьевая область, глубины до 18 м; ст. 5220, 5215-2, 5224 - шельф, глубины до 62 м; ст. 5224 - континентальный склон, глубина 2385 м).



**Рис. 3.2:** Типичные распределения n-алканов в воде (а), взвеси (б), донных осадках (в) на изученном разрезе.

## ВМЕХАНИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ПРИБОЙНОЙ ЗОНЕ МОРЯ

И. В. Ефимова<sup>1,2</sup>, И. П. Чубаренко<sup>1</sup>, М. А. Багаева<sup>1</sup>, Л. И. Хатмуллина<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва<sup>2</sup>Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, Калининград

## MECHANICAL DEGRADATION OF MICROPLASTICS IN THE SEA SURF ZONE

I. V. Efimova<sup>1,2</sup>, I. P. Chubarenko<sup>1</sup>, M. A. Bagaeva<sup>1</sup>, L. I. Khatmullina<sup>1,2</sup><sup>1</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow<sup>2</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad*liliahkhatmullina@gmail.com*

Ключевые слова: *микропластик, механическая деградация, генерация вторичного микропластика, морской мусор, прибойная зона моря.*

Keywords: *microplastics, mechanical degradation, generation of secondary microplastics, marine debris, sea surf zone.*

Загрязнение морской среды микропластическими (1-5 мм) частицами является результатом влияния человека [1]. Транспортные свойства и судьба частиц микропластика зависят от их формы, размера и плотности и до сих пор мало известны [2]. Как показывают наблюдения, на поверхности моря плавают разнообразные куски пластика, по формам не похожие на нам привычный пластик: они являются результатом разрушения более крупных пластиковых объектов. В принципе, на разрушение пластика в море могут влиять: УФ-излучение, биodeградация и механическое разрушение. В результате УФ-излучения пластик становится хрупким и распадается на фрагменты [3, 4]. Биodeградация пластмассы в морских условиях очень медленна [3, 4].

Для подробного исследования механической деградации на процесс разрушения пластмасс в прибойной зоне моря были взяты типы пластиков, наиболее характерные для берегов Балтийского моря: LDPE (полиэтилен низкой плотности, мусорные пакеты толщиной 5 мкм,  $\rho = 0,92$  г/см<sup>3</sup>), PS solid (полистирол, одноразовая посуда,  $\rho = 1,05$  г/см<sup>3</sup>), PP (полипропилен, одноразовые стаканчики,  $\rho = 0,86$  г/см<sup>3</sup>) и PS foam (пенополистирол, пенопласт,  $\rho = 0,01$  г/см<sup>3</sup>). Взято было 200 г (50 г для PSf) образцов 2 см x 2 см одного из перечисленных пластмасс, 20 литров пресной воды и 40 кг натуральной морской крупной гальки (4-6 см) смешивали во вращающемся миксере (30 об/мин) в течение 24 часов. Каждые 3 часа материал промывали, просеивали, сушили и взвешивали (см рис. 3.3).

Рассмотрены интенсивность и характер разрушения пластмасс. После 24 часов разрушения в лабораторном миксере с галькой из 100% исходных макро образцов были разрушены (по весу) следующие пропорции (микро): LDPE - около 30%, PSs - 100%, PP - около 5%, PSf - около 20%. Образцы LDPE разрушали удлиненные нитевидные фрагменты; микрочастицы, полученные из PSs, представляют собой плоские фрагменты и обрезки различных форм; образцы PP были разделены на длинные пластины; PSf разрушались на отдельные сферические частицы, которые затем распадались. На рис. 3.4 представлены образцы образования исходного макро-материала в микро размеры и изменения формы.

С проведением первых лабораторных экспериментов были получены данные, которые показали скорости разрушения различного пляжного мусора в микро-размеры. Дальнейшим исследованием было показать влияние осадка на разрушение пластика. Для данного эксперимента были выбраны те же самые виды пластика, а также различные виды пляжного осадка (галька, гранулы и песок), которые были взяты с побережья Балтийского моря. Принцип проведения эксперимента не отличался от предыдущего, лишь проводился с разными видами осадка с каждым видом пластика отдельно и непрерывно вращался 24 ч.

По итогам проведения ряда лабораторных экспериментов были получены следующие выводы:

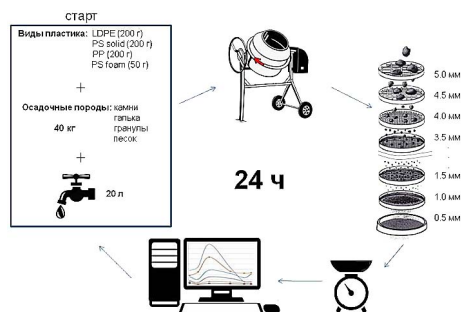
1. Механическая деградация морского пластика является одним из самых важных механизмов генерации микропластика в море.

2. На начальных этапах разрушения сплошных материалов, рост массы микрочастиц со временем следует экспоненциальному закону; для материалов, сложенных из фрагментов (пенополистирол, PSf) - близок к линейному. Разные виды пластика разрушаются с разной скоростью: быстрее всех в прибойной зоне моря разрушаются образцы из полистирола (PSs), затем - из полиэтилена (LDPE), и последними - из полипропилена (PP).
3. осадка морского пляжа влияет на скорость разрушения. Крупная и мелкая галька разрушают пластика до микрочастиц значительно эффективнее, чем гранулы и песок.
4. По натурным данным, концентрации частиц микропластика в поверхностном слое Балтийского моря составляют около 1-4 шт. на 10 л воды [5]. Распределение частиц этого микропластика по размерам - ещё предстоит выяснить.

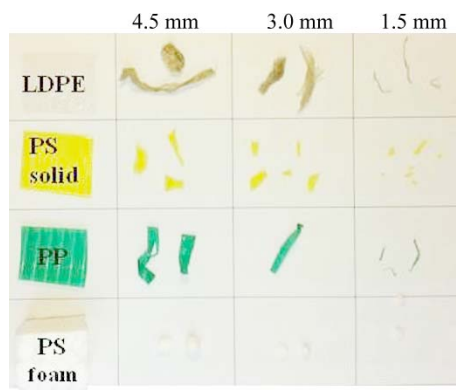
*Работа выполнена в рамках государственного задания № 0149-2018-0012, а также при поддержке гранта РФФИ № 18-35-00553.*

### Литература

1. Esiukova E. Plastic pollution on the Baltic beaches of Kaliningrad region, Russia // Mar. Pollut. Bull. 2017. V. 2(114). pp. 1072-1080.
2. Chubarenko I., Bagaev A., Zobkov M., Esiukova E. On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment // Mar. Pollut. Bull. 2016. V. 108. pp. 105-112.
3. Duis K., Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects// Env. Sci. Eur. 2016. V. 28. pp. 2.
4. Andrady A.L. Microplastics in the marine environment// Mar. Pollut. Bull. 2011. V. 62. pp.1596-1605.
5. Bagaev, A., Mizyuk, A., Khatmullina, L., Isachenko, I., Chubarenko, I. Anthropogenic fibres in the Baltic Sea water column: Field data, laboratory and numerical testing of their motion // Sci. Total Environ. 2017. V. 599. pp. 560-571.



**Рис. 3.3:** Схема проведения ряда лабораторных экспериментов с различными видами пластика и пляжными осадками в лабораторном миксере (бетономешалка)



**Рис. 3.4:** Полученные образцы после 24 ч эксперимента в лабораторном миксере вместе с камнями.



## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РОЛИ ПУЗЫРЬКОВОГО МЕТАНА НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

А. Д. Заговенкова<sup>1</sup>, Е. А. Проценко<sup>2,3</sup>, Е. В. Якушев<sup>2,3</sup>, В. С. Архипкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН

<sup>3</sup>The Norwegian Institute for Water Research (NIVA)

ESTIMATION THE INFLUENCE OF BUBBLE RELEASED METHANE ON HYDROCHEMICAL CONDITIONS OF LAPTEV SEA

A. D. Zagovenkova<sup>1</sup>, E. A. Protsenko<sup>2,3</sup>, E. V. Yakushev<sup>2,3</sup>, V. S. Arkhipkin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University

<sup>2</sup>Shirchov's Institute of Oceanology RAS

<sup>3</sup>The Norwegian Institute for Water Research (NIVA)

*zagovenkova.nastua@gmail.com*

Ключевые слова: *Пузырьковый метан, Гидрохимия, Метан, Море Лаптевых, Сипы, Эмиссия, Донные источники*

Keywords: *bubble released methane, hydrochemistry, methane, Laptev Sea, seeps, emission, bottom sources*

Широкое распространение струйных газовыделений, состоящих преимущественно из метана, было впервые обнаружено в Черном море. Дальнейшие исследования показали, что метановые сипы распространены так же в Азовском, Каспийском, Японском морях, морях Восточной Арктики (море Лаптевых, Восточно-Сибирское море, Чукотское море). Обширные площади небольших глубин шельфовой зоны (до 50 м), а также наличие большого количества деградирующей вечной мерзлоты делают моря восточной Арктики наиболее интересными для изучения влияния роли метана на гидрохимические условия вод. Помимо влияния на pH среды, метан способен быстро проникать в клетки живых организмов и является токсичным для большинства видов рыб.

Для количественной оценки поступления метана в толщу воды от пузырькового сипа была разработана математическая модель [1], основанная на уравнении состояния идеальных газов, учитывающая термохалинную структуру вод [2]. Входными данными для расчетов являются: начальная глубина сипа, средние климатические данные World Ocean Atlas NOAA по температуре и солености, а также рассчитанные по всей водной толще значения фоновых концентраций метана [3]. Для подсчета интегрального потока метана диапазон пузырей, встречающихся в природе был разделен на размерные классы. Для каждого размерного класса был произведен расчет динамических характеристик по мере удаления пузыря от донного источника, что в дальнейшем позволило осуществить расчет общего потока метана от на стандартных горизонтах (через 1 м).

Было установлено, что при подъеме с небольших глубин эволюция динамических характеристик происходит под влиянием, главным образом, двух процессов: диффузионного оттока газа в водную толщу и изменением гидростатического давления, большая часть метана способна поступать в атмосферу. Наибольшие значения потока метана в водную толщу наблюдаются непосредственно у дна, далее он постепенно снижается за счет уменьшения диффузионного оттока и растворения пузырей, имеющих минимальный радиус. Несмотря на это, пузырьковый поток метана способен оказывать значительное влияние на гидрохимические условия над сипом, повышая общее содержание метана в воде.

Следовательно, явление струйных газовыделений представляет собой важный средообразующий фактор, обеспечивающий существенно более быстрый, по сравнению с диффузионным переносом, механизм поступления природного метана из литосферы в гидросферу и атмосферу. Количественная оценка пузырькового метана в морских экосистемах при помощи представленной методики может быть применена практически к любой акватории, что делает ее пригодной для дальнейшего использования в биогеохимических моделях акваторий [4-6].

**Литература**

1. Архипкин В.С. Алгоритмы и программы на Фортране по обработке океанологической информации // Московский Университет, Москва, 1992.
2. Leifer I., Patro R.K. The bubble mechanism for methane transport from the shallow sea bed to the surface: A review and sensitivity study // *Cont. Shelf Res.* 2002. 22. pp. 2409–2428.
3. Reeburgh W.S. Oceanic Methane Biogeochemistry // *Chem. Rev.* 2007. 107. pp. 486–513.
4. Yakushev E.V., Protsenko E.A., Bruggeman J., Wallhead P., Pakhomova S.V., Yakubov S.Kh., Bellerby R.G.J., Couture R.-M. Bottom RedOx Model (BROM v.1.1): a coupled benthic–pelagic model for simulation of water and sediment biogeochemistry // *Geosci. Model Dev.* 2017. 10. 453–482. doi:10.5194/gmd-10-453-2017, 2017.
5. Butenschon M. et al. ERSEM 15.06: a generic model for marine biogeochemistry and the ecosystem dynamics of the lower trophic levels // *Geosci. Model Dev. Discuss.* 2015. V. 8. №. 8. pp. 7063–7187.
6. Yakubov S. et al. A 1-Dimensional Ice-Pelagic-Benthic transport model (IPBM) v0. 1: Coupled simulation of ice, water column, and sediment biogeochemistry.

## АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БУХТЫ ЗОЛОТОЙ РОГ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

А. С. Зубцова, В. И. Петухов, Е. А. Вах, И. Л. Зубцова

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет», Владивосток

### ANALYSIS OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE GOLDEN HORN BAY OF PETER THE GREAT BAY

A. S. Zubtsova, V. I. Petukhov, E. A. Vakh, I. L. Zubtsova  
Far Eastern Federal University, Vladivostok

*lisa-box@mail.ru*

**Ключевые слова:** *загрязнение морских вод, концентрация загрязняющих веществ, предельно допустимые концентрации, индекс загрязнения воды, оценка степени экологического загрязнения.*

**Keywords:** *marine pollution, concentration of pollutants, maximum permissible concentration, the index of water pollution, assessment of the degree of environmental pollution.*

В бухте Золотой Рог, омывающей южное побережье г. Владивостока, длительное время осуществляют деятельность десятки хозяйствующих субъектов. В акваторию бухты поступают стоки портов, ливневой, городской хозяйственно-бытовой канализаций и предприятий, расположенных в прибрежной зоне. При этом, далеко не все предприятия могут обеспечить безопасность окружающей среды и исключить негативное влияние на бухту. [1, 3, 4]. Бухта Золотой Рог признана наиболее загрязненным участком залива Петра Великого [2], что вызывает серьезную озабоченность жителей города, региональных властей и широкой научной общегвенности. Целью нашей работы является анализ экологического состояния бухты Золотой Рог, уровней миграции и накопления загрязняющих веществ и выявление очагов негативного воздействия на бухту.

Ранее проведенные исследования по состоянию воды бухты Золотой Рог [3] показало, что качество вод по индексу загрязнения воды (ИЗВ) за период с 2009 по 2011 гг. изменилось с V класса (грязные воды) до VI класса (очень грязные). Отмечалось кратковременное снижение концентрации нефтеуглеродов (НУ) в воде с последующим увеличением в 2,3 раза к весне 2011 г. (4,6 ПДК). Летом 2011 г. ревышение составило 9,8 ПДК. Средняя концентрация фенолов в 2009 г. составила 1,6 ПДК, меньше уровня 2008 г в 1,8 раз. В последующие годы значительных изменений не отмечено. Среднее содержание тяжелых металлов (ТМ) (меди, свинца, кадмия, железа, цинка, ртути и марганца) в бухте составляло менее 1 ПДК, незначительное превышение ПДК по кадмию отмечалось в 2010 г., а в 2011 г. - по цинку в 1,2 раза. Уровень загрязненности вод бухты хлорорганическими пестицидами (ХОП) за период с 2009 по 2010 гг. существенно не менялся, в 2011 г. концентрации пестицидов группы ДДТ и ДДД возросли, но не превышали ПДК, а концентрация ДДЭ составила 1,3 ПДК. Кислородный режим в водах бухты за исследуемый период был удовлетворительным. В целом, качество вод бухты Золотой Рог за данный период существенно не изменилось, хотя поступление загрязняющих веществ в морскую воду и их накопление в донных отложениях продолжается [3].

Данные, полученные кафедрой Безопасности в чрезвычайных ситуациях и защиты окружающей среды ДВФУ в ноябре 2015 г. в бухте Золотой Рог [4], выявили, что загрязнение НУ наиболее существенно. Установлено, что концентрации НУ в поверхностном слое во изменялась в пределах от 0,049 мг/дм<sup>3</sup> до 0,218 мг/дм<sup>3</sup> (1,0-4,4 ПДК). Также отмечено превышение фонового уровня ХОП в 10 и более раз и высокое содержание в воде и донных отложениях ТМ (Pb, Hg, Cu и др.). Наибольшее значение было отмечено по свинцу - 1,4 ПДК (0,014 мг/дм<sup>3</sup>). Наибольшие концентрации в донных отложениях имели медь 7,49 ДК (262,2 мкг/г) и ртуть 6 ДК (1,81 мкг/г) [4].

Авторами совместно с научным коллективом ДВФУ в 2017 году, так же проводились работы по оценке степени экологического загрязнения б. Золотой Рог. Отбор проб для определения степени загрязнения б. Золотой Рог выполнялся на 18 станциях. Фоновые показатели отбирались на 2 станциях.

Пробы морской воды для измерения гидрологических и гидрохимических показателей отбирались с 18 по 23 мая 2017 г. Процедура отбора производилась согласно требованиям ГОСТ Р 31861-2012, ГОСТ 17.1.5.05-85, ГОСТ 17.1.5.04-81. Пробы воды отбирались батометрами Никсона с поверхностного и придонного горизонтов. Лабораторные исследования проведены ООО «Экоаналитика» и ФГБУ «Приморский УГМС». Кроме того, на каждой станции производилось зондирование профилографом RINKO-profiler (Япония) с датчиками давления, температуры, электропроводности (солености) и мутности.

В ходе исследований отмечены достаточно низкие значения БПК<sub>5</sub> на придонных горизонтах для большинства станций. Анализ образцов морской воды показал, что воды бухты не загрязнены пестицидами, полихлорбифенилами и бензапиреном. Концентрации фенолов (ЗПДК, ПДК=1 мкг/дм<sup>3</sup>), нефтепродуктов (30 ПДК, ПДК=0,05 мг/дм<sup>3</sup>) возрастают в направлении вершины бухты. Для концентраций металлов установлено несколько особенностей. Во-первых, концентрации металлов в водах бухты значительно выше фоновых станциях, где концентрация растворенного железа составила 4 ПДК. Трехкратное превышение ПДК зафиксировано для цинка. Во-вторых, концентрации железа, кадмия, бария и никеля имеют тенденцию к возрастанию в направлении вершины бухты. В-третьих, для большинства металлов (медь, кадмий, свинец, цинк, железо, барий, никель) концентрации придонных горизонтов ниже в сравнении с таковыми для поверхностных горизонтов. Эта особенность не проявляется для алюминия, а для ртути и хрома тенденция обратная. Предположительно это обусловлено сульфатредукцией в донных отложениях, результатом которой является образование сульфид иона. Анализ придонной воды на сероводород показал его наличие на уровне 1 мкмоль/л. Исследованные металлы, за исключением алюминия и хрома, образуют нерастворимые соединения сульфидов.

### Литература

1. Блиновская Я.Ю., С.Ю. Монинец, Д.С. Монинец Современная оценка загрязнения акватории бухты Золотой Рог (Японское море) нефтеуглеводородами //Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. № 7. С. 4 - 8.
2. Ермолицкая М.З. Исследование состояния донных отложений бухты Золотой Рог // Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. № 1. С. 86 - 91.
3. Ермолицкая М.З. Исследование состояния вод бухты Золотой Рог за 2009- 2011 гг. // Сб. науч. тр. по матер. междуна. научно-практ. конф. «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2012». Вып.2. Т. 28. С. 7-8
4. Краснослободцева Е.А., Л.П. Лазарева , Е.А. Тихомирова Оценка экологического состояния бухты Золотой Рог (залив Петра Великого, Японское море) // Океанологические исследования: матер. VII конф. мол. уч. 16-20 мая 2016 г., Владивосток, Россия. 2016. С. 161-164.

## РАЗЛИЧИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ГЛУБИННЫХ ВОД СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ В ЗАПАДНЫХ И ВОСТОЧНЫХ ЧАСТЯХ ШИРОТНОГО РАЗРЕЗА ПО 60°С.Ш.

Н.Р. Ишкильдина

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

## DIFFERENCES OF HYDROCHEMICAL STRUCTURE OF NORTH ATLANTIC DEEP WATERS IN THE WESTERN AND EASTERN PARTS ALONG THE 59.5°N TRANSECT

N.R. Ishkildina

Russian Research Institute of fisheries and oceanography, Moscow

*nursilia.ishkildina@gmail.com*

Ключевые слова: *Северная Атлантика, гидрохимическая структура, биогенные элементы, водные массы, промысловые районы Мирового океана.*

Keywords: *North Atlantic, transatlantic section, nutrients, water masses.*

Субполярная Северная Атлантика представляет собой ключевой район для общей циркуляции вод Мирового океана. Воды теплого Северо-Атлантического течения поступают в Северный Ледовитый океан через проливы между Гренландией, Исландией, Фарерскими и Шетландскими островами. Объем поступающих в Арктику атлантических вод возвращается в Атлантику через систему поверхностных и глубинных течений. Мониторинг структуры океанских вод на трансатлантическом разрезе по 60° с.ш. проводится специалистами Института Океанологии им. П.П. Ширшова РАН при участии коллег из лаборатории гидрохимии ФГБНУ «ВНИРО» с 2000-х годов. Целью этих экспедиционных работ является изучение многолетней изменчивости пространственного распределения гидролого-гидрохимических характеристик в Северной Атлантике. Выполняемый разрез расположен вблизи источников конвективных вод в море Лабрадор и море Ирмингера, а также районов поступления глубинных вод из Арктического бассейна. Данная работа посвящена результатам комплексных работ на трансатлантическом разрезе по 60° с.ш. за период 2005 - 2016 гг.

Всего было выполнено более 850 глубоководных океанологических станций, обработано и проанализировано более 53 тысяч определений. Гидрологические показатели измерялись с помощью океанографического комплекса SBE, отбор проб воды проводился с использованием розетки с батометрами. Определение гидрохимических параметров (содержание растворенного кислорода, фосфатов, силикатов) проводилось в судовой лаборатории сразу после отбора проб воды по стандартным методам [1].

Основные закономерности распределения гидролого-гидрохимических характеристик водных масс в исследуемом районе Северной Атлантики во многом определяются динамикой и распространением вод разного генезиса, а в фотическом слое еще и интенсивностью продукционно-деструкционных процессов. Поступление биогенных элементов в продукционный слой играет решающую роль в формировании биологической продуктивности вод Северной Атлантики.

Содержание биогенных элементов на разрезе изменяется в широких пределах. В поверхностном слое минимальные величины содержания фосфора (0,01  $\mu\text{M}$ ) и кремния (0,01  $\mu\text{M}$ ) были отмечены в верхнем 50-ти метровом слое как в восточной, так и в западной частях разреза, что обусловлено интенсивными процессами фотосинтеза. Пересыщение вод кислородом в поверхностном слое также свидетельствует об активности фитопланктона.

В западной части разреза, в море Ирмингера, на глубине 500 - 1000 м наблюдается промежуточный максимум кислорода (более 6,8 мл/л), что подтверждает факт глубокой конвекции [2, 3]. У побережья Гренландии прослеживается влияние вод Восточно-Гренландского течения с повышенным содержанием кислорода (7 мл/л) и пониженными концентрациями биогенных элементов, которое переносит

холодные арктические воды в субполярную Атлантику. По пониженным концентрациям фосфатов ( $0,94-0,98 \mu\text{M}$ ) в придонном слое (глубины более 3000 м) хорошо прослеживаются холодные и распределенные воды Датского пролива, формирующие Северо-западную глубинную водную массу (СЗГВ) - самый плотный компонент меридиональной циркуляции вод Северной Атлантики [4].

В восточной части разреза, в Исландском бассейне, от поверхности до глубин 200 м распространяются теплые и соленые воды Северо-Атлантического течения. Содержание кислорода изменяется в пределах  $6,0-6,5$  мл/л, а содержание фосфора и кремния в пределах  $0,10-0,86 \mu\text{M}$  и  $0,20-5,60 \mu\text{M}$  соответственно.

На глубинах 500 - 1200 м выделяется зона с минимумом содержания кислорода ( $4,8 - 6,0$  мл/л), что соответствует распространению вод южного происхождения (ЮПВ), которые образуются в результате смешения сильно трансформированных средиземноморских и антарктических промежуточных вод с субполярными водами. Средиземноморская водная масса распространяется на север вдоль европейского склона из Кадисского залива. Антарктическая промежуточная водная масса поступает с Северо-Атлантическим течением и характеризуется максимумом содержания фосфатов ( $1,1 - 1,2 \mu\text{M}$ ). Вдоль восточного склона хребта Рейкьянес распространяется Северо-восточная глубинная водная масса (СВГВ), для которой характерно содержание растворенного кислорода около  $6,3$  мл/л.

В Исландском бассейне на глубинах более 2500 м прослеживается сильно трансформированная Антарктическая донная водная масса (ААДВ), отличительным признаком которой является повышенное содержание кремния ( $16,1-20,7 \mu\text{M}$ ).

Северная Атлантика является одним из самых важных высокопродуктивных промысловых районов Мирового океана. Знание особенностей распределения гидролого-гидрохимических характеристик в этом районе необходимо для понимания как межгодовых, так и многолетних изменений запасов промысловых объектов.

### Литература

1. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового Океана // М.: Изд-во ВНИРО. 2003. 202 с.
2. Bacon S., Gould W., Jia Y. Open-ocean convection in the Irminger Sea // *Geophysical Research Letters*. 2003. V. 30. №5. pp. 1246-1250.
3. Гладышев С.В., Гладышев В.С., Фалина А.С., Сарафанов А.А. Зимняя конвекция в море Ирмингера в 2004 - 2014 гг. // *Океанол.* 2016. Т. 56. №3. С. 353-363.
4. Фалина А.С. Межгодовая изменчивость характеристик водных масс субполярной Северной Атлантики на трансатлантическом разрезе по  $60^\circ\text{с.ш.}$  // *Океанол.* 2005. Т. 45. №4. С. 504-517.

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРКТИЧЕСКОГО БАСЕЙНА В 2013-2015 ГГ.

К. К. Кивва, И. А. Гангнус

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

CHARACTERISTICS OF UPPER LAYER STRUCTURE IN CENTRAL ARCTIC BASIN IN 2013-2015

K. K. Kivva, I. A. Gangn

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»)

*kirill.kivva@gmail.com*

Ключевые слова: *Гидрохимическая структура, тихоокеанские воды, Северный Ледовитый океан, приполюсный район, ледовая база «Барнео», Северный полюс-2015*

Keywords: *Hydrochemical structure, pacific water, Arctic Ocean, polar region, ice camp «Barneo», North Pole-2015*

Арктический бассейн (глубоководная часть Северного Ледовитого океана) - один из самых труднодоступных и суровых, а потому относительно малоизученных районов Мирового Океана. Основные элементы структуры его вод включают верхний слой местного происхождения, слой галоклина, нижележащие слои атлантических и придонных вод. При этом в слое галоклина могут одновременно присутствовать трансформированные воды и тихоокеанского, и атлантического происхождения [1], а также воды, образовавшиеся на арктическом шельфе во время интенсивного льдообразования в полыньях [2]. Поверхностные арктические воды содержат мало биогенных элементов; они имеют низкую солёность (30-33) за счёт поступления и распространения материкового стока и сезонного таяния льда. Атлантические воды галоклина и воды шельфового происхождения имеют солёность порядка 34,2, а трансформированным тихоокеанским водам свойственна солёность около 33,1 [3]. Поэтому последние «внедряются» в верхнюю часть галоклина и в связи с отсутствием турбулентного перемешивания могут распространяться на значительные расстояния. Зачастую они не выделяются по термохалинным характеристикам, но богаты минеральными формами биогенных элементов и содержат мало растворённого кислорода. Возможность поступления тихоокеанских вод на поверхность важна с точки зрения процессов первичного продуцирования [4]. Тихоокеанские воды наблюдали в центральной части Арктического бассейна до 1980-х годов [5] и затем эпизодически в 2003-2005 и 2009-2011 гг. [6]. Цель работы - определение роли различных источников в формировании верхнего слоя водной толщи (0-300 м) в центральной части Арктического бассейна в 2013-2015 гг.

В основу положены гидрохимические материалы, полученные в ходе дрейфа ледовой базы «Барнео» (по 4 станции в апреле 2013 и 2014 гг.) и сезонной станции «Северный полюс-2015» (18 станций в апреле-июле 2015 г.). Ледовая база «Барнео» ежегодно разворачивается в приполюсном районе Экспедиционным центром Русского географического общества. Сезонная дрейфующая станция «Северный полюс-2015» была организована Министерством Природных ресурсов и экологии РФ в виде продолжения дрейфа ледовой базы «Барнео». Пробы отбирали батометром Нискина с 20 горизонтов в пределах верхнего 300-метрового слоя. В поверхностном слое и в верхнем галоклине (0-130 м) вертикальная частота отбора составляла 10 м; ниже - 20-40 м. Химико-аналитические определения растворённого кислорода, кремния, азота нитратов, азота нитритов и фосфора проводили через несколько часов после отбора проб в экспедиционной лаборатории по стандартным методикам.

Во все три года наблюдался слой максимума кремния силикатов в верхней части галоклина, но на большинстве станций в этом слое концентрации кремния были лишь на 1-2  $\mu\text{M}$  выше, чем в соседних слоях. На нескольких станциях 2015 г. соответствующее увеличение концентраций кремния силикатов достигало 3-4  $\mu\text{M}$  и сопровождалось минимумом растворённого кислорода. Все полученные значения фосфора фосфатов и азота нитратов в целом соответствовали атлантическим водам по [7]. В 2013 и 2015

гг. наблюдалось отклонение от N-P-зависимости, характерной для атлантических вод, в сторону зависимости для тихоокеанских вод. В 2015 г. пробы с максимальными значениями концентрации кремния в основном наименее соответствовали атлантическим водам по азоту и фосфору, но их солёность за редким исключением была выше, чем ожидаемая солёность тихоокеанских вод.

В районах дрейфа ледовых баз в 2013-2015 гг. на большинстве станций наблюдались характеристики, не позволяющие с уверенностью говорить о присутствии тихоокеанских вод. То есть, слой галоклина там состоял, главным образом, из вод атлантического происхождения. Лишь несколько станций 2015 г. показали наличие слоя максимума кремния и минимума кислорода с таким сочетанием значений солёности, концентраций азота и фосфора, которое позволяет говорить о вкладе тихоокеанских вод в его формирование. На этих станциях наблюдались более высокие концентрации минеральных форм основных биогенных элементов в поверхностном слое. Это сильно меняло условия минерального питания фитопланктона. По всей видимости, слой максимума кремния в верхней части галоклина на остальных станциях имел иное, не связанное с влиянием тихоокеанских вод происхождение. Возможно, этот кремний является следом растворения створок диатомовых водорослей на верхней части галоклина. Подобный процесс мог происходить в конце вегетационного сезона, предшествовавшего измерениям.

*Натурные измерения выполнялись в рамках темы ФГБУ «ГОИН» 1.5.3.10 «Мониторинг гидролого-гидрохимической изменчивости и криосферных процессов в околополюсном регионе Северного Ледовитого океана» (руководитель - к.ф.-м.н С.В. Писарев).*

### Литература

1. Беляков, Л. Н., Русанов, В. П. (1971). Распределение тихоокеанских вод в Арктическом бассейне по данным определений биогенных элементов. Проблемы Арктики и Антарктики. – Т. 38. – С. 112-115.
2. Aagaard, K., Coachman, L. K., Carmack, E. (1981). On the halocline of the Arctic Ocean. Deep Sea Res. A. Oceanogr. Res. Papers. – Т. 28(6) . – С. 529-545.
3. Jones E.P., Anderson L.G. On the origin of the chemical properties of the Arctic Ocean halocline // J. Geophys. Res.: Oceans. 1986. V. 91(C9). pp. 10759-10767.
4. Русанов В.П., Яковлев Н.И., Буйневич А.Г. Гидрохимический режим Северного Ледовитого океана. Тр. ААНИИ. 1979. Т. 355. 144 с.
5. Swift J.H. The arctic waters. In «The Nordic Seas» (pp. 129-154). Springer, New York, NY, 1986.
6. Alkire M.B., Morison J., Andersen R. Variability in the meteoric water, sea-ice melt, and Pacific water contributions to the central Arctic Ocean, 2000–2014 // J. Geophys. Res.: Oceans. 2015. V. 120(3). pp. 1573-1598.
7. Jones E.P., Anderson L.G., Swift J.H. Distribution of Atlantic and Pacific waters in the upper Arctic Ocean: Implications for circulation // Geophys. Res. Lett. 1998. V. 25. pp. 765–768.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ КИСЛОРОДА И ФОСФАТОВ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ПО НАТУРНЫМ ДАННЫМ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

А. А. Кирилова, К. С. Терентьева, Н. А. Подрезова, О. И. Шевчук  
Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург

THE RESEARCH OF THE VARIATION OF OXYGEN AND PHOSPHATE IN THE EASTERN PART OF THE GULF OF FINLAND ON FIELD DATA IN SUMMER PERIOD

A. A. Kirilova, K. S. Terent'eva, N. A. Podrezova, O. I. Shevchuk  
Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

*kirilova.anastasia.a@gmail.com*

Ключевые слова: *Балтийское море, Финский залив, распределение кислорода, распределение фосфатов, летний период.*

Keywords: *Baltic Sea, Gulf of Finland, oxygen distribution, phosphate distribution, summer period.*

Цель исследования: проследить изменчивость распределения характеристик кислорода и фосфатов в летний период в Финском заливе севернее о. Котлин.

Исходные данные были получены в ходе учебных практик РГГМУ за 10-12.07.2014 г. (12 станций), 21-23.08.2015 г. (14 станций) и 15-17.07.2017 г. (17 станций). Расположение станций неравномерное, что связано с выполнением измерений в дрейфе и запретами на прохождение в определенные районы Финского залива.

В ходе работы были построены разрезы по температуре, содержанию растворенного кислорода и фосфатов на стандартных батиметрических горизонтах (0, 5, 10, 15 м) (рис. 3.5, 3.6, 3.7).

По разрезам температуры хорошо видно, что не во все исследуемые годы (2014, 2015, 2017 гг.) Финский залив прогревается до самого дна, исключением является 2014 г. На поверхности: максимумы температур наблюдаются в восточно-северо-восточном районе исследуемой области, так в 2014 г. 18.30 °С, в 2015 г. 19.25 °С, в 2017 г. 18.97 °С; минимумы температур наблюдаются в западно-северо-западном районе исследуемой области, в 2014 г. 17.24 °С, в 2015 г. 18.28 °С, в 2017 г. 15.70 °С.

Измерения на горизонте 5 м показывают неоднородную картину распределения температур, наиболее высокие значения наблюдаются в 2014 г. в южном районе (17.94 °С), в 2015 г. - северо-северо-западном (19.19 °С), в 2017 г. - северо-восточном (17.90 °С); минимальные значения в 2014 г. достигают 11.30 °С, в 2015 г. - 17.27 °С и располагаются в восточной части, в 2017 г. произошло смещение положения минимального значения на юго-запад и составило 16.65 °С.

На горизонте 10 м: максимальные значения температуры наблюдаются в 2014 г. и 2015 г. в северной части исследуемой области (17.92 °С и 18.61 °С) и в юго-восточной в 2017 г. (16.92 °С). В 2014 г. минимальные значения смещены на юг и очень малы, в остальные года наблюдаются на северо-западе, северо-востоке и не опускаются ниже 15.21 °С.

Анализ вертикального распределения температуры позволяет судить о двухслойном типе стратификации водной толщи в исследуемом районе залива (рис. 3.5, 3.6, 3.8).

Лето 2014 г. выделяется как период с минимальным прогревом относительно 2015 и 2017 гг., где разница температур на поверхности и у дна незначительна. Это связано с тем, что в 2014 г. в большей степени проявлялись сильные колебания температур воздуха - от кратковременно высоких (25 - 30 °С) до гораздо более долговременных низких (7 - 10 °С). В остальные годы больших перепадов температур не наблюдалось, и все колебания происходили относительно оси среднеклиматических значений с небольшими дисперсиями, обеспечивая постоянный, равномерный прогрев всей толщи воды.

Вне зависимости от исследуемого года, наблюдается равномерное распределение кислорода, особенно в поверхностном слое, за исключением 2014 г. Однако, как показано на рис. 3.6б выделяются некоторые горизонты с очагами повышенного содержания растворенного кислорода, например в 2015 г. в северо-западной части на 10 м его значение достигало 8.45 мл/л.

В 2014 г. максимальные значения в поверхностном слое наблюдаются в центральной части исследуемой области, минимальные на её периферии 8.64 мг/л и 6.08 мг/л соответственно.

На горизонте 5 м максимальные значения наблюдаются в центральной части исследуемой области, минимальные значения на северо-востоке в 2014 г. (7.25 мг/л и 2.36 мг/л соответственно). На данном и поверхностном горизонтах 2015 и 2017 гг. не обладают выраженной областью максимумов и минимумов.

На горизонте 10 м максимальные значения сдвигаются к северо-западу, минимальные значения остаются практически на месте в 2015 г. (8.46 мг/л и 5.86 мг/л), а в 2014 г. и 2017 г. выделить области явных очагов максимумов и минимумов не удалось.

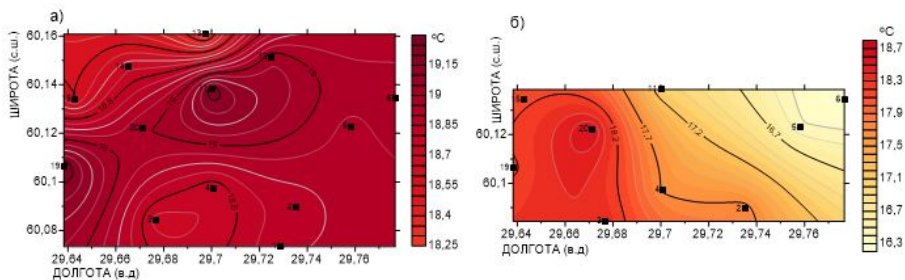
Определен подповерхностный минимум содержания в воде растворенного кислорода на всех станциях во все года (рис.3.6, 3.8).

Содержание фосфатов сильно варьирует на всех горизонтах измерений во все года наблюдений, что, прежде всего, связано с периодом «цветения» воды (массовым развитием микроскопических водорослей) [1]. Так в 2014 г. - на период пика «цветения» воды - содержание фосфатов наблюдается в очень малых концентрациях (на фоновом уровне) от 0.6 мкг/л на поверхности до 2.2 мкг/л на горизонте 10 метров. В 2015 г. - конец «цветения» - наблюдается увеличенное содержание фосфатов на поверхности от 78 мкг/л до 14 мкг/л в северной и центральной частях исследуемой области. На горизонтах 5 и 10 м наблюдается снижение содержания фосфатов от 42 мкг/л на севере исследуемого района до 10 мкг/л у дна (рис. 3.7). В 2017 г. - период спада «цветения» воды - на поверхности наблюдается содержание фосфатов от 6.9 мкг/л до 8.1 мкг/л. На горизонтах 5 и 10 м наблюдается повышение содержания фосфатов, без явных очагов, распространяется на увеличение с юга на север от 15 мкг/л до 31 мкг/л [2].

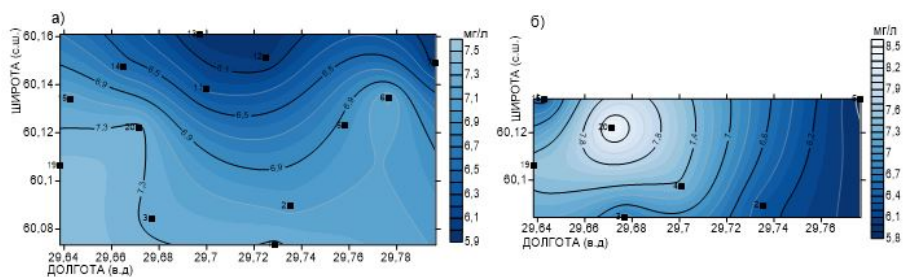
По ходу выполнения данного исследования была прослежена изменчивость распределения характеристик кислорода и фосфатов в летний период в Финском заливе севернее о. Котлин, а также отражена зависимость изменения характеристик согласно условиям наблюдений. Практическая значимость данного исследования состоит в наглядном представлении информации, полученной в ходе учебных практик РГГМУ в 2014, 2015, 2017 гг.

### Литература

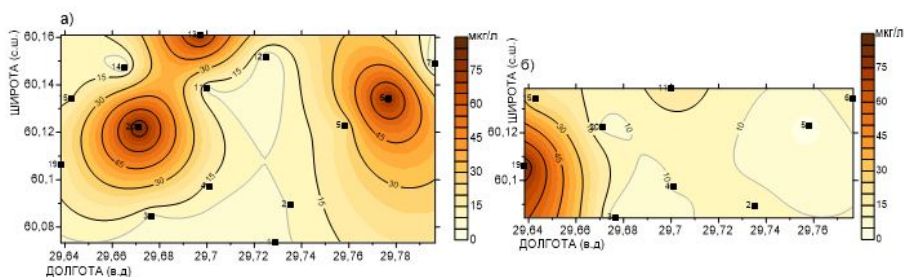
1. Шатрова О.В., Ерёмкина Т.Р., Ланге Е.К. Анализ изменчивости параметров эвтрофирования в Финском заливе по данным натуральных наблюдений // Ученые записки. 2016. № 44. С. 129-140.
2. Зимин А.В., Солощук П.В., Исаев А.В. Особенности течений в восточной части Финского залива по результатам инструментальных измерений в июле 2010 г. // Фунд. и прикл. гидрофизика. 2011. Т. 4. №2. С. 58-65.



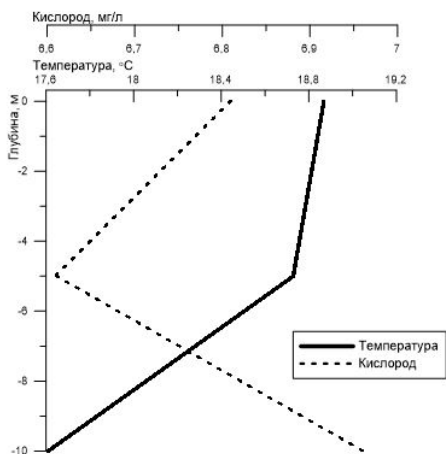
**Рис. 3.5:** Распределение температуры (°C) в поверхностном слое (а) и в слое 10 м (б) по измерениям за 2015 г.



**Рис. 3.6:** Распределение растворенного кислорода (мг/л) в поверхностном слое (а) и в слое 10 м (б) по измерениям за 2015 г.



**Рис. 3.7:** Распределение фосфатов (мкг/л) в поверхностном слое (а) и в слое 10 м (б) по измерениям за 2015 г.



**Рис. 3.8:** Распределение средних значений температуры и растворенного кислорода в воде по измерениям за 2015 г.

# ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДВА ДЕСЯТИЛЕТИЯ

К. В. Кодрян

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва

SPATIAL-TEMPORAL CHANGES OF THE BARENTS SEA ORGANIC MATTER OVER THE LAST TWO DECADES

K. V. Kodryan

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow

*angelloka@yandex.ru*

Ключевые слова: *Растворенное органическое вещество, первичная продукция, пространственно-временная изменчивость, Баренцево море.*

Keywords: *Dissolved organic matter, primary production, spatial distribution, Barents Sea.*

Баренцево море является одним из богатейших промысловых районов Мирового океана. За последние двадцать лет экосистема Баренцева море испытала значительные изменения в условиях меняющегося климата: увеличилось влияние относительно теплых атлантических вод и произошло существенное сокращение площади ледового покрова, что привело к увеличению чистой первичной продукции фитопланктона во всем арктическом регионе, и, в частности, на 28% в Баренцевом море [1].

Органическое вещество (ОВ) является интегральным показателем и зависит от большого количества параметров, таких как продуктивность вод, соотношения скоростей продукционно-деструкционных процессов и величины стока. Концентрации растворенного и взвешенного органического углерода являются репрезентативными показателями содержания растворенного ОВ (РОВ) и взвешенного ОВ (ВОВ), по их величинам можно оценить запасы ОВ и потенциальную биологическую продуктивность морской экосистемы. Анализ изменения пространственно-временного распределения РОВ за этот период позволил провести оценку изменчивости продуктивности моря и обеспеченности пищей его обитателей.

В настоящем исследовании проанализированы биогеохимические данные, полученные в сентябре-октябре 1998, августе - сентябре 2004, июне-июле 2013, августе - сентябре 2016, июле-августе 2017 гг. для разных частей Баренцева моря. В качестве основных биохимических показателей рассматривались концентрация РОВ, его элементный (органический углерод, азот и фосфор) и основной биохимический состав (углеводы, белки, липиды). Полученные результаты указывают на большую пространственно-временную изменчивость концентраций  $C_{Org}$  на исследуемой акватории, причем, как межгодовую, так и сезонную. Например, если в 2004 г. для фотического слоя концентрации РОУ находились в диапазоне от 87 до 245 мкМ/л, со средним значением 156 мкМ/л, то к 2016 г. диапазон значительно расширился от 83 до 664 мкМ/л, возросло также и среднее значение концентраций до 211 мкМ/л  $C_{Org}$ .

Неоднородность концентраций  $C_{Org}$  является не только временной, но и пространственной. В Баренцевом море можно выделить несколько основных активно продуцирующих районов. Во-первых, стоит отметить, что во все года исследований максимальные концентрации  $C_{Org}$  наблюдались в высоких широтах, наибольшие значения (267-392 мкМ/л) были измерены в 2016 г. на разрезе между арх. Шпицберген и арх. Земля Франца-Иосифа. Повышение концентраций растворенного  $C_{Org}$  происходит из-за увеличения чистой первичной продукции за счет значительного освобождения акватории от многолетнего льда, обеспечивающего расширение среды обитания для роста фитопланктона, а увеличение количества дней открытой воды ведет к увеличению продолжительности сезона цветения и увеличению биомассы фитопланктона [1]. По нашим данным северная часть Баренцева моря

является наиболее высокопродуктивной, но при этом характеризуется низкой межгодовой изменчивостью концентраций РОВ, в то время как в районах моря, подверженных влиянию вод атлантического происхождения, а именно в зоне Полярного фронта, наблюдается достаточо большая межгодовая изменчивость, что отмечается и в работах зарубежных коллег, например [2].

Межгодовая изменчивость концентраций и РОУ, и ВОУ, выявленная при сравнении данных одного сезона (август-сентябрь) 2004 и 2016 гг. для области Полярного фронта, вероятно, связана не столько с уменьшением ледового покрова, сколько с увеличением за этот период влияния вод атлантического происхождения [3]. Так, в 2016 г. над Центрально-баренцевоморской банкой был зарегистрирован апвеллинг, который образовался в результате интенсивного проникновения в эту область теплых атлантических вод, что вызвало интенсификацию обмена вода-дно и послужило причиной значительного увеличения концентраций РОУ в столбе воды над банкой.

Наиболее ярко сезонная изменчивость проявляется в зоне Полярного фронта, так как в отличие от данных августа-сентября 2004 и 2016 гг., где в этом районе были обнаружены высокие концентрации  $C_{орг}$ , в июне-июле 2013 г. максимума концентраций  $C_{орг}$  не наблюдалось, а в июле -августе 2017 г. имело место лишь небольшое увеличение концентраций на данной акватории. При этом межсезонная изменчивость в основном связана с интенсивностью продукционных процессов, в то время как межгодовая изменчивость является следствием климатических и гидрологических изменений.

Концентрации  $N_{орг}$  и  $P_{орг}$  также показывают большую изменчивость своих концентраций, хотя это выражено не так ярко как в случае с содержанием  $C_{орг}$ . Интересно, что в 2016 г. по сравнению с данными 1998 г. в высоких широтах моря были получены значительно меньшие концентрации и  $N_{орг}$ , и  $P_{орг}$ . В 1998 г. значения  $N_{орг}$  находились в диапазоне от 1,1 до 38,4 мкМ/л, рг от 0,03 до 0,88 мкМ/л, а в 2016 г.  $N_{орг}$  от 0,7 до 11,3 мкМ/л, а  $P_{орг}$  от 0,01 до 0,21 мкМ/л.

Таким образом, уменьшение ледового покрова арктического бассейна и усиление притока атлантических вод за последние 18 лет значительно увеличило общий запас  $C_{орг}$  в Баренцевом море. За это время изменился не только элементный, но и биохимический состав ОВ: и в растворенном и во взвешенном веществе увеличилось количество белка, вероятно, за счет увеличения биомассы гетеротрофов. Возрос вклад в ОВ продукции на рециклинге биогенных элементов и бактериальной подукции. Все это наряду с распространением дальше на север бореального фито- и зоопланктона обеспечивает высокую кормкость баренцевоморских вод для промысловых гидробионтов.

### Литература

1. Arrigo K.R., van Dijken G.L. Continued increases in Arctic Ocean primary production// Progress in Oceanography. 2015. V.136. pp. 60-70.
2. Reigstad M., Carroll J., Slagstad D., et al. Intra-regional comparison of productivity, carbon flux and ecosystem composition within the northern Barents Sea // Progress in Oceanography. 2011. V.90. P.33-46.
3. Dalpadado P., Arrigo K.R., Hjøllø S.S., et al. Productivity in the Barents Sea - Response to Recent Climate Variability// PLOS ONE 9(5): e95273. doi:10.1371. 2014.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  $^{90}\text{Sr}$  В ВОДЕ СОЛЕННЫХ ОЗЕР  
КРЫМА (2016-2017 ГГ.)

Н. В. Кравченко, Н. Ю. Мирзоева, С. И. Архипова  
Институт морских биологических исследований имени А.О.Ковалевского РАН, Севастополь

COMPARATIVE DISTRIBUTION  $^{90}\text{Sr}$  IN WATER OF SALT LAKES OF CRIMEA (2016-2017)

N. V. Kravchenko, N. Yu. Mirzoyeva, S. I. Arkhipova  
A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS, Sevastopol

*musyaka8@rambler.ru*

Ключевые слова: *Sr-90, Крым, солёные озера, Чёрное море, авария на Чернобыльской АЭС*

Keywords: *Sr-90, Crimea, salt lakes, Black sea, The Chernobyl accident*

Радиоактивное загрязнение водных экосистем, расположенных как вблизи места взрыва после аварии на ЧАЭС 1986 г., так и значительно удалённых от него, связано с выбросом в атмосферу и ветровым переносом радиоактивных продуктов и аэрозольных частиц. В мае 1986 г. на поверхность территории Крыма и Чёрного моря выпало 0.3 ПБк  $^{90}\text{Sr}$  [1]. В послеаварийные годы радиоэкологическая ситуация в Крыму определялась вторичным радионуклидным загрязнением, прежде всего  $^{90}\text{Sr}$ , со стоками рек, преимущественно Днепра, хроническим радиоактивным загрязнением, в основном за счёт водопользования из Северо-Крымского канала (СКК) до 2014 г. [1, 2]. Первые определения содержания послеаварийного  $^{90}\text{Sr}$  в воде озер Крыма были выполнены в 2013 г. на гиперсолёных озерах Перекопской группы, при этом показано, что концентрация  $^{90}\text{Sr}$  от озера к озеру существенным образом менялась [3].

Представленные в данной работе результаты исследования являются актуальными, так как восполняют пробел в изучении концентрации и перераспределении  $^{90}\text{Sr}$  в водных экосистемах солёных озерах Крыма.

Целью исследования было выполнить сравнительный анализ распределения концентраций  $^{90}\text{Sr}$  в воде 10 солёных озерах Крыма по материалам отбора проб в экспедициях 2016-2017 гг.

Объектами исследования были озера Перекопской группы (оз. Красное, оз. Киятское, оз. Кирлеутское), Тарханкутской группы (оз. Бакальское, оз. Джарылгач), Евпаторийской группы (оз. Сасык-Сиваш, оз. Кызыл-Яр), Керченской группы (оз. Акташское, оз. Тобечикское, оз. Чокракское), карта отбора проб представлена на рис. 3.9

Отмечено (рис. 3.10), что в водоемах, солёность которых превышала черноморскую, как в 2016, так и в 2017 гг., наблюдалось превышение концентрации  $^{90}\text{Sr}$  в диапазоне 2.7-44.7 и 6.5-42.0 раз соответственно, по сравнению с таковой для Чёрного моря. При ранжировании концентрации  $^{90}\text{Sr}$  в солёных озерах Крыма было выявлено, что в 2016 г. наибольшая концентрация была в оз. Сасык-Сиваш, наименьшая - в оз. Кызыл-Яр. К 2017 г. при сохранении наименьшей концентрации в оз. Кызыл-Яр, наибольшая концентрация наблюдалась в оз. Красном. Такое различие в распределении  $^{90}\text{Sr}$  в исследуемых объектах зависит, прежде всего, от источников поступления этого радионуклида в солёные озера Крыма, особенностей перераспределения в экосистемах исследуемых водоемов [4].

В 2016 г. и в 2017 г. в исследуемых объектах прямой корреляции концентрации  $^{90}\text{Sr}$  от солёности воды не наблюдалось (рис. 3.12). Однако, в солёных озерах отдельных групп (Перекопской, Тарханкутской, Евпаторийской) отмечалась зависимость увеличения концентрации  $^{90}\text{Sr}$  от солёности водной среды, как в 2016 г., так и в 2017 г. (рис. 3.11).

Известно что, содержание NaCl (свыше 70 % в общей сумме солей) [5], как и хлориды других щелочных металлов, способствует растворимости стронциевых солей.

В связи с этим, из полученных нами результатов следует, что уровень солёности влияет на распределение  $^{90}\text{Sr}$  в водной толще исследуемых объектов, тогда как на величину концентрации этого искусственного радионуклида, вероятно, влияют источники его поступления в солёные озера Крыма [4].

*Работа выполнена при поддержке РФФИ - грант № 16-05-00134.*

## Литература

1. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию. Под ред. Г.Г. Поликарпова, В.Н. Егорова. ИнБЮМ Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 667 с.
2. Водная блокада Крыма ударила по самой Украине. 2017. <http://forpost-sevastopol.ru/social/item/11648-vodnaya-blokada-kryma-udarila-po-samoj-ukraine>
3. Mirzoyeva N., L. Gulina, S. Gulin, O. Plotitsina, A. Stetsuk, S. Arkhipova, N. Korkishko, O. Eremin Radionuclides and mercury in the salt lakes of the Crimea // Chin. J. Oceanol. Limnol. 2015. V. 33. No. 6. pp. 1413-1425.
4. Мирзоева Н.Ю. Вклад водной системы Северо-Крымского канала в транспорт радиостронция в солёные озёра Крыма // Морские биологические исследования: достижения и перспективы: в 3-х т.: сб. мат. Всерос. науч.-практ. конф. с межд. уч., приуроч. к 145-летию Севастопольской биологической станции (Севастополь, 19-24 сентября 2016 г.) / под общ. ред. А.В. Гаевской. - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 3. С. 152-155.
5. Понизовский А.М. Соляные ресурсы Крыма. Симферополь: Крым, 1965. 164 с.



Рис. 3.9: Карта-схема отбора проб из соленых озер Крыма



Рис. 3.10: Ранжирование концентрации  $^{90}\text{Sr}$  (от меньшего к большему значению) в воде соленых озер Крыма 2016 г. (а) и 2017 г. (б)

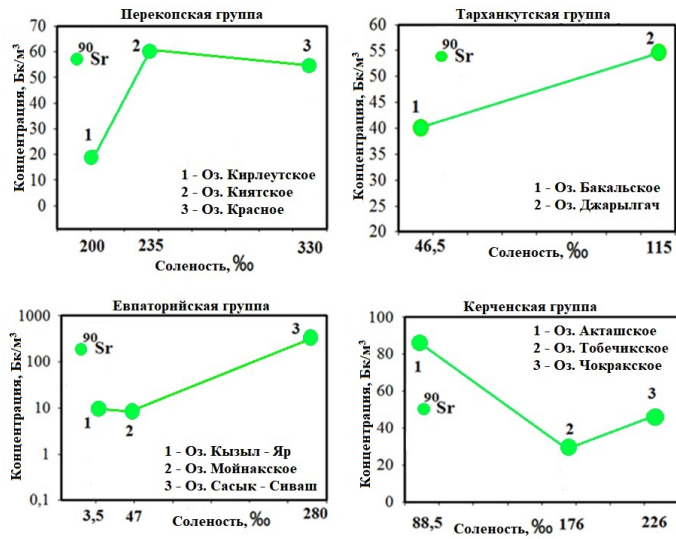


Рис. 3.11: зависимость концентрации <sup>90</sup>Sr от солёности волной среды в солёных озерах из различных групп (2016 г.)

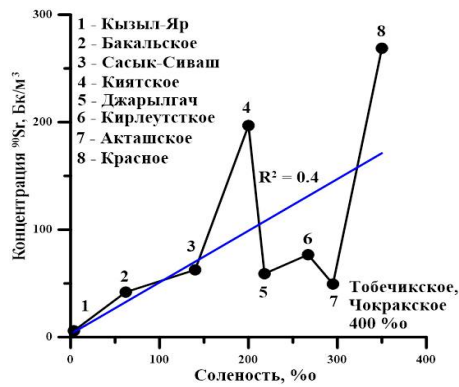


Рис. 3.12: Зависимость концентрации <sup>90</sup>Sr от солёности водной среды



## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ В 2017 Г.

Ю. С. Куринная, Ж. В. Геворкян, А. И. Евсева  
ФГБНУ «Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства», Ростов-на-Дону

POLLUTION BY HEAVY METALS OF THE BLACK SEA WATER IN 2017

Yu. S. Kurinnaya, Zh. V. Gevorkyan, A. I. Evseeva  
FSBSI «Azov Research Institute for fisheries», Rostov-on-Don

*Kurinnaya-jul@yandex.ru*

Ключевые слова: *тяжелые металлы, загрязнение, атомная абсорбция, предельно допустимая концентрация*

Keywords: *heavy metals, pollution, atomic absorption spectroscopy, maximum permissible concentration*

Тяжелые металлы относятся к числу высокотоксичных распространенных веществ, способных к накоплению в живых организмах [1]. Тяжелые металлы (ТМ) широко применяются в различных промышленных производствах, поэтому их содержание в воде довольно высокое, несмотря на различные очистительные мероприятия. Основными источниками загрязнения ТМ служат сточные воды промышленных предприятий и сельскохозяйственных угодий. Соединения металлов являются компонентами топлива водного транспорта (например, тетраэтилсвинец), входят в состав удобрений и пестицидов (например, гранозан). Значительный вклад в загрязнение акватории Черного моря ТМ вносят хозяйственно-бытовые стоки.

В данном сообщении приводятся основные результаты загрязнения ТМ Черного моря, полученные в ходе весенне-летнего (май - июнь) и осенне-летнего (август - сентябрь) периодов исследований 2017 г. В северо-восточной части Черного моря мониторинг проводился на 25 станциях, в акватории Крымского полуострова - на 9 станциях на 3-х контрольных горизонтах (поверхностный, 10 м, придонный). Оценка содержания ТМ в пробах воды дана по 8 наиболее распространенным и токсичным элементам-загрязнителям (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cr, Cd). Измерения концентраций ТМ в пробах проводились по разработанному в ФГБНУ «АзНИИРХ» и аттестованному на федеральном уровне методикам (методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией и в «холодном паре») [2, 3]. Все измерения проводились в Аналитическом испытательном центре ФГБНУ «АзНИИРХ» (лаборатория аналитического контроля водных экосистем).

Результаты исследований водной толщи северо-восточной части Черного моря показали превышение ПДК железа в 1,2 - 3,6 раза в весенне-летний период (участок от Керченского пролива до Адлера) и в 2,4 раза в осенне-летний период (Анапская банка). В акватории Крымского полуострова концентрации железа превысили ПДК в 1,4 и 1,2 раза в весенне-летний период (по траверзу мыса Меганом), в осенне-летний период превышение в 1,8 раза зафиксировано по траверзу мыса Сарыч. Концентрации ртути в северо-восточной части Черного моря в весенне-летний период превысили ПДК в 1,4 - 5,7 раза (с максимумом в Анапской банке), в осенне-летний период - в 1,4 раза по траверзу устья р. Псеуапсе и в 17 раз в поверхностном горизонте по траверзу устья р. Шахе. В акватории Крымского полуострова в оба сезона наблюдений зафиксировано превышение ПДК ртути: в 6,9 и 3,3 раза, соответственно. В весенне-летний период в северо-восточной части Черного моря наблюдалось превышение ПДК цинка в более чем в 2 раза (по траверзу мыса Панагия), а в осенне-летний период - в 18 раз (по траверзу Абрусского полуострова). В акватории Крымского полуострова по траверзу мыса Опук в весенне-летний период наблюдалось превышение ПДК цинка в 1,9 раза. В северо-восточной части Черного моря в оба сезона наблюдений зафиксировано превышение ПДК марганца в 3,7 и 5 раза (Анапская банка). Единичный случай превышения ПДК свинца в 1,4 раза зафиксирован в осенне-летний период в северо-восточной части Черного моря (придонный горизонт по траверзу устья р. Псеуапсе). В весенне-летний период концентрации меди превысили ПДК в 1,7 раза (по траверзу мыса Сарыч) и в 1,2 раза

(по траверзу мыса Опук). Концентрации хрома и кадмия в течение всего периода наблюдений были крайне низкими и не превысили установленных рыбохозяйственных нормативов [4].

Таким образом, загрязнённость тяжёлыми металлами обследованной акватории северо-восточной части Чёрного моря в 2017 г. превысила показатели 2016 г. по содержанию железа и цинка в 1,2 раза, марганца и ртути - в 1,3 раза, в районе Крымского полуострова - сохранилась на уровне наблюдений 2016 г. Максимальные уровни суммарного загрязнения морских вод тяжёлыми металлами (до 2,3 - 2,4 ПДК) зафиксированы в осенне-летний период в северо-восточной части по траверзу Абрауского полуострова и устья р. Шахе.

### Литература

1. Мур Дж.В. Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах / Дж.В. Рамамурти Мур. М.: «Мир», 1987. 236 с.
2. Методика выполнения измерений массовых концентраций алюминия, бериллия, висмута, железа, кадмия, кобальта, лития, марганца, меди, мышьяка, никеля, свинца, серебра, стронция, сурьмы, таллия, хрома и цинка в пробах природных (пресных и морских) и очищенных сточных вод методом атомной абсорбции с электротермической атомзацией. Ростов-на-Дону: Вираз, 2005. 18 с. ФР.1.31.2006.01514.
3. Методика выполнения измерений массовой концентрации ртути в водах методом атомной абсорбции в холодном паре. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ГУ ГХИ, 2008. 28 с. РД.52.24.479-2008.
4. Беспмятнов, Г.П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник / Г.П. Беспмятнов. — Л.: «Химия», 1985. 528 с.

# ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ И ЕГО ЭМИССИИ В АТМОСФЕРУ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТРОФНОСТИ ВОД

Т. В. Малахова<sup>1</sup>, Л. В. Малахова<sup>1</sup>, В. Н. Поповичев<sup>1</sup>, Е. В. Линченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь

<sup>2</sup>Филиал Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Севастополь

DYNAMICS OF METHANE CONTENT IN THE SEVASTOPOL BAY AND ITS EMISSION TO THE ATMOSPHERE AS A FUNCTION OF WATER PRODUCTIVITY

T. V. Malakhova<sup>1</sup>, L. V. Malakhova<sup>1</sup>, V. N. Popovichev<sup>1</sup>, Ye. V. Linchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The A. O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS, Sevastopol

<sup>2</sup>Sevastopol Branch of the M. V. Lomonosov Moscow State University, Sevastopol

*t.malakhova@imbr-ras.ru*

Ключевые слова: метан, эмиссия метана в атмосферу, хлорофилл, Севастопольская бухта.

Keywords: methane, methane emission into the atmosphere, chlorophyll, Sevastopol Bay.

Несмотря на то, что микробный метаногенез проходит строго в анаэробных условиях, в верхних слоях Мирового океана, насыщенных кислородом, концентрации  $\text{CH}_4$  часто превышают равновесные значения с атмосферой. Этот феномен принято называть «метановым парадоксом» и он указывает на то, что Мировой океан может являться источником  $\text{CH}_4$  для атмосферы. На данный момент существует несколько объяснений этому явлению. Например, генерация метана в таких анаэробных микронизмах, как конгомераты органических частиц и кишечники зоопланктона, производство  $\text{C}_2\text{H}_4$  в поверхностных слоях воды некоторыми видами синезелёных водорослей, а также микробная деградация метилированных продуктов.

Цель исследований состояла в оценке сезонных изменений содержания метана и его потоков с поверхности воды Севастопольской бухты в атмосферу и в определении влияния трофности вод на концентрацию метана.

Исследования проводили в Севастопольской бухте в 2017 г. в июне при температуре воды ( $T$ )  $23,4^\circ\text{C}$  и скорости ветра ( $U$ )  $2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , августе ( $T=26,2^\circ\text{C}$ ,  $U=2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ) и ноябре ( $T=14,1^\circ\text{C}$ ,  $U=4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ). В поверхностном слое воды были определены: концентрация  $\text{CH}_4$ , содержание взвешенного вещества ( $\text{C}_{\text{взв}}$ ), концентрация хлорофилла  $a$  в сумме с феопигментами ( $\text{TChl}_a$ ), первичная продукция (ПП), а также рассчитаны потоки метана с поверхности воды в атмосферу. Содержание  $\text{CH}_4$  в воде измеряли методом фазово-равновесной дегазации на газовом хроматографе HP 5890 с пламенно-ионизационным детектором [1], расчет эмиссии из воды в атмосферу проводили по описанной методике [2]. Концентрацию фотопигментов определяли спектрометрическим методом по ГОСТ 17.1.4.02-90. Первичную продукцию измеряли радиоуглеродным ( $^{14}\text{C}$ ) методом.

Пространственное распределение метана в поверхностных водах Севастопольской бухты имело эстуарный характер: концентрация метана уменьшалась в направлении открытого моря (рис. 3.13). Так, в августе максимальные значения  $\text{CH}_4$ , составляющие  $117 \text{ нмоль}\cdot\text{л}^{-1}$ , наблюдались в кутовой части бухты, а минимальные  $40 \text{ нмоль}\cdot\text{л}^{-1}$  - в открытой части акватории. Высокие концентрации  $\text{CH}_4$  также были отмечены в антропогенно нагруженной б. Южной.

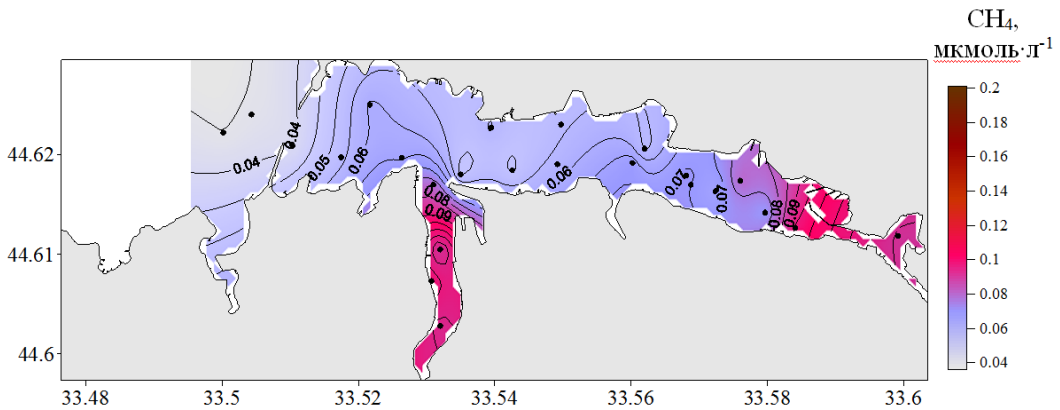
Установлено, что за период наблюдений в 2017 г. минимальные концентрации метана в воде Севастопольской бухты были в июне, максимальные - в ноябре. Также в ноябре наблюдали максимальные концентрации  $\text{TChl}_a$ . Средние значения  $\text{TChl}_a$  в бухте осенью превышали более чем в 2 раза концентрации  $\text{TChl}_a$ , измеренные в июне и в августе (табл. 1). Коэффициент корреляции между концентрацией  $\text{CH}_4$  и  $\text{TChl}_a$  в воде Севастопольской бухты для всего периода исследований составил  $0,67$ , а между  $\text{CH}_4$  и ПП -  $0,59$ , тогда как корреляции между концентрацией взвешенного вещества ( $\text{C}_{\text{взв}}$ ) и метаном не наблюдалось ( $R=0,09$ ). Предполагается, что причина зависимости между содержанием  $\text{CH}_4$  и показателями трофности может быть связана с микробной деструкцией метилированных

продуктов метаболизма фитопланктона [3, 4]. Другая гипотеза состоит в том, что метаногенные археи закрепляются на поверхности клеток фитопланктона [5].

Эмиссия метана из воды Севастопольской бухты в атмосферу в июне в среднем составляла 17, в августе - 22, а в ноябре - 112  $\text{мкмоль}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$  (см. 3.14 – табл. 1). С учетом погодных условий расчетное время оборота растворенного метана в воде Севастопольской бухты за счет эмиссии составило 37, 33 и 12 ней для июня, августа и ноября, соответственно.

### Литература

1. Большаков А.М., Егоров А.В. Об использовании методики фазоворавновесной дегазации при газометрических исследованиях // *Океанология*. 1987. 27. № 5. С. 861-862.
2. Wanninkhof R. Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean revisited // *Limnol. Oceanogr.: Methods* 12. 2014. pp. 351-362.
3. Borges A.V., Speeckaert G., Champenois W., Scranton M.I., Gypens N. Productivity and temperature as drivers of seasonal and spatial variations of dissolved methane in the southern bight of the North Sea // *Ecosystems*. 2017. pp. 1-17.
4. Zindler C., Bracher A., Marandino C.A., Taylor B., Torrecilla E., Kock A., Bange, H. W.: Sulphur compounds, methane, and phytoplankton: interactions along a north-south transit in the western Pacific Ocean // *Biogeosciences*. 10. 2013. pp. 3297-3311.
5. Grossart H-P., Frindte K., Dziallas C., Eckert W., Tang K.W. Microbial methane production in oxygenated water column of an oligotrophic lake // *Proc Nat Acad Sci USA*. 108. 2011. pp. 19657-61.



**Рис. 3.13:** Карта распределения метана в верхнем слое воды Севастопольской бухты в августе 2017 г.

Сезон	CH <sub>4</sub> , <u>нмоль·л<sup>-1</sup></u>	SR, %	Поток CH <sub>4</sub> из воды в атмосферу, <u>мкмоль·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup></u>	ПП, мг С·м <sup>-3</sup> ·сут <sup>-1</sup>	<u>C<sub>взв</sub></u> , мг(сух)·л <sup>-1</sup>	<u>TChl<sub>a</sub></u> , мкг·л <sup>-1</sup>
Июнь	<u>55</u> 17-92	<u>2187</u> 673-3621	<u>17</u> 5-28	<u>243</u> 65-418	<u>3,0</u> 2,0-4,8	<u>2,3</u> 0,2-4,6
Август	<u>64</u> 22-122	<u>4803</u> 1556-8653	<u>22</u> 6-40	<u>317</u> 197-580	<u>2,5</u> 1,3-5,6	<u>1,9</u> 0,8-3,6
Ноябрь	<u>114</u> 2-210	<u>3698</u> 61-6814	<u>112</u> 0-209	—*	<u>2,5</u> 2,2-2,8	<u>5,4</u> 1,9-9,2

**Рис. 3.14:** Таблица 1 – Содержание CH<sub>4</sub> в поверхностной воде, степень насыщения метаном поверхностной воды (SR), поток CH<sub>4</sub> из воды в атмосферу, первичная продукция (ПП), концентрация взвешенного вещества (C<sub>взв</sub>), концентрация хлорофилла а в сумме с феопигментами (TChl<sub>a</sub>) для Севастопольской бухты в июне, августе и ноябре 2017 г. (в числителе – средние значения; в знаменателе – диапазон значений)

# ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ХИМИКО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТКАНЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА СОДЕРЖАНИЕ МЕТАЛЛОВ

К. А. Моисеева

Общество с ограниченной ответственностью «Фертоинг», Санкт-Петербург

PROBLEMS OF CHEMICAL-ANALYTICAL STUDIES TISSUES OF BIOLOGICAL OBJECTS ON  
THE CONTENT OF METALS

K. A. Moiseeva

Fertoing Limited, Saint-Petersberg

*k.moiseeva@fertoing.ru*

Ключевые слова: *экологический мониторинг, исследование, бентос, пробоподготовка, анализ*

Keywords: *ecological monitoring, research, benthos, sample preparation, analysis*

Мониторинг качества компонентов окружающей природной среды в результате активизации добычи углеводородного сырья на шельфе в настоящее время приобретает все большую актуальность. Основными компонентами мониторинга являются: морская вода на различной глубине, донные отложения, а также фитопланктон, включая первичную продукцию, зоопланктон, ихтиопланктон, бактериопланктон, макрозообентос [1]. Представители фауны обследуемых районов преимущественно анализировались на видовой и групповой состав. Тем не менее, за последние несколько лет появилась тенденция проведения химико-аналитических исследований тканей организмов ихтиофауны и макрозообентоса на содержание металлов.

Проблемой проведения пробоподготовки образцов гидробионтов для дальнейшего количественного химического анализа состава примесей тканей гидробионтов с применением метода атомной абсорбции в настоящее время активно занимается ряд научно-исследовательских организаций. В качестве основной методики пробоподготовки образцов тканей гидробионтов используется методика разложения органических структур в среде концентрированной азотной кислоты. Применение азотной кислоты препятствует образованию осадков катионов металлов и мышьяка.

Отбор проб проводился с применением дночерпателя Ванвина. Образцы макрозообентоса отбирались с помощью промывочного столика. В процессе промывания организмов макрозообентоса с применением промывочного столика было выявлено отклонений в структуре организмов, отсутствовали паталогические изменения внешних контуров и оболочек, не наблюдалось присутствия постороннего запаха или включений [2].

Применение соляной кислоты было выбрано частично в качестве индикатора для определения наличия катионов металлов, а также органических комплексонов, которые могут образовывать нерастворимый осадок. Перед проведением анализа каждая проба была отфильтрована через мелкопористый мембранный фильтр. Результаты проведения эксперимента следующие:

1. Максимальное извлечение ( $\gg 100\%$ ) металлов из органической фазы достигалось при кипячении в установке микроволнового разложения при добавлении 4,0 мл концентрированной азотной кислоты.
2. Высокая степень извлечения ( $\gg 99,6\%$ ) была получена при выдержке в муфельной печи на протяжении 6 часов при добавлении 6,0 мл концентрированной азотной кислоты.
3. Степень извлечения 92 % была достигнута при кипячении в микроволновой установке разложения при добавлении 3,0 мл концентрированной азотной и 1,0 концентрированной соляной кислот. Данная проба характеризовалась наличием муности, что свидетельствовало о недостаточной степени растворения органического материала.

4. Минимальная степень извлечения (86 %) была получена при выдержке в муфельной печи на протяжении 4 часов при добавлении 3,0 мл концентрированной азотной и 1,0 концентрированной соляной кислот

Полученные результаты указывают, что большую степень извлечения металлов из органо-минеральных комплексов тканей гидробионтов обеспечивается при использовании установки микроволнового разложения в присутствии концентрированной азотной кислоты без доступа кислорода воздуха. В настоящий момент целесообразно проводить исследование применимости методов, показавших наиболее полный перевод металла в раствор с целью установления закономерностей взаимодействия растворителя и среды, в которой находится проба в момент разложения. Таким образом, дальнейшие исследования будут включать применение пробоподготовки с 6 мл азотной кислоты при 6-ти часовой выдержке в муфельной печи, 4 мл азотной кислоты при кипячении в установке микроволнового разложения и 3 мл азотной кислоты и 1 мл соляной кислоты при кипячении в установке микроволнового разложения.

Полученные результаты указывают на то, что применение технологии пробоподготовки, которая характеризуется высокой эффективностью извлечения компонентов при исследовании пресноводных организмов, при работе с морскими организмами не позволяет достичь подобных результатов.

### Литература

1. Кузнецов Б.А. Определитель позвоночных животных фауны СССР / Б.А. Кузнецов // М.: Просвещение, 1974. 190 с.
2. Позняковский В.М., О.А. Рязанова, Т.К. Каленик, В.М. Дацун Экспертиза рыбы, рыбопродуктов и нерыбных объектов водного промысла. Качество и безопасность: учеб. пособие под общ. ред. В.М. Позняковского. Новосибирск. Сиб. Университетское изд-во. 2005. 311 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ У ДНА

М. О. Новиков<sup>1</sup>, Е. В. Волощук<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва

ASSESSMENT OF BIOGEOCHEMICAL PROCESSES IN THE SEDIMENTS OF THE BALTIC SEA UNDER CONTRAST REDOX CONDITIONS NEAR THE BOTTOM

M. O. Novikov<sup>1</sup>, E. V. Voloshchuk<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*m\_nowikov@rambler.ru*

Ключевые слова: *биогеохимические процессы, кислородные условия, бентосная модель, Балтийское море.*

Keywords: *biogeochemical processes, oxygen conditions, benthic model, the Baltic Sea.*

Одной из ключевых проблем Балтийского моря является эвтрофирование, вызванное чрезмерным поступлением соединений азота и фосфора в воду из антропогенных источников. Немаловажную роль в развитии этого процесса играют биогеохимические процессы, происходящие на границе вода-донные отложения и определяющие направление потоков биогенных соединений.

Для понимания биогеохимических процессов, протекающих в донных отложениях Балтийского моря при различных окислительно-восстановительных условиях у дна, была применена бентосная модель диагенеза углерода и биогенных соединений CANDI (carbon and nutrient diagenesis) [1]. Модель позволяет получить вертикальные профили биогенных и иных соединений в донных отложениях в любой момент времени. В CANDI учтены процессы седиментации, адсорбции, молекулярной диффузии, биотурбации, биоирригации и химических реакций.

В Балтийском море было выбрано 2 станции с контрастным кислородным режимом придонных вод: SR5 (61° 05,00с.ш., 19°34,78в.д., глубина 124 м) в олиготрофном Ботническом море и BY5 (55°15,16 с.ш., 15°59,16в.д., глубина 89 м) в аноксийном Борнхольмском бассейне.

Входными данными для модели CANDI послужили литературные данные о концентрации биогенных и иных соединений на границе раздела вода-донные отложения, полученные в ходе морских экспедиций в октябре 2008 г. и июне 2009 г. (Ботническое море) [2] и сентябре 2007 г. (Борнхольмский бассейн) [3]. Также данные были взяты из базы данных по Балтийскому морю DAS[4].

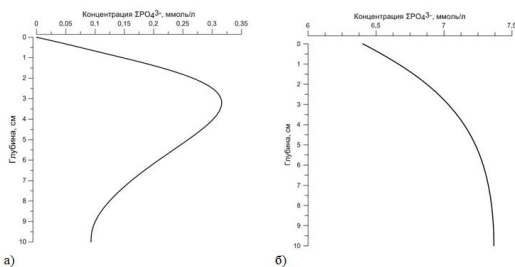
Кроме контрастных кислородных условий станции отличались скоростями осадконакопления, разным соотношением лабильного и устойчивого типов органического вещества, а также наличием организмов, осуществляющих биоирригацию. Расчеты были выполнены на 5 лет вперед.

По результатам модельных расчетов были получены вертикальные профили концентрации фосфатов (рис. 3.15), аммония и нитратов в поровой воде донных отложений. Концентрация фосфатов и аммония в Ботническом море значительно ниже, чем в Борнхольмском бассейне, рост концентрации происходит от поверхности до глубины 3 см в грунтах, что свидетельствует об интенсивной минерализации органического вещества в верхнем слое. Были рассчитаны запасы биогенных соединений в слое 0-10 см, соотношение запасов аммония в Борнхольмском бассейне относительно Ботнического моря составило 36.5:1, а фосфатов 4570:1, что указывает на огромное накопление этих соединений в донных отложениях Борнхольмского бассейна, которое происходило, по всей видимости, вследствие анаэробного окисления органического вещества и разрушения комплекса Fe-P в аноксийных условиях с последующим его выходом в поровую воду. Вместе с тем, запасы нитратов на обеих станциях практически одинаковы.



## Литература

1. Волощук Е.В., Еремина Т.Р., Рябченко В.А. Моделирование биогеохимических процессов в донных отложениях в восточной части Финского залива с использованием диагенетической модели // *Фунд. и прикл. гидрофизика*. 2015. Т. 8. №4. С. 106-113.
2. Slomp C.P. et al. Coupled Dynamics of Iron and Phosphorus in Sediments of an Oligotrophic Coastal Basin and the Impact of Anaerobic Oxidation of Methane // *PLOS ONE*. V.8. I.4. pp. 1-13.
3. Lenz C. et al. Are recent changes in sediment manganese sequestration in the euxinic basins of the Baltic Sea linked to the expansion of hypoxia? // *Biogeosci.* 2015. 12. p. 4875-4894.
4. Sokolov A., Wulff F. Data Assimilation System // Baltic Nest Institute. (<http://nest.su.se/das/>).



**Рис. 3.15:** Вертикальные профили концентрации фосфатов в поровой воде донных отложений по результатам модельных расчетов для Ботнического моря (а) и Борнхольмского бассейна (б).

ПРОИСХОЖДЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ ВО ВЗВЕСИ И ОСАДКАХ  
РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЧЕРНОГО МОРЯ

В. Д. Онегина, И. А. Немировская  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

GENESIS OF HYDROCARBONS IN SUSPENDED MATTER AND BOTTOM SEDIMENTS IN  
RUSSIAN WATERS OF THE BLACK SEA

V. D. Onegina, I. A. Nemirovskaya  
P.P.Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*vika-ejevika@list.ru*

Ключевые слова: *нефтяное загрязнение, алифатические углеводороды, полициклические ароматические углеводороды, алканы.*

Keywords: *oil pollution, aliphatic hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons, alkanes.*

Черное море имеет затрудненный водообмен с Мировым океаном, что приводит к тому, что все загрязнения, попадающие в данную акваторию, практически в ней и остаются. Основными зонами экологического риска для Черного моря являются акватории портов, в особенности, где функционируют нефтеналивные терминалы (Севастополь, Новороссийск, Туапсе); Керченский пролив, где регулярно наблюдается повышенная концентрация взвешенного вещества и многочисленные пленочные загрязнения у причалов Таманского перегрузочного комплекса, где происходит перекачка нефти, нефтепродуктов и синтетических масел; районы якорных стоянок вблизи крупных портов, где происходит перевалка грузов с одного типа судов на другие; Геленджикская бухта - полузакрытая акватория вблизи крупного рекреационного центра с инфраструктурой, не соответствующей повышенному туристическому потоку, где происходит сброс ливневой канализации прямо в море и имеется устаревший глубоководный выпуск сточных вод; район Большого Сочи с огромной рекреационной нагрузкой. Все это подтверждается данными многолетнего спутникового мониторинга [1]. В связи с этим, становится очевидной необходимость постоянного наблюдения за современным уровнем нефтяных углеводородов (НУ) в акватории Российского сектора Черного моря. С этой целью проводилось исследование алифатических углеводородов (АУВ), в том числе алканов, и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) во взвеси поверхностного слоя воды и в донных осадках. В ходе исследований было отобрано и проанализировано 166 проб взвеси поверхностного слоя воды и 100 проб донных осадков.

Полученные данные показали, что в изучаемых районах российского сектора Черного моря в 2012-2017 гг. концентрации АУВ в поверхностных водах изменялись от 4 до 238 мкг/л. В центральной части Черного моря содержание АУВ как в поверхностных водах (9-21 мкг/л), так и в донных осадках (23-34 мкг/г), было низким.

В прибрежном районе вблизи г. Геленджик за все время исследований в летний период содержание АУВ в поверхностных водах не превышало уровень ПДК для НУ (50 мкг/л). В донных отложениях концентрации АУВ на станциях, расположенных в открытой части Черного моря, находились на уровне фоновых значений (для песчанистых осадков - 10 мкг/г, для илистых - 50 мкг/г [2, 3]). Высокий уровень АУВ был отмечен на прибрежных станциях в районе порта (до 252 мкг/г). Содержание АУВ в составе  $C_{org} > 1\%$  на данной станции свидетельствует о присутствии нефтяного загрязнения [2]. Также на прибрежных станциях преобладали ПАУ антропогенного генезиса [3]: пирен - над перилено (П/ПЛ=3.1), флуорантен - над фенантреном (ФЛ/Ф=5.6 - 10.0), в отличие, от станций, расположенных в центральной части бухты. Это говорит о том, что источником поступления загрязнения является береговая зона.

В районе Большого Сочи отмечено уменьшение концентраций АУВ с 2013 г. к 2015 г., как в поверхностных водах, так и в донных осадках, связанное с сокращением кратковременного воздействия строительства олимпийских объектов.

В районе Феодосийского залива основным источником поступления АУВ является адвекция азовоморских вод, поступающих через Керченский пролив. В поверхностных водах содержание АУВ достигало 90 мкг/л у м. Чауда. В донных отложениях максимальные концентрации АУВ (80 мкг/г) установлены в илистых осадках в районе Феодосийского порта. На станциях у м. Чауда уровень АУВ находился в пределах 9 - 37 мкг/г, т.е. был значительно повышен, учитывая, что донные осадки здесь представлены песчано-ракушечными отложениями с малой сорбционной способностью и выходами скальных пород, а также высокую динамическую активность водной толщи. В составе ПАУ донных осадков отмечено повышенное содержание флуорантена и пирена. Высокое содержание нафталина (9-28%) указывает на присутствие постоянного источника поступления свежих нефтепродуктов.

В составе алканов поверхностных вод на станции, расположенной у м. Чауда, и в центральной части залива было отмечено плавное распределение гомологов, что свидетельствует об их нефтяном генезисе АУВ ( $CPI_{16-29} = 1$ ). На других станциях доминировали алканы фитопланктона и природные автохтонные соединения, но сглаженное распределение гомологов в высокомолекулярной области может указывать на трансформированные нефтяные соединения ( $CPI_{16-29}=1.1$ ). В донных осадках, отобранных на станциях расположенных у м.Ильи, у м. Киик-Атлама и в прибрежной центральной части залива, в составе алканов доминировали нечетные высокомолекулярные гомологи терригенного генезиса ( $CPI_{16-29}>2.5$ ). На станциях, расположенных у м. Чауда, и на разрезе от м. Киик-Аталама к морю были отмечены выветрелые трансформированные нефтяные соединения, о чем говорит плавное распределение в низкомолекулярной части ( $CPI_{16-29}=1.7$ ). Пики при 17 и 21, свидетельствуют об алканах микробиального происхождения.

*Авторы благодарны П.О.Завьялову, Б.В.Коновалову, М.Д.Кравчишиной, Н.В. Козиной, З.Ю. Реджеповой за помощь в отборе проб, Л.В. Деминой, А.В. Медведевой, Г.А. Сычковой за помощь в проведении анализов.*

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0016), экспедиционные исследования за счет средств РФФ (проект №14-27-00114-П), обработка результатов при частичной поддержке РФФИ (проект № 17-05-00356).*

#### Литература

1. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М: ИКИ РАН, 2016. 334 с.
2. Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир. 2013. 432 с.
3. Readman J.W., Fillmann G., Tolosa I. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea // Mar. Pollut. Bull. 2002. V. 44. pp. 48-62.

# ВЛИЯНИЕ ТАЯНИЯ МАТЕРИКОВОГО ЛЬДА И ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА ХИМИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

М. П. Погожева<sup>1, 3</sup>, А. А. Полухин<sup>1</sup>, Е. В. Якушев<sup>1, 2</sup>, А. А. Ильинская<sup>1, 4</sup>, П. Н. Маккавеев<sup>1</sup>,  
Е. А. Проценко<sup>1, 2</sup>, Ш. Х. Якубов<sup>1</sup>, А. Стаалстрём<sup>2</sup>, М. Норли<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Норвежский институт водных исследований (NIVA), Норвегия

<sup>3</sup>Государственный океанографический институт, Москва

<sup>4</sup>Московский государственный университет, Москва

## INFLUENCE OF THAWING CONTINENTAL ICE AND PERMAFROST ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF WESTERN SVALBARD COASTAL WATERS

M.P. Pogojeva, A.A. Polukhin, E.V. Yakushev, A.A. Ilinskaya, P.N. Makkaveev, E.A. Protsenko, Sh.H. Yakubov, A. Staelström, M. Norley<sup>1</sup>

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow

*pogojeva\_maria@mail.ru*

Ключевые слова: *Арктика, таяние ледника, таяние вечной мерзлоты, биогеохимические свойства морской воды, повышение кислотности, биогенные вещества, Шпицберген.*

Keywords: *Arctic, thawing glacier, thawing permafrost, biogeochemical properties of sea water, acidification, nutrients, Svalbard.*

Целью данной работы было оценить потенциальное влияние таяния материкового льда и вечной мерзлоты на химическую структуру прибрежных вод. Данные были получены в результате совместных российско-норвежских экспедиций весной 2014 г. (16 - 20 марта), летом 2015 г. (17 - 18 июня) и летом 2017 г. (11-17 июня) в прибрежных водах арх. Шпицберген в акватории Темплфьорда (рис. 3.16). В работе участвовали сотрудники Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН (ИО РАН), Государственного океанографического института им. Н.Н.Зубова (ГОИН) и Норвежского института водных исследований (NIVA). Работы проводились в рамках международных проектов «CARSIC» (<http://www.niva.no/carsic>) и «POMPA» (<https://pomproject.wordpress.com/>), поддержанных Научно-Исследовательским Советом Норвегии (RCN). Эти междисциплинарные проекты российско-норвежского научного сотрудничества в Арктическом регионе ориентированы на накопление данных о современном химическом режиме прибрежных вод, состоянии карбонатной системы и биогеохимического состояния среды и сравнение методик исследований. Натурные наблюдения и расчеты показывают, что сокращающийся летний ледовый покров, таяние вечной мерзлоты и увеличивающийся материковый сток в Северный Ледовитый океан могут изменить некоторые процессы в океане, привязанные к балансу углерода и пресных вод [3]. Это, в свою очередь, может повлиять на морскую экосистему высоких широт.

Экспедиции базировалась в г. Лонгйир, откуда участники экспедиций добирались до места отбора проб на снегоходах (в ледовой части фьорда), или на катере в открытой части залива. Отобранный материал в тот же день был проанализирован в лаборатории университета UNIS (г. Лонгйир) в соответствии с принятыми методиками [2, 4-6], пробы на некоторые показатели были законсервированы и отправлены для дальнейшего анализа в лаборатории институтов NIVA, ИО РАН и ГОИН.

Исследования 2014-2015 гг. (рис. 3.17 а, б) демонстрируют влияние вод тающего ледника на гидрохимическую структуру вод фьорда, распределение биогенных веществ и карбонатную систему [7]. Данные 2017 г. дополняют эти исследования информацией о речном стоке и тающей вечной мерзлоте (рис. 3.17 в). Во время последней экспедиции был также поставлен эксперимент, показывающий возможные изменения в составе морской воды, связанные с таянием вечной мерзлоты. Кроме того, был проведен лабораторный эксперимент с породой, слагающей берега фьорда. Как и в случае с анкеритолитовым сланцем, слагающим берега арх. Новая Земля [1], были получены данные о выделении

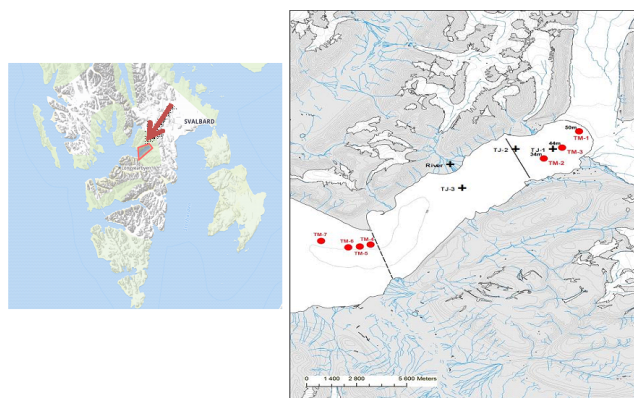
минеральных форм азота, кремния и углерода в воду водотока, протекающего по северному берегу фьорда. Данный процесс может иметь место и на других арктических архипелагах и иметь локальное воздействие на прибрежные экосистемы как дополнительный источник поступления биогенных элементов со стоком малых водотоков в летний период.

Таким образом, во всех экспедициях получены данные, показывающие существенное влияние речного стока, тающих ледников и вечной мерзлоты на биогеохимический режим прибрежных вод. Данные исследования были проведены лишь на одном фьорде Шпицбергена, однако, экстраполируя полученные результаты на весь Арктический регион, можно предположить существенное влияние описанных явлений по всей Арктике.

*Работа проведена при поддержке проектов Норвежского научного фонда (NRC) 227151 «CARSIC - Ocean Acidification in the Arctic: effects of ice», 246752 «POMPA—Pollutants and Carbonate System Parameters in Polar Environmental Media: Snow–Ice–Seawater–Sediments–Coastal Discharge».*

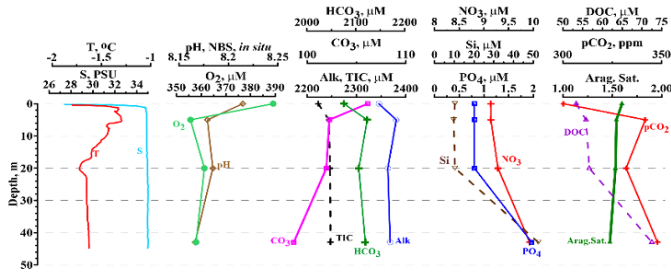
### Литература

1. Маккавеев П.Н., Полухин А.А., Хлебопашев П.В. Поверхностный сток биогенных элементов с берега залива Благополучия (арх. Новая земля) // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 5. С. 610–617
2. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
3. Bates N. R., Mathis J. T. The Arctic Ocean marine carbon cycle: evaluation of air-sea CO<sub>2</sub> exchanges, ocean acidification impacts and potential feedbacks // *Biogeosciences*, 2009, Vol.6. pp. 2433–2459,
4. DOE (1994) Handbook of methods for the various parameters of the carbon dioxide system in sea water; version 2/ Eds. Dickson A.G. & Goyet C., ORNL/CDIAC-74.
5. Hansen, H.P. Determination of oxygen // Eds. Grashoff K., et al. *Methods of Seawater Analysis*. 3d, Completely Revised and Extended Edition. Wiley-VCH, Weinheim, NewYork, Chichester, Brisbane, Singapore, Toronto, 1999. pp. 75–90.
6. Hansen H.P., Koroleff F. Determination of nutrients // Eds. Grashoff K., et al. *Methods of Seawater Analysis*. 3d, Completely Revised and Extended Edition. Wiley-VCH, Weinheim, NewYork, etc., 1999. pp. 149–228.
7. Polukhin A., Yakushev E., Makkaveev P., Protsenko E., Yakubov Sh., Staalstrøm A., Stepanova S., Khlebopashev P., Norli M., Braaten H.-F. Influence of melting glaciers on hydrochemical structure of coastal ecosystem of western Spitzbergen // *EMECS 11 - Sea Coasts XXVI. Joint conf. «Managing risks to coastal regions and communities in a changing world» ABSTRACT BOOK*. Russian State Hydrometeorological University (RSHU), P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (IO RAS), A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 2016. pp. 65.

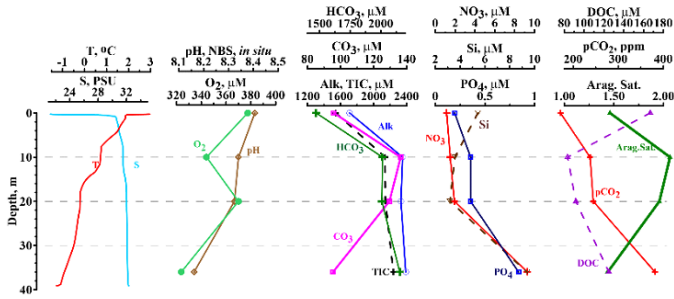


**Рис. 3.16:** Район исследования на карте Шпицбергена и схема станций 2014 г. (красным) и 2015 г. (черным).

А



Б



В

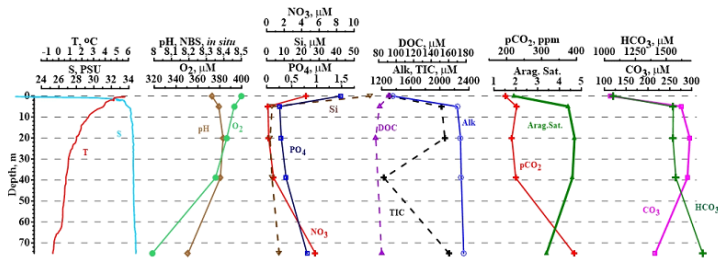


Рис. 3.17: Вертикальное распределение физических и химических параметров в морской воде зимой 2014 г. (А), летом 2015 г. (Б) и летом 2017 г. (В).

# РАЗНОМАСШТАБНАЯ ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД КАРСКОГО МОРЯ

А.А. Полухин, С.В. Степанова  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

TEMPORAL VARIABILITY OF HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE KARA SEA  
WATERS

A.A. Polukhin, S.V. Stepanova  
Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*aleanapol@gmail.com*

Ключевые слова: *Карское море, временная изменчивость, материковый сток, гидрохимическая структура вод, биогенные элементы.*

Keywords: *Kara Sea, temporal variability, continental runoff, hydrochemical structure, nutrients.*

При изучении изменчивости гидрохимических условий вод Мирового океана необходимо уметь оценить изменения, связанные с природными процессами и изменения, происходящие в результате воздействия человека на геохимические циклы в океане. Для этого надо знать основные закономерности и масштабы естественной изменчивости гидрохимических параметров. Сильная изменчивость гидрохимических параметров (особенно, биогенных элементов, растворенного  $CO_2$  и кислорода) в водах приводит к тому, что каждое конкретное определение характеризует только мгновенное состояние системы. Неравномерность распределения наблюдений во времени, несомненно, может сказаться на достоверности получаемой картины распределения их по акватории. Для получения реальной картины пространственного распределения гидрохимических параметров необходимо учитывать их временную динамику.

Изменчивость можно разделить на периодическую и случайную. Естественно, что и изменчивость содержания гидрохимических параметров будет отражать изменения определяющих ее факторов. Совершенно очевидно существование основных циклов временной изменчивости (что, однако, не исключает наличие и других временных циклов): суточного и сезонного (внутригодового). Из непериодических изменений естественной природы можно выделить синоптическую изменчивость. Теоретическая значимость данных исследований заключается в возможности оценки влияния различных природных факторов на изменчивость гидрохимических условий вод Карского моря. Прикладное значение таких исследований состоит в оценке продуктивности верхнего деятельного слоя моря, а также позволяет получить представление о степени воздействия климатических изменений и деятельности человека на состояние морской экосистемы.

Материалом для данной работы послужили рейсы Института океанологии РАН в Карское море в период с 1993 по 2017 гг. В большинстве случаев экспедиция проводилась один раз в полевой сезон, но работы охватывали одни и те же районы (бская губа, Енисейский залив, Новоземельский желоб, южные части отрогов желоба Св. Анны). В последнее время за один полевой сезон удавалось отбирать пробы на одних и тех же станциях с интервалом от десяти дней до месяца, что дало возможность оценить синоптическую изменчивость гидрохимических параметров некоторых районов Карского моря.

Так, по данным экспедиций в августе-сентябре 2014 г. была проведена оценка сезонной изменчивости гидрохимической структуры вод района к западу от п-ова Ямал, находившемуся под воздействием континентального стока [3]. Основными факторами изменчивости являлись биологические процессы при переходе от летнего к осеннему сезону, а также перемешивание поверхностного слоя. В сентябре 2015 г. гидрохимические исследования в Карском море были ограничены западной частью его акватории и склоном шельфа в районе желоба Св. Анны [2]. Повторные измерения на одной из станций с интервалом в 20 суток дали возможность проследить изменчивость гидрохимической структуры вод в районе склона шельфа Карского моря (рис. 3.18). Основной причиной достаточно сильной изменчивости послужил материковый сток, сформировавший опресненную линзу в поверхностном слое моря. При



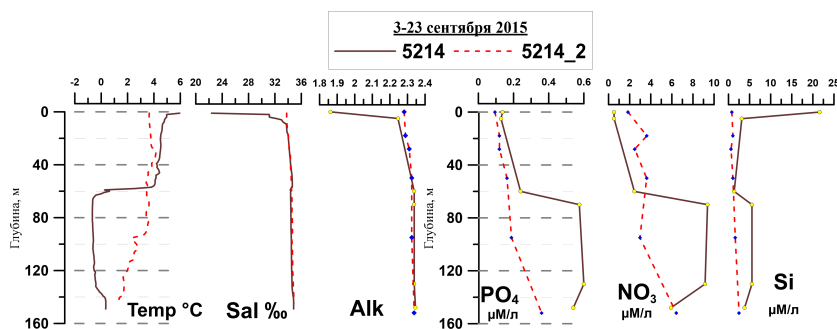
воздействии ветра опресненные линзы могут перемещаться достаточно быстро [1]. В данном случае уход линзы позволил конвективному перемешиванию за период чуть больше двух недель выровнять профили распределения биогенных элементов, что было невозможно при устойчивой стратификации. В 2016 г. исследования проводились в середине июля-начале августа. Станция, на которой удалось проследить синоптическую изменчивость, находилась над бровкой шельфа, акватория которого была слабо подвержена воздействию речного стока (рис. 3.19). При отмеченном выхолаживании верхнего 50 метрового слоя и ослаблении стратификации яркие максимумы биогенных элементов под слоем скачка плотности исчезли за период в 11 суток. На фоне лимитирующих концентраций биогенных элементов в верхнем деятельном слое могли сложиться условия для начала процесса рециклинга - важного эпизода в развитии арктических экосистем и оценке первичной продукции акватории. В конце августа-сентябре 2017 г. изучение изменчивости гидрохимических параметров проводилось на 3х станциях: вне зоны влияния речного стока, на границе фронтальной зоны и в области его влияния. Результаты исследования показали, что вне зоны влияния континентального стока сезонная изменчивость вод Карского моря в безледный период весьма слабая; изменчивость вертикальной гидрохимической структуры в районе фронтального раздела морских и трансформированных речных вод также оказывается весьма невысокой, но позволяет судить о скорости рециклинга азота в верхнем 50 метровом слое; наиболее характерно изменчивость гидрохимической структуры вод выражена в зоне интенсивного влияния речного стока, особенно отчетливо она представлена в слое галоклина, формирующемся под воздействием пресных вод на поверхностный слой.

Таким образом, главными факторами, влияющими на временную изменчивость гидрохимических характеристик вод Карского моря, являются материковый сток, ветровое воздействие и активность биологических процессов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00009 мол\_а.*

### Литература

1. Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В., Поярков С.Г., Соловьев Д.М. Поверхностный опресненный слой в Карском море // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 698–708.
2. Маккавеев П.Н., Полухин А.А., Костылева А.В., Проценко Е.А., Степанова С.В., Якубов Ш.Х. Гидрохимические особенности акватории Карского моря летом 2015 г. // *Океанология*. 2017. Т.57. № 1. С. 67–74.
3. Полухин А.А. Динамика гидрохимических характеристик поверхностного распресненного слоя Карского моря в августе-сентябре 2014 года // *Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований*. М. : АПР, 2015. 320 с. С. 58–61.



**Рис. 3.18:** Вертикальная структура вод в области бровки континентального склона, 2015 г.

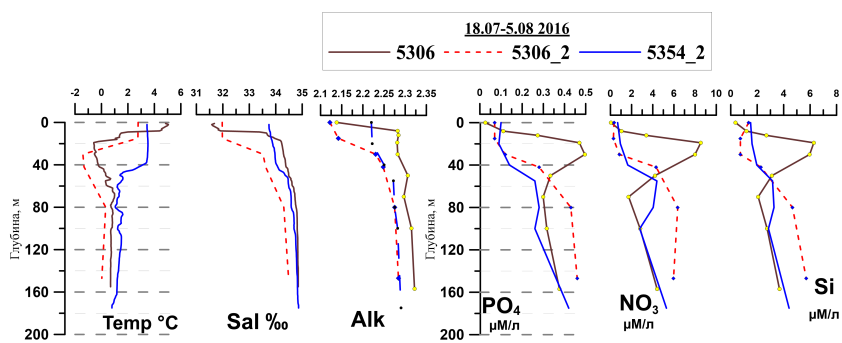


Рис. 3.19: Вертикальная структура вод в области бровки континентального склона, 2016 г.

# ОЦЕНКА ЗАПАСОВ $^{239+240}\text{Pu}$ И $^{238}\text{Pu}$ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГЛУБОКОВОДНОЙ ЗОНЫ ЧЁРНОГО МОРЯ

В.Ю. Проскурнин

Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь

$^{239+240}\text{Pu}$  AND  $^{238}\text{Pu}$  INVENTORIES ESTIMATION FOR THE WESTERN DEEP BLACK SEA BOTTOM SEDIMENTS

V.Yu. Proskurnin

The A.O. Kovalevsky of Marine Biological Research of the RAS, Sevastopol

*v.proskurnin@imbr-ras.ru*

Ключевые слова: Чёрное море,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ , запасы радионуклидов в донных отложениях

Keywords: the Black Sea,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ , radionuclides inventories in bottom sediments.

Основным источником поступления искусственной радиоактивности в Чёрное море были глобальные радиоактивные выпадения в результате испытания ядерного оружия в открытых средах (максимум выпадений пришёлся на первую половину 1960-х гг.) [1]. Вторым по значимости источником искусственных радионуклидов являлись атмосферные выпадения после аварии на Чернобыльской АЭС [2] в мае 1986 г., а также поступление радионуклидов с речным стоком Днепра и Дуная в первые годы после аварии [1]. Оба упомянутых источника содержали широкий спектр продуктов распада и активации ядерных и конструкционных материалов, в том числе изотопы плутония (альфа-излучающие  $^{238,239,240}\text{Pu}$  и бета-излучающий  $^{241}\text{Pu}$ ).

Благодаря наличию сероводородной зоны и педотропному поведению плутония в водных экосистемах донные отложения глубоководной части Чёрного моря следует рассматривать как основное геологическое дно плутония в черноморском бассейне [1]. Это обуславливает актуальность исследования запасов плутония в черноморских донных отложениях, как важной части баланса биогеохимического цикла этого элемента в Чёрном море. Целью настоящего исследования являлось изучение запасов  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  и оценка вклада чернобыльских радиоактивных выпадений в их формирование. Для этого решались следующие задачи: определение вертикального распределения концентраций изотопов  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  и отношения активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  в толще донных отложений западной части глубоководной котловины Чёрного моря; проведение датировки этих отложений по изучаемым изотопам; расчёт запасов определяемых радионуклидов и доли  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  чернобыльского происхождения.

Ранее в 1988 г. в работе [3] был оценён запас  $^{239+240}\text{Pu}$  в юго-западной части моря который составил величину 74 Бк/м<sup>2</sup>. Однако данные о современных запасах  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в северо-западной части котловины Чёрного моря в литературе отсутствуют.

Колонки грунта отбирали мультискером в районе западного циклонического круговорота в котловине Чёрного моря во время 33-ей экспедиции НИС «Maria S. Merian» (Германия) в ноябре-декабре 2013 г., и нарезали с помощью экструдера поворотной конструкции на слои толщиной 2,5-5 мм. Альфа-радиоизотопы плутония определяли по методике разработанной НПО «Тайфун» с использованием полупроводникового альфа-спектрометрического комплекса EG&G Ortec Octete PC. Для датировки донных отложений использовался метод радиоизотопной геохронологической реконструкции загрязнения плутонием, суть которого заключается в изучении вертикального распределения отношения активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  в толще донных осадков [2].

Было обнаружено два хорошо различимых максимума удельной активности  $^{239,240}\text{Pu}$ , один из которых был приурочен слою донных отложений 2,75-3,00 см, а другой - 4,0-4,5 см. Удельная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  в слое отложений 2,75-3,00 см составила  $18,3 \pm 1,9$  Бк/кг, а отношение активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  -  $0,34 \pm 0,06$ . Это позволяет охарактеризовать природу пика концентраций радиоизотопов плутония в слое 2,75-3,00 см как обусловленную преимущественно выпадениями чернобыльских радионуклидов [2] - доля плутония чернобыльского происхождения в этом слое достигала

70%. Удельная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  в слое донных отложений 4,0-4,5 см была равна  $25,5 \pm 3,8$  Бк/кг, при этом отношение  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  составило  $0,035 \pm 0,009$ . Сопоставление изотопных отношений  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ , определённых в профиле донных отложений, с величинами, характерными для основных источников плутония в Чёрном море, позволяет однозначно датировать загрязнение слоя 2,75-3,00 см 1986 г., а слоя 4,0-4,5 см - 1963 г.

Запасы  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в донных отложениях исследуемого района до 1986 г. составляли  $31,4 \pm 2,7$  и  $1,1 \pm 0,2$  Бк/м<sup>2</sup>, а к 2013 году эти величины возросли до значений  $39,4 \pm 2,7$  и  $1,7 \pm 0,2$  Бк/м<sup>2</sup>, соответственно. Относительное увеличение запасов  $^{239+240}\text{Pu}$  после аварии на ЧАЭС составило 20% от доаварийного уровня, а  $^{238}\text{Pu}$  - 34%. Ввиду того, что период полураспада  $^{238}\text{Pu}$  равен 87,7 лет, важно отметить, что 0,2 Бк/м<sup>2</sup> (18%)  $^{238}\text{Pu}$ , накопленного до 1986 года, распалось за период с 1986 по 2013 гг. Таким образом, большую часть (80%) запаса  $^{239+240}\text{Pu}$  к 2013 г. составлял плутоний, накопленный до 1986 г., в то время как лишь 53% запаса  $^{238}\text{Pu}$  в 2013 г. были накоплены в доаварийный период времени. Эта разница отражает более существенный вклад чернобыльских выпадений, с долей  $^{238}\text{Pu}$  на порядок превышающей таковую, по сравнению с глобальными выпадениями, в формирование современных запасов  $^{238}\text{Pu}$ , чем  $^{239+240}\text{Pu}$ . Геохронологическая реконструкция потока депонирования плутония в донные отложения исследуемого района позволяет принять предположение о том, что чернобыльские выпадения вызвали достоверное увеличение потока лишь в 1986 г. и, соответственно, основной вклад в формирование запасов  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  внесли именно в этот период. Таким образом, вклад чернобыльских выпадений в формирование современного (2013 г.) запаса  $^{239+240}\text{Pu}$  был оценён в  $1,6 \pm 0,2$  Бк/м<sup>2</sup> (4%), а  $^{238}\text{Pu}$  в  $0,8 \pm 0,1$  Бк/м<sup>2</sup> (46%) соответственно.

Запасы  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в 2013 г. в донных отложениях северо-западной части котловины Чёрного моря составили соответственно  $39,4 \pm 2,7$  и  $1,7 \pm 0,2$  Бк/м<sup>2</sup>. Было определено, что вклад чернобыльских выпадений в формирование запаса  $^{239+240}\text{Pu}$  составил 4%, а  $^{238}\text{Pu}$  - 46%. Изучены профили распределения  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в донных отложениях исследуемого района. Произведена датировка полученных профилей по определяемым изотопам.

*Работа подготовлена по теме государственного задания ФГБУН ИМБИ «Молекулярно-биохимические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», номер гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2.*

### Литература

1. Поликарпов Г.Г. и др. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 667 с.
2. Gulin S.B., Polikarpov G.G., Egorov V.N et al. Radioactive Contamination of the North-western Black Sea Sediments // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2002. № 54. pp. 541-549.
3. Buesseler K.O., Benitez C.R. Determination of mass accumulation rates and sediment radionuclide inventories in the deep Black Sea // Deep-Sea Research. 1994. V. 11, № 12. pp. 1605-1615.

# ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В КАРСКОМ МОРЕ В ПРИУСТЬЕВЫХ РАЙОНАХ РЕК ОБИ И ЕНИСЕЯ

З. Ю. Реджепова, И. А. Немировская  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

## THE VARIABILITY OF HYDROCARBON DISTRIBUTION IN THE KARA SEA IN THE ESTUARINE ZONES OF THE OB AND YENISEI RIVERS

Z. Y. Redzhepova, I. A. Nemirovskaya  
P.P.Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*rejepova@yandex.ru*

Ключевые слова: *углеводороды, поверхностные воды, взвесь, донные осадки, барьер река-море, Арктика, Карское море, р. Обь, р. Енисей.*

Keywords: *hydrocarbons, surface waters, suspended matter, bottom sediments, the river-sea barrier, the Arctic, the Kara Sea, the Ob River, the Yenisei River.*

Особенно важным для изучения углеводородов (УВ) является зона геохимического барьера, где резко возрастают пространственные градиенты основных термодинамических характеристик по сравнению с их фоновым распределением, и изменяется поведение всех присутствующих в водной толще соединений [1, 2].

Карское море считается относительно нетронутой средой, свободной от углеводородных загрязнений. Тем не менее, рост промышленного производства увеличился в течение последних четырех десятилетий в результате разведки и разработки наземных и морских нефтяных запасов [6]. Влияние р. Обь и р. Енисей является важным фактором, формирующим современное состояние Карского моря и протекающие в нем изменения.

В данной работе приведены результаты исследования алифатических углеводородов (АУВ) во взвеси поверхностного слоя воды и в донных осадках, и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в донных осадках в устьевой области рек Обь и Енисей (рис. 3.20). Цель исследования - изучение происхождения и трансформации УВ в геохимической фронтальной зоне река-море. Материалом послужили пробы, отобранные в 66 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» летом 2016 г., в сопоставлении с данными, полученными ранее.

Определение проводили методами, принятыми при анализе нефтяных и природных соединений: АУВ - методом ИК-спектрофотометрии, ПАУ - высокоэффективной жидкостной хроматографии, *Сорг* - сухого сжигания, взвесь - гравиметрически, состав взвеси - с помощью сканирующего электронного микроскопа, хлорофилла *a* (хл *a*) - флуориметрическим методом [3].

Геохимический барьер река - море (маргинальный фильтр) играет важнейшую роль в судьбе речного стока, т.к. около 93% взвешенных веществ речного стока и около 40% растворенных веществ накапливается на этой границе [2]. Согласно полученным данным максимальное значение концентраций АУВ и их наибольшая изменчивость относятся к устьевой области р. Обь и варьирует от 102 до 3.4 мкг/л, что в 3 раза меньше, чем в 2007 г. - от 310 до 10 мкг/л.

Максимальные значения содержания АУВ в обоих случаях приурочены к коллоидно-дисперсной зоне, где с изменением заряда коллоидных частиц происходит коагуляция взвешенных форм органических соединений (ОС). Концентрация взвеси для данных 2016 г. остается контролирующим фактором при распределении АУВ только при солёности более 5 psu:  $r(\text{взвесь-АУВ})=0.65$  ( $n=6$ ), а в устьевой части разреза эта связь полностью отсутствует. Однако, несмотря на такие высокие концентрации АУВ, состав ПАУ в поверхностных водах в 2007 г. указывал на природное происхождение, т.к. в нем доминировал фенантрен и перилен, имеющий также биогенное происхождение [4]. При этом в донных осадках кутовой части Обской губы установлено доминирование нафталина (25% от суммы ПАУ), что могло свидетельствовать о присутствии нефтяных УВ [5, 6, 7]. Здесь же на присутствие пирогенных

соединений указывало низкое отношение флуорантен/пирена (0.6) при их повышенной доле (64% от суммы ПАУ).

В донных отложениях максимальная концентрация АУВ на разрезе р. Обь была приурочена к алевро-пелитовому илу (ст. 5323\_2) - 42.6 мкг/г, при этом доля АУВ в составе  $C_{орг}$  составила всего 0.3 %. В морских донных осадках фоновые концентрации АУВ обычно ниже 50 мкг/г в илстых и 10 мкг/г в песчаных, а их доля в составе  $C_{орг} \leq 1\%$  [3]. Следовательно, содержания АУВ в донных осадках на данном разрезе оказались фоновыми. В пелагиаль Карского моря поступают сравнительно чистые воды.

На разрезе р. Енисей - Карское море концентрации АУВ во взвеси изменялись в меньшем диапазоне 53.2 - 1.9 мкг/л (2016 г.), чем в устье р. Обь. Наблюдалась незначительная связь содержания взвеси и хл  $a$  с содержанием АУВ. При этом распределение хл  $a$  также слабо зависело от общего содержания взвеси ( $r=0.44$ ), из-за влияния терригенного характера материала речного стока. Только в биологической зоне маргинального фильтра с ростом хл  $a$  происходило также синхронное увеличение концентраций АУВ. Приливно-отливные явления в водах разреза привели к дополнительной изменчивости всех показателей. В июле 2016 г. среднее содержание АУВ и их доля в составе  $C_{орг}$  было выше, чем в 2011 г. - 23.3 мкг/г и 0.20% соответственно, но не превышали фоновых. Концентрирование АУВ в донных осадках, как и в поверхностных водах, происходит в коллоидно-дисперсной области маргинального фильтра.

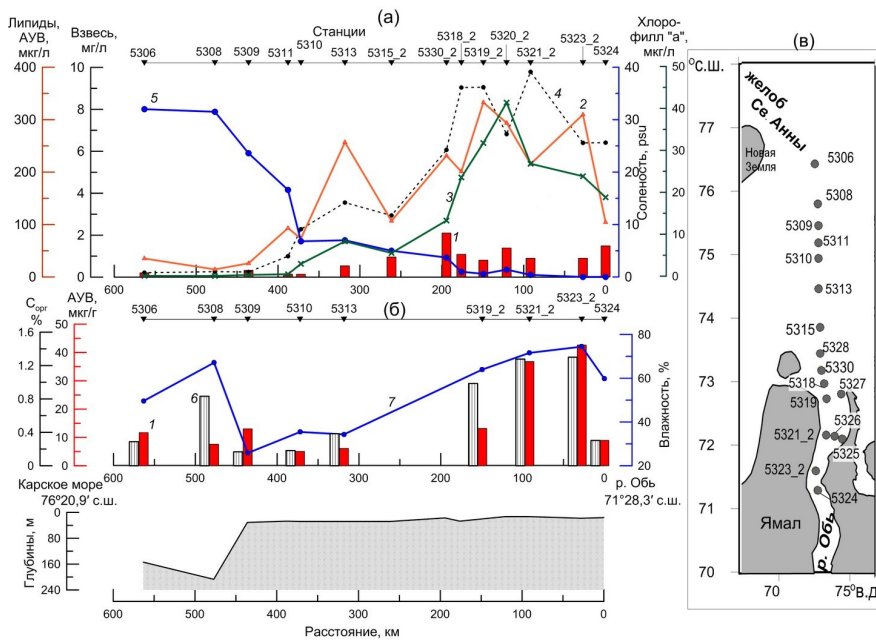
Таким образом, на рассмотренных разрезах река - море распределение УВ подчиняется закономерностям маргинального фильтра. Их аккумуляция в поверхностных водах и в донных осадках происходит в коллоидно-дисперсной зоне, и в пелагиаль поступают сравнительно чистые воды. В поверхностных водах на Обском разрезе в 2016 г. наблюдается сокращение содержания АУВ в 3 раза по сравнению с 2007 г., в то время как на Енисейском разрезе этот показатель особо не изменился и остается на уровне 2011 г.

Авторы признательны чл.-кор. М.В. Флинту за организацию рейса, В.В. Крупской и Н.А. Беляеву за помощь в экспедиции, Г.И. Сычковой, А.В. Храмовой и Л.В. Деминой за помощь в аналитических работах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0016), ПП РАН 1.49 (тема № 0149-2018-0029). Обработка результатов при частичной поддержке РФФИ (проект № 17-05-00356).*

### Литература

1. Емельянов Е.М. Геохимические барьеры и барьерные зоны и их роль в седиментогенезе // Геохимия осадочного процесса в Балтийском море. М.: Наука, 1986. С 5-25.
2. Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер земли. Мировой океан Т.2. М.: Науч. мир, 2014. С. 331-571.
3. Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир. 2013, 432 с.
4. Немировская И.А., Реджепова З.Ю., Трубкин И.П. Трансформация углеводородов в зоне река - море в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 2 (108). С. 64-78.
5. Ровинский Ф.Я., Теплицка Т.А., Алксеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 224 с.
6. AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Persistent organic pollution in the Arctic. -Oslo: AMAP, 2007. - Chapter 4. 87 p.
7. Dahle S., Savinov V., Matishov G.G. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bottom sediments of the Kara Sea shelf, Gulf of Ob and Yenisei Bay // Science of the Environment. 2003. V. 36. pp. 57-71.



**Рис. 3.20:** Распределение на разрезе р. Обь – Карское море в 2016 г: в поверхностных водах во взвеси (а) – АУВ (1), липидов (2), хл (3), взвеси (4) и солености (5) и в донных осадках (б) АУВ (1), Сорб (6) и влажности (7); (в) – схема расположения станций речного разреза.

## ДИНАМИКА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

А. М. Селиверстова  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

## THE DYNAMICS OF BIOGENIC ELEMENTS OF THE ISSYK-KUL LAKE

A. M. Seliverstova  
Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

201219941315ann@gmail.com

Ключевые слова: *Иссык-Куль, биогенные элементы, гидрохимия.*

Keywords: *Issyk-Kul, biogenic elements, hydrochemistry.*

Озеро Иссык-Куль расположено в обширной межгорной тектонической впадине между хребтами Кюнгёй и Тескей Ала-Тоо. С горных хребтов в бассейн озера стекает до 80 больших и малых рек, крупнейшими из которых являются реки Тюп и Джергалан [1, 3], но ни одна река не вытекает из озера в настоящее время. Хотя есть данные, что в прошлом существовал стока через Боомское ущелье. Озеро Иссык-Куль является самым большим бессточным водоёмом Средней Азии по объёму воды (1738 км<sup>3</sup>) и вторым после Аральского моря по площади зеркала (6 236 км<sup>2</sup>).

Так как ни одна река не уносит своих вод из озера, в нем происходит накопление солей, в настоящее время минерализация воды составляет 5.33 - 5.50 г/л. Как бессточное озеро Иссык-Куль весьма чувствителен к антропогенному воздействию. Особенно это актуально, если учитывать значительную интенсивность разработки природного потенциала Иссык-Кульской котловины.

Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН в 2015 - 2017 гг. были проведены экспедиции на озеро Иссык-Куль. В 3 из них помимо прочих работ выполнялся и полный комплекс гидрохимических наблюдений, отбор проб воды и взвеси для определения тяжелых металлов. Целью работ была характеристика абиотической составляющей экосистем (растворенный кислород, основные биогенные элементы, неорганические соединения углерода) и оценка интенсивности обмена вод по гидрохимическим параметрам.

Работы проводились с борта судна "Молтур", приписанного к Озерной станции Кыргызгидромета. Отбор проб для гидрохимических исследований проводился на 65 станциях с 173 горизонтов отбора. Кроме того береговая группа отбирала пробы из различных водотоков, впадающих в озеро. Все пробы оперативно поступали во временную суовую лабораторию. Отбор проб проводился в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85 "Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод". Определение гидрохимических параметров проводилось по стандартным методикам, принятым в экспедиционной практике [5, 6].

Одним из необычных результатов было то, что не смотря на небольшое снижение уровня озера (следственно и сокращение объема содержащейся воды) с начала прошлого века [4], соленость его уменьшилась с 5.95 - 6.53 г/кг [3, 4] до 5.33 - 5.49 г/кг. Вторым интересным результатом было то, что содержание биогенных элементов и неорганического углерода, полученные в наших экспедициях в целом, совпадают или близки к средним многолетним данным, [3], за исключением растворенного кремния. За 30 - 40 лет содержание кремния выросло почти в 2 раза. Возможно это результат аналитической ошибки при работах в 50-х - 80-х годах прошлого века. Но возможно это свидетельствует о значительных изменениях в химической структуре вод озера.

Воды озера от поверхности до дна практически однородны по солевому составу. Это свидетельствует о значительном перемешивании вод в холодный период [2]. В теплое время стратификация вод обеспечивается главным образом температурой воды. Стратификация воды в теплое время достаточная для того чтобы в глубинных водах значительно уменьшалось содержание растворенного кислорода и росло содержание биогенных элементов.

Значительные отличия съемок 2015 и 2016 гг. были в величине и характере вертикального распределения величины рН. Во время работ 2016 г. величина рН была почти на 0.4 ед. ниже, чем в 2015



г. и с глубиной наблюдалось сужение этой величины (в отличие от повышения рН с глубиной в 2016 г.). Связано это со значительным увеличением содержания растворенной двуокиси углерода, возможно, из-за окисления органического вещества, образованного в период активного фотосинтеза. Кроме того, как следствие низкой минерализации воды озера не обладают буферной емкостью способной поддерживать стабильность кислотно-восстановительных свойств.

В 2017 г., по сравнению с предыдущими съемками (в июне 2015 и октябре 2016 гг.), ярче проявлялось увеличение концентрации биогенных элементов в глубоких водах озера, что затронуло не только содержание биогенных элементов, но и величину рН и содержание неорганического углерода. В то же время сохранялись все черты пространственного распределения гидрохимических параметров, присущие и предыдущим съемкам. Ярче проявлялось влияние стока с суши, особенно у восточного и северного берега озера. По величине содержания недоокисленных и восстановленных форм азота степень загрязнения вод озера можно считать низкой.

Сравнивая результаты всех трех съемок, можно сказать, что, несмотря на значительную глубину озера и относительную стабильность гидрофизических параметров вод, сезонные изменения гидрохимического состава затрагивают практически всю толщу вод. Причины изменения, произошедших в химическом составе вод за последние несколько десятилетий, требуют дополнительного изучения.

*Исследования выполнены при поддержке гранта РГО-а № 17-05-41043 «Особенности водообмена в глубоких озерах на примере озер Иссык-Куль и Байкал».*

### Литература

1. Большаков М.Н. Водные ресурсы рек Советского Тянь-Шаня и методы их расчета. Фрунзе: «Илим». 1974. 305 с.
2. Букин В.М. Водные массы озера Иссык-Куль. Ихтиологические и гиробиологические исследования в Киргизии. Фрунзе: «Илим». 1979. С. 3—6.
3. Кадыров В.К. Гидрохимия озера Иссык-Куль и его бассейна. Фрунзе: «Илим». 1986. 212 с.
4. Романовский В.В. Озеро Иссык-Куль как природный комплекс. Фрунзе: «Илим». 1991. 168 с.
5. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / Под ред. Сапожникова В.В. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
6. Современные методы гидрохимических исследований океана / Ред. Бордовский О.К., Иваненков В.Н. М.: ИО АН СССР, 1992. 198 с.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРА $^{18}\text{O}$ ДЛЯ ОЦЕНКИ «НАКОПИВШИХСЯ ТРАНСФОРМАЦИЙ» ВОДНЫХ МАСС МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ПРОЦЕССЕ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ И ЛЕДОТАЯНИЯ

И. А. Семерюк, А. А. Намятов  
ООО «Фертоинг», Санкт-Петербург

USE OF THE PARAMETER  $^{18}\text{O}$  FOR THE ESTIMATION OF THE "STRAINED TRANSFORMATIONS" OF THE WATER MASSES OF THE LAPTEV SEA IN THE PROCESS OF ICE-FORMATION AND ICE-CREATION

Semeryuk I.A. , Namyatov A.A.  
Fertoing, Saint-Petersburg

*i.semeryuk@fertoing.ru*

Ключевые слова: *фракционирование изотопов кислорода, ледообразование, ледотаяние, атлантические воды, речные воды.*

Keywords: *fractionation of oxygen isotopes, ice formation, ice formation, Atlantic waters, river waters.*

Целью настоящей работы является оценка накопившихся «трансформаций» вод моря Лаптевых в процессе ледообразования и ледотаяния, индикатором которых являются величины изменения солености под воздействием этих процессов. Оценки, сделанные для моря Лаптевых, показали, что максимально трансформированные при ледообразовании воды располагаются в придонном слое мелководной южной и юго-восточной частей моря Лаптевых.

Генетически водные массы моря Лаптевых можно представить как смешение двух водных масс - атлантических и речных вод, претерпевших не только смешение, но и трансформации в результате ледообразования и ледотаяния.

Самым простым и распространенным методом оценки количеств морских и пресных вод является метод, основанный на балансовых расчетах при простом смешении водных масс.

В арктических морях, где большую роль играют процессы ледообразования и, как следствие, поступление солей в подледный слой и ледотаяния, в результате чего образуются дополнительные объемы распресненных вод, расчет пресноводного баланса по двухкомпонентной системе может привести к недооценке одних и переоценке других компонентов

Совместное рассмотрение двухкомпонентной и трёхкомпонентной систем, где лёд рассматривается как совокупность песной воды и солей, растворенной в ней, позволит оценить «накопившуюся» трансформацию морских вод в результате ледообразования и ледотаяния.

Хотя все пробы были отобраны в летне-осенний период с июля по октябрь, тем не менее, в данных пробах процесс трансформации вод, полученных в результате ледообразования, преобладает над процессами трансформации в результате ледотаяния.

Солёность 7 ‰ является граничной солёностью (для летне-осеннего периода), ниже которой преобладают процессы ледотаяния, а выше - процессы ледообразования.

При величинах солености ниже 7 ‰ процессы ледотаяния прослеживаются по преобладанию положительных значений величин  $f_i$  (объемов талых вод). Содержание талых вод в этом диапазоне солености может достигать 40 ‰. В этом же диапазоне солености наблюдается максимальное содержание речных вод. Т.е. под воздействием выноса более теплых речных вод наблюдается интенсивное ледотаяние.

При солености более 7 ‰ процессы ледообразования преобладают над процессами ледотаяния. Эти значения достигают своего минимума в диапазоне солености от 15 до 20 ‰. Средняя величина  $f_i$  (объемов талых вод) в этом диапазоне солености может достигать минус 11 ‰, а минимальные величины - минус 24 ‰. Эта величина показывает, что в среднем 11 ‰ объема воды данной солености пошло на образование льда. Возможно, данная трансформация водной массы произошла не в результате разового цикла ледообразования, а в результате нескольких циклов.

Вертикальное и пространственное распределение расчетных параметров показали, что максимально трансформированные при ледообразовании воды располагаются в придонном слое мелководной асти южной и юго-восточной части моря. В среднем для слоя 10-20 м величина осолонения для всего моря составляет  $0,21 \pm 0,47$  ‰, достигая максимальной величины 3,3 ‰. Кроме всего прочего здесь, при глубинах до 50 м, наблюдаются, так называемы «застойные» воды с низкими величинами придонных концентраций растворенного кислорода. На более глубоководных станциях (на глубине более 100 м) данный эффект уже не наблюдается. Очевидно, что здесь скапливаются трансформированные в результате ледообразования воды с повышенной соленостью, а специфика циркуляции водных масс способствует процессам накопления и «сохранения» этих вод в этой части моря, что формирует специфику гидрологического и гидрохимического режимов моря Лаптевых.

### Литература

1. Намятов А.А., Семерюк И.А. Применение параметра  $\delta^{18}\text{O}$  для анализа происхождения водных масс на примере моря Лаптевых // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 4 (98). С. 35–42.
2. Никифоров Е. Г., Шпайхер А.О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 272 с.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПЛУТОНИЯ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ЧЁРНОГО МОРЯ И СОЛЁНЫХ ОЗЁР КРЫМА

Н. Н. Терещенко, А. А. Параскив, В. Ю. Проскурнин, О. Д. Чужикова-Проскурнина  
Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь

COMPARATIVE ASSESSMENT OF CONTENT PLUTONIUM IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF BLACK SEA COASTAL AQUATORIES AND SOLT LAKES OF CRIMEA

N. N. Tereshchenko, A. A. Paraskiv, V. Ju. Proskurnin, O. D. Chuzhikova-Proskurnina  
A. O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS, Sevastopol

*artem.paraskiv@mail.ru*

Ключевые слова: Чёрное море, солёные озёра Крыма,  $^{239+240}\text{Pu}$ , донные отложения.

Keywords: Black sea, salt lakes of Crimea,  $^{239+240}\text{Pu}$ , bottom sediments

Известно, что основным депо плутония в черноморских экосистемах являются илистые донные отложения [1], особенно высокий процент аккумуляции в донные отложения радионуклидов плутония в прибрежных акваториях. Для шельфовых черноморских районов он составляет величины более 95 % от плутония, поступившего в водные массы [2]. Это обуславливает интерес к оценке содержания и изучению особенностей перераспределения радионуклидов плутония  $^{239+240}\text{Pu}$ , как долгоживущих антропогенных альфа-излучающих изотопов с высокой радиотоксичностью, в мелководных экосистемах, используемых в хозяйственной и рекреационной деятельности.

На территории Крымского полуострова имеются многочисленные озёрные экосистемы различной солёности (от 3,5 до 400‰, а иногда и выше) [3-5]. Одним из основных регулирующих факторов водного баланса для озёр служит интенсивное испарение воды, что приводит к концентрированию разных химических элементов, в том числе антропогенных радионуклидов. Многие озёра являются местом отдыха, сырьевой базой для промышленности, объектом добычи биологических ресурсов (зоо- и фитопланктона), а также илов - грязей, которые используют в лечебных и косметических целях, что обуславливает важность определения уровней радионуклидов плутония в донных отложениях солёных озёр Крыма [3-5].

Так как изучение уровней  $^{239+240}\text{Pu}$  ранее в озёрах не проводили, то целью нашей работы было определение уровней концентрационной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в донных отложениях 10 солёных озёр Крыма из разных географических групп и их сравнительная оценка с таковыми в донных осадках прибрежных районов Чёрного моря.

Пробы донных отложений (поверхностный 0-5 см слой) отбирали акриловой трубкой в десяти солёных озёрах из четырёх географических групп: Евпаторийской, Тарханкутской, Перекопской и Керченской (рис. 3.21). Полученные данные сравнивались с результатами исследований в прибрежных черноморских акваториях, в частности Керченского пролива, Каркинитского, Каламитского и Феодосийского заливов [6]. Пробы донных отложений подвергались радиохимической обработке с внесением радиоактивного трассера  $^{242}\text{Pu}$ , в ходе которой с помощью ионообменной хроматографии очищали и выделяли плутоний [1, 7]. Методом электроосаждения готовили тонкослойные препараты плутония. Активность альфа-излучающих радионуклидов плутония измеряли на альфа-спектрометрическом комплексе «EG&G ORTEC OСТЕТЕ РС BERTHOLD-WALLAC», активность для радионуклидов  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{240}\text{Pu}$  измеряли суммарно. Результаты определения концентрационной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в донных отложениях представлены в мБк/кг сухой массы осадка. Ошибка измерения  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{242}\text{Pu}$  не превышала 10 %, за исключение пробы с оз. Киятское, для которой ошибка составляла 25 %.

В результате исследований было определено, что в прибрежных черноморских акваториях концентрационные активности плутония превышали таковые в солёных озёрах. При этом уровни  $^{239+240}\text{Pu}$  в донных отложениях озёр варьировали в широких пределах, как между территориальными группами,

так и между озёрами в пределах одной территориальной группы (рис. 3.22). В пределах Тарханкутской группы были довольно большие различия значений концентрационной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в донных осадках разных озёр. Концентрационная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  в осадках озера Джарылгач (443 мБк/кг) практически на порядок превышает таковую в озере Бакальское (49 мБк/кг). При этом в Каркинитском заливе, на берегах которого расположена Тарханкутская группа озёр, значения варьировали от 680 до 813 мБк/кг для иловых донных отложений и составляли 95 мБк/кг для песчаных осадков. Как известно, аккумуляционная способность песчаных донных отложений на порядок ниже таковой для илов [1]. В донных отложениях Каламитского залива, который граничит с озёрами Евпаторийской группы, уровни  $^{239+240}\text{Pu}$  составляли порядка 690 мБк/кг, что в 1,6-2,4 раза выше, чем в исследованных озёрах этой группы. То есть, несмотря на свою близкую географическую расположенность, сравниваемые морские и озёрные экосистемы характеризуются различными уровнями содержания изотопов плутония в донных осадках.

Существуют два основных источника атмосферного поступления антропогенных радионуклидов плутония в экосистемы Чёрного моря и Крымского полуострова - это глобальные радиоактивные выпадения после испытаний ядерного оружия в открытых средах и авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) [1]. Однако отмечалось и вторичное поступление радионуклидов плутония с водными массами и взвесью с речным стоком. Северо-западная часть моря, куда впадают такие большие реки как Дунай и Днепр подверглась большей радиоэкологической нагрузке, особенно после аварии на ЧАЭС, в результате которой были загрязнены водосборные бассейны этих рек. Дополнительное поступление плутония водным путем в отдалённые сроки после аварии могло быть причиной повышенных уровней  $^{239+240}\text{Pu}$  в донных осадках морских акваторий у западного побережья Крыма, так как при определенной розе ветров воды из северо-западной части Чёрного моря поступают напрямую в восточном направлении, вдоль северных берегов к крымским берегам в эти заливы [1]. Донные осадки Каркинитского залива могли подвергаться дополнительному загрязнению  $^{239+240}\text{Pu}$  с днепровскими водами, которые сбрасывались в залив через Северо-Крымский канал до 2014 г. [1].

Среди озёр Керченской географической группы наибольшие концентрации плутония были определены в донных осадках озера Тобечикское (451 мБк/кг), что в 2-4 раза превышает таковые в других озёрах данной группы Акташском и Чокракском. Последние два озера расположены на побережье Азовского моря, в донных осадках которого уровни плутония ещё не исследованы. В донных отложениях Керченского пролива концентрационная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  составляла 140 мБк/кг - севернее косы Тузла близ выхода в Азовское море и 433 мБк/кг - южнее косы Тузла, практически в акватории Чёрного моря (рис. 3.21), что указывает на возможное различие уровней  $^{239+240}\text{Pu}$  в Чёрном и Азовском морях и требует дополнительных исследований. В близлежащем районе Чёрного моря в Феодосийском заливе уровень  $^{239+240}\text{Pu}$  был равен 809 мБк/кг.

Озера Перекопской группы характеризуются самыми низкими концентрационными активностями изотопов плутония в донных отложениях среди всех солёных озёр Крыма (24-95 мБк/кг). Это может быть связано с тем, что озёра данной группы расположены на 4 м выше уровня моря (Кирлеутское и Киятское), ни в одно из 3-х озёр не впадают реки и балки и у них отсутствует связь с морскими водами. Красное озеро (его северная часть) служит накопителем промышленных стоков содового комбината.

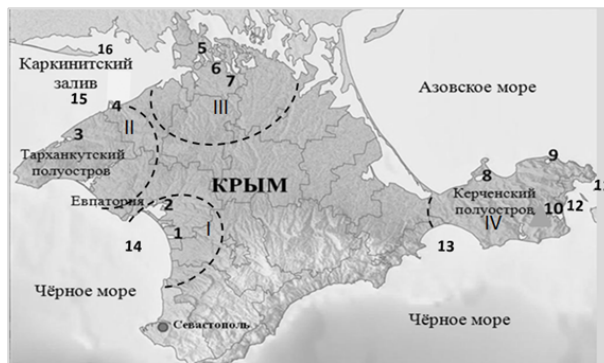
Проведена сравнительная оценка концентрационной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в донных отложениях 10 солёных озёр Крыма и прибрежных районах Чёрного моря. В поверхностных илах озёр (0-5 см) уровни  $^{239+240}\text{Pu}$  ниже в среднем в 3 раза, чем в черноморских прибрежных илах. Значения  $^{239+240}\text{Pu}$  в осадках озёр варьировали от 24 до 451 мБк/кг, но в целом самые низкие уровни  $^{239+240}\text{Pu}$  отмечены в Перекопской группе озёр (24-95 мБк/кг), не подверженной влиянию морских вод.

*Исследования по солёным озёрам Крыма были выполнены при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований, грант № 16-05-00134.*

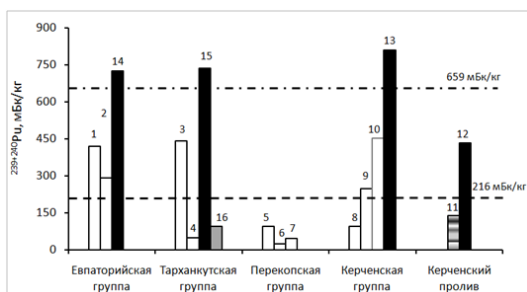
## Литература

1. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н., Гулин С.Б., Стокозов Н.А., Лазоренко Г.Е., Мирзоева Н.Ю., Терещенко Н.Н., Цыцугина В.Г., Кулебакина Л.Г., Поповичев В.Н., Коротков А.А., Евтушенко Д.Б., Жерко Н.В., Малахова Л.В. Радиоэкологический отклик Чёрного моря на чернобыльскую аварию. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 667 с.
2. Терещенко Н.Н. Ведущая роль донных отложений в перераспределении плутония в черноморских экосистемах // Наукові праці: наук.-метод. журнал. - Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. Вип 157 (169). Техногенна безпека. С. 63-70.

3. Tereshchenko N.N., Proskurnin V.Yu., Paraskiv A.A., Chuzhikova-Proskurnina O.D., Krilova T.A. The man-made plutonium radioisotopes in the salt lakes of the Crimean peninsula. In: 13th International Conference on Salt Lake Research (ICSLR 2017): Book of abstracts (ed. by E. Yu. Abidueva, D. D. Barlutova, V. V. Khakhinov) Ulan-Ude: Buryat State University Publishing Department, 2017. p.58.
4. Понизовский А.М. Соляные ресурсы Крыма. Киев: Из-во Крым, 1965. 164 с.
5. Соцкова Л.М., Смирнов В.О., Окара И.В., Малишук И.О. Сохранение бальнеологических ресурсов грязевых соленых озер западного Крыма // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 7. <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56691>
6. Tereshchenko N.N., Mirzoyeva N.Yu., Gulin S.B., Milchakova N.A. 2014. Contemporary radioecological state of the North-western Black Sea and the problems of environment conservation // Mar. Pollut. Bull. 2014. 81(1). pp. 7-23.
7. Методика измерений активности плутония-239,240,238 в пробах окружающей среды с радиохимическим концентрированием в ФГБУ «НПО «Тайфун». № в Реестре методик радиационного контроля МВИ 1.4.7-15. 2015. 25 с.



**Рис. 3.21:** Схема расположения точек отбора проб в солёных озёрах Крыма, где пунктирными линиями выделены географические группы озёр: Евпаторийская группа (I): 1 - оз. Кызыл-Яр, 2 - оз. Сасык-Сиваш; Тарханкутская группа (II): 3 - оз. Джарылгач, 4 - оз. Бакальское; Перекопская группа (III): 5 - оз. Красное, 6 - оз. Киятское, 7 - оз. Кирлеутское; Керченская группа (VI): 8 - оз. Акташское, 9 - оз. Чокракское, 10 - оз. Тобечикское, и точки сравнения в Керченском проливе: 11 - севернее косы Тузла, 12 - южнее косы Тузла и в Чёрном море: 13 - Феодосийский залив, 14 - Каламитский залив, 15 - Каркинитский залив (илы), 16 - Каркинитский залив (песок).



**Рис. 3.22:** Концентрационная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  в 0-5 см слое донных отложений в: 1 - оз. Кызыл-Яр, 2 - оз. Сасык-Сиваш; 3 - оз. Джарылгач, 4 - оз. Бакальское; 5 - оз. Красное, 6 - оз. Киятское, 7 - оз. Кирлеутское; 8 - оз. Акташское, 9 - оз. Чокракское, 10 - оз. Тобечикское и точки сравнения в Керченском проливе: 11 - севернее косы Тузла, 12 - южнее косы Тузла и в Чёрном море: 13 - Феодосийский залив, 14 - Каламитский залив, 15 - Каркинитский залив (илы), 16 - Каркинитский залив (песок). Среднее значение  $^{239+240}\text{Pu}$  в Чёрном море (штрих-пунктир) - 659 и в солёных озёрах (штриховая линия) - 216 мБк/кг.

# ВЛИЯНИЕ АЭРОЗОЛЕЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ВЗВЕСИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ПО ДАННЫМ ТРАНСОКЕАНИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ В ИНДИЙСКОМ И АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНАХ

А. М. Титова, И. А. Немировская  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

INFLUENCE OF AEROSOLS ON THE DISTRIBUTION OF ORGANIC COMPOUNDS AND SUSPENDED MATTER ON THE TRANSOCEANIC SECTIONS IN INDIAN AND ATLANTIC OCEANS

A. M. Titova, I. A. Nemirovskaya  
Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

ZDESSSSS@yandex.ru

Ключевые слова: *аэрозоли, взвешенное вещество, органические соединения, углеводороды, Индийский океан.*

Keywords: *aerosols, suspended matter, organic compounds, hydrocarbons, Indian Ocean.*

В результате попутных исследований на борту НИС «Академик Николай Страхов» (в декабре 2015 - феврале 2016 года) и НИС «Академик Борис Петров» (в январе-марте 2017 года) были определены концентрации органических соединений (углеводородов (УВ), липидов и хлорофилла а) и взвеси в поверхностных водах и аэрозолях Индийского океана и северной Атлантики. Маршрут судна охватывал тропические, субтропические и умеренные зоны в аридных и гумидных районах океанов.

Изучение гранулометрического состава приводного слоя аэрозолей проводили с помощью 6-ти канального измерителя частиц Aerotrak(США), предназначенного для определения счетных концентраций аэрозольных частиц в атмосфере. Для анализа взвеси и органических соединений (ОС) использовали методы, применяемые в практике океанологических исследований [2]. Установлено, что расположение фронтальных зон и сезонная изменчивость в большей степени влияет на распределение концентраций исследуемых компонентов. Так, циркумконтинентальная зональность проявляется в увеличении концентраций аэрозоля в прибрежных регионах [1]: Малаккского, Баб-эль-Мандебского проливов и Суэцкого канала в акватории Индийского океана, а так же, берегов Европы, из влажных регионов и промышленных центров (в Атлантическом океане). В Индийском океане количество аэрозолей в атмосфере было довольно низким (рис. 3.23) с некоторым увеличением при преобладающем северном ветре на широте Цейлона (154022 для фракции 0,3 мкм) и недалеко от Мальдив. В Средиземном море зафиксирован минимум содержания аэрозолей. Наибольшее увеличение концентраций аэрозолей, а вместе с тем и взвеси в поверхностных водах, происходило под влиянием поступления золотого материала из засушливых зон африканских пустынь в Средней Атлантике и Аравийского полуострова в Аденском заливе и Красном море, что подтверждается при анализе проб на электронном сканирующем микроскопе. В частности, резкое увеличение содержания частиц всех фракций происходило при подходе к Аденскому заливу (станции 53-60 до 213678 для фракции 0,3 мкм и до 489 для фракции 5 мкм), где при северном ветре и близости берега происходит снос частиц с Аравийского полуострова. В Красном море содержание аэрозолей понижалось до величин 9582,3 для фракции 0,3 мкм и до 46,5 для фракции 5 мкм (ст.64) в связи с преобладанием северо-западных ветров (уменьшение в среднем в 2-2,5 раза).

Концентрации взвешенного вещества и ОС в поверхностных водах хорошо коррелируют с содержанием аэрозолей в приводной толще (рис.3.23). Так, наиболее низкое содержание взвеси установлено в Индийском океане и в Средиземном море, где в отдельных пробах их концентрации достигали 0,06 - 0,08 мг/л. Повышенное содержание взвеси приурочено к выходу из Красного моря (Суэцкий канал - 1,04 мг/л), а максимальное - к Малаккскому проливу (1,4 - 2 мг/л). В поверхностных водах распределение взвеси и ОС также зависит от продуктивности вод и поступления углеводородов с нефтяным



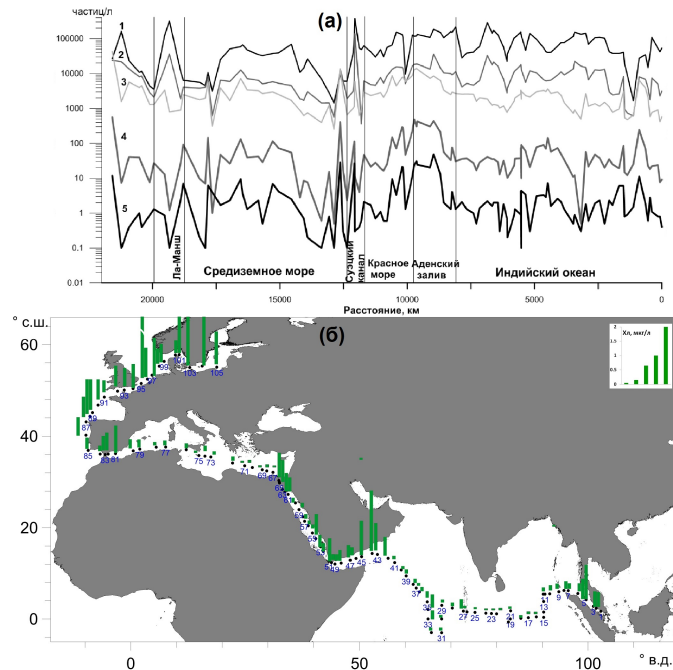
загрязнением. Так, максимальные концентрации ОС и взвеси были приурочены к районам наиболее судоходных проливов: Ла-Манш в 2016 г. (в среднем, взвесь - 7.3 мг/л, УВ - 11 мкг/л), Малаккский пролив в 2017 г. (в среднем, взвесь - 0.7 мг/л, УВ - 16 мкг/л), несмотря на пониженное (относительно максимальных концентраций) содержание аэрозолей в этом районе. При этом, в среднем, в 2017 году концентрации взвеси и УВ в поверхностных водах были значительно ниже, чем в 2016 г.

Наиболее низкие концентрации взвешенных веществ наблюдались в центральных водах Индийского океана и Средиземного моря. Величины УВ для разных районов изменялись от 6 до 20 мкг/л, и не достигали ПДК для нефтяных УВ (50 мкг/л). Даже в проливе Ла-Манш их величины колебались в интервале 8-11 мкг/л. В Северном и Балтийском морях, несмотря на многочисленные нефтяные вышки и интенсивное судоходство содержание УВ не превышало 9,5 мкг/л. Снижение концентраций УВ в водах этих морей отмечали в 2016 году (11 мкг/л в среднем) и в 2014-2015 гг. Только в мае 2010 г. в Северном и Балтийском морях (по маршруту следования судна от порта Кейптаун до порта Санкт-Петербург, 55-я РАЭ), концентрации УВ увеличились более, чем в 2 раза по сравнению с атлантической водой и достигли 102 мкг/л.

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0016), ИП РАН 1.49 (тема № 0149-2018-0029).*

### Литература

1. Немировская И.А., Титова А.М. Попутные исследования в рейсе научно-исследовательского судна «Академик Николай Страхов» //Океанология. 2017. Т. 57, № 2. С. 311-313.
2. Немировская И.А. Осадочное вещество и органические соединения в аэрозолях и поверхностных водах на трансатлантическом разрезе//Геохимия. 2017. № 4. С. 344-357.



**Рис. 3.23:** а) Распределение гранулометрического состава аэрозолей в приземном слое атмосферы (1 - 0,3 мкм, 2 - 0,5 мкм, 3 - 1 мкм, 4 - 5 мкм, 5 - 10 мкм), б) содержание хлорофилла по маршруту НИС «Академик Борис Петров»

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗ. БОЛЬШИЕ ХРУСЛОМЕНЫ

В.Ю. Федулов, Н.А. Беляев, Б.В. Коновалов  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

## GEOCHEMICAL INVESTIGATIONS OF THE BOLSHIYE KHRUSLOMENY LAKE

V.Y. Fedulov, N.A. Belyaev, B.V. Kononov  
P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*burdmeister@gmail.com*

Ключевые слова: *меромиктические водоемы, органический углерод, взвесь, хлорофилл, водная толща.*

Keywords: *meromictic reservoirs, organic carbon, suspended matter, chlorophyll, water column.*

История образования меромиктических отшнуровывающихся водоемов при изостатической трансгрессии побережья важна для понимания геологических процессов на шельфе Арктических морей, а специфика протекающих в них биогеохимических процессов - для изучения преобразований органического вещества (ОВ) в цикле углерода. Биогеохимические циклы, протекающие в толще вод хорошо стратифицированных водоемов, во многом определяются повышенной активностью бактериального сообщества с одновременным участием фото- и хемоавтотрофных бактериальных комплексов и увеличенными скоростями процессов сульфатредукции [2]. При этом, процессы анакисогенного фотосинтеза и деструкции ОВ обуславливают его специфическое распределение в водной толще [3].

В сентябре 2017 г. состоялась комплексная экспедиция на ББС МГУ им. Н.А. Перцева в составе научных групп из ИНМИ РАН, ИО РАН и Биологического факультета МГУ с целью микробиологических, биогеохимических и изотопно-геохимических исследований оз. Большие Хрусломены. Термохалинная структура озера имеет типичную трехслойную стратификацию, выделяемую как по температурным, так и по соленостным профилям [1]. Верхний распределенный горизонт мощностью 2 м расположен над обогащенным кислородом рассолоненным горизонтом 2-3.75 м. С 3.75 м до дна расположен относительно холодный, наиболее соленый анакисогенный слой. Наиболее обогащены кислородом верхние пресные воды, его концентрации плавно убывают в верхнем рассолоненном слое до нулевых содержаний на горизонте 4 м. Отбор проб воды осуществлялся медицинским насосом с силиконовым шлангом, погружаемым на заданную глубину с дискретностью 0,15-1 м. После отбора пробы доставлялись в лабораторию ББС МГУ, обрабатывались по стандартным методикам и анализировались в стационарных лабораториях ИО РАН.

*КОУ.* Концентрации крупной коллоидной фракции растворенного органического углерода (КОУ) были рассчитаны как разница концентраций органического углерода в воде прошедшей сквозь GF/F фильтр (0.5-0.7 мкм) и лавсановые фильтры (0.2 мкм). В верхних слоях КОУ практически отсутствует, однако в нижних анакисогенных горизонтах его концентрации увеличиваются, а у дна достигают значений более 11 мг/л.

*ВОУ/РОУ.* Относительное содержание ВОУ и РОУ в водах озера демонстрирует принципиальные различия между пограничной зоной, в которой происходят активные бактериальные процессы синтеза и деструкции ОВ, и выше- и ниже- расположенными горизонтами. В диапазоне глубин 3.75-4.5 м относительное содержание ВОУ составляет более 30% от РОУ. На горизонте 4.25 м ВОУ/РОУ-80%, что маркирует активно идущие процессы синтеза ОВ. На остальных горизонтах ВОУ/РОУ не более 20%.

*Хлорофилл.* Содержание хлорофилла в верхних пресных слоях не превышает 2 мкг/л. В промежуточном соленом слое содержание хлорофилла несколько возрастает, однако остается достаточно низким. Взрывное увеличение концентраций хлорофилла фиксируется в пограничном горизонте 4.25 м, где содержание хлорофилла превышает 1 мг/л, а доля хлорофилла в составе ВОУ достигает 10%. Это показывает, что ВОУ данного горизонта практически полностью состоит из новосинтезированного

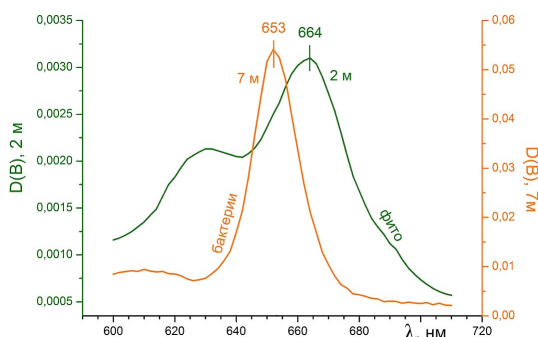
ОВ. Также для этого слоя характерна смена типов хлорофилла. Если в верхних горизонтах продуцируется хлорофилл «а», генезис которого связан с нормальными фотосинтетическими процессами, то в аноксидных горизонтах преобладает хлорофилл «d» бактериального генезиса (см. рис. 3.24). При этом, в данном горизонте происходят активные фотосинтетические процессы, что маркируется пониженным отношением феофитин/хлорофилл. Деструкция новообразованного хлорофилла происходит в нижних аноксидных слоях, где, несмотря на относительно высокие концентрации хлорофилла возрастает доля феофитина.

Системы меромиктических водоемов отличаются повышенными скоростями бактериальных процессов и их локализацией на верхней границе сероводородного слоя [2]. Одновременная деятельность фото- и хемоавтотрофных бактериальных комплексов приводит в данном слое к резкому возрастанию концентраций как взвешенного, так и растворенного органического углерода. При этом аномально высокие концентрации хлорофилла свидетельствует о необычайно высокой бактериальной активности и бурно протекающих фотосинтетических процессах в сероводородной зоне. Данный, четко локализованный горизонт мощностью не более 1 м, обеспечивает формирование вертикального потока ВОУ, что отражается в повышенном содержании органического углерода в подстилающих слоях.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0005).*

### Литература

1. Лисицын А.П., Васильчук Ю.К., Шевченко В.П., Буданцева Н.А., Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Филипов А.С., Чижова Ю.Н. Изотопно-кислородный состав воды и снежно-ледяного покрова отделяющихся водоемов на разных стадиях изоляции от Белого моря // ДАН. 2013. Т.449. №4. С. 467-473.
2. Лунина О.Н., Саввичев А.С., Кузнецов Б.Б., Пименов Н.В., Горленко В.М. Аноксигенные фототрофные бактерии стратифицированного озера Кисло-сладкое (Кандалакшский залив Белого моря) // Микробиол. 2014. Т.83. №1. С. 90-108.
3. Пименов Н.В., Лунина О.Н., Прусакова Т.С., Русанов И.И., Иванов М.В. Биологическое фракционирование стабильных изотопов углерода на границе аэробных и анаэробных вод в меромиктических водоемах // Микробиол. 2008. Т.77. №6. С. 839-847.



**Рис. 3.24:** Спектры оптической плотности ацетоновых экстрактов пигментов, присутствующих в пробах, отобранных с горизонтов 2 и 7 м.

# БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОД ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ СЕЗОН 2017 Г.

В.Ю. Федулов, Н.А. Беляев  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

BIOGEOCHEMICAL MARKERS OF THE SURFACE WATER LAYER SOUTHWESTERN KARA SEA IN THE WINTER SEASON 2017

V.Y. Fedulov, N.A. Belyaev  
P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*burdmeister@gmail.com*

Ключевые слова: *Карское море, зимний период, взвесь, органический углерод, хлорофилл-а, поверхностный слой вод.*

Keywords: *Kara Sea, winter period, suspended matter, organic carbon, chlorophyll-a, surface water layer.*

Система Карского моря является одной из наиболее изученных среди морей Российской Арктики. При этом практически все ее исследования проводились в летний и осенний периоды, хотя сезонные изменения играют в ней определяющую роль. Исследования базовых геохимических параметров в другие сезоны началось в 2016 г. В 2017 впервые были определены содержания и описаны тенденции распределения взвешенного вещества (ВВ), взвешенного (ВОУ) и растворенного органического углерода (РОУ) и хлорофилла-«а» в поверхностном слое вод в зимний период.

Пробы были отобраны в ходе рейса дизель-электрохода «Норильский никель», следовавшего по маршруту Мурманск-Дудинка-Мурманск (26.02.17-14.03.17). Поверхность моря преимущественно была покрыта льдом толщиной до 1 м. Граница мелкобитого льда и сплошных ледовых полей располагалась между ст. 3 и 14 (см. рис. 3.25). Пробы морской воды отбирались ведром по ходу движения судна. Для определения общих концентраций ВВ пробы морской воды фильтровались под вакуумом через ядерные фильтры (0.45 мкм), РОУ, ВОУ и хлорофилла-«а» - самотеком через фильтры GF/F (0.7 мкм). Концентрации РОУ и ВОУ определялись на анализаторе Shimadzu TOC-Vcph, концентрации хлорофилла-«а» определялись флуорометрическим методом.

РОУ. Распределение РОУ в поверхностном слое вод исследуемого района относительно однородно (см. рис.). Повышенное содержание РОУ выявлено на трех станциях, расположенных вблизи устья Енисея (ст. 10, 11, 12). При анализе содержания РОУ от солености [1] по всем исследованным пробам линейной зависимости не выявлено, однако она прослеживается для ст. 10, 11, 12, (ср. ~ 4 мг/л), что сопоставимо со значениями, фиксировавшимися в 2016 г. в пресных водах р. Енисей [3].

ВВ. Диапазон концентраций ВВ изменялся в пределах 0.28-18 мг/л (см. рис.). Средние значения концентраций на станциях, расположенных западнее траверза о. Белый (0.52 мг/л) были существенно ниже, чем средние значения станций, расположенных восточнее (5,86 мг/л). Резко выделяются ст. 10 и 11, на них концентрации ВВ более чем в 10 раз превышали медианные значения. Вероятным источником поступления ВВ в поверхностные воды здесь служит взмучивание донных осадков, а не воды речного стока.

ВОУ. Распределение ВОУ схоже с распределением ВВ. В восточной части - повышенные средние концентрации ВОУ (217 мкг/л), в западной - пониженные (43 мкг/л). Диапазон изменчивости концентраций ВОУ в западной части значительно меньше диапазона изменчивости концентраций ВВ. Макс. концентрации ВОУ (ст. 10, 11 307 и 483 мкг/л соотв.) совпадают с макс. концентрациями ВВ, разница в содержании ВОУ между этими станциями значительно меньше разницы концентраций ВВ.

ВОУ/ВВ. Для восточной части исследуемого района относительное содержание ВОУ в ВВ ниже, чем для западной, при этом общая доля ВОУ в ВВ невелика (9%). Наибольшее содержание ВОУ в ВВ отмечено на ст. 14, расположенной на границе ледовых полей и битого льда, и ст. 13 - зоне максимального градиента солености.

*Хлорофилл-«а»*. По всему маршруту наблюдались низкие концентрации хлорофилла-«а», показывающие отсутствие активных фотосинтетических процессов. В восточной части концентрации феофитина превышали концентрации хлорофилла-«а», в западной части были ниже. На границе мелкобитый лед-ледовые поля (ст.3 - 0.45 мкг/л) содержание хлорофилла-«а» превосходило среднюю более, чем в три раза.

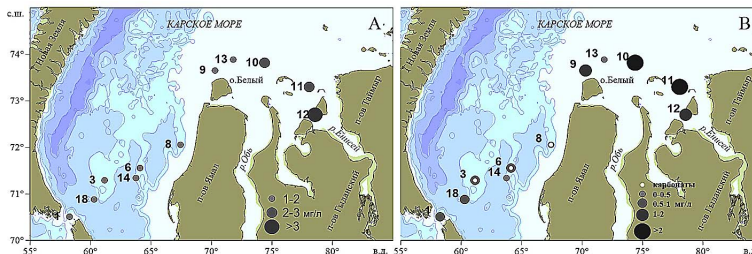
*Хлорофилл-«а»/ВОУ*. Анализ отношения хлорофилл-«а»/ВОУ позволил выявить три типа станций. 1 тип - западная часть (ст. 1, 18, 3, 14, 6, 8): пониженные концентрации ВОУ, повышенные хлорофилла-«а» и отсутствие зависимости между их концентрациями. 2 тип - восточная часть моря (ст. 9, 13, 10, 12): наличие линейной корреляции между содержанием ВОУ и концентрациями хлорофилла-«а» ( $R^2 - 0.99$ ). 3 тип - ст. 11: относит. содержание хлорофилла-«а» минимально, несмотря на высокие концентрации ВВ.

Установлено, что в зимний период зафиксированные концентрации всех исследуемых компонентов существенно ниже наблюдавшихся ранее концентраций в летний [1, 2] и ранне-весенний [3] периоды. Выделяются 2 района - западнее и восточнее траверза о.Белый. Восточный район находится под определяющим влиянием речного стока: относительно повышенные концентрации РОУ, ВОУ, ВВ и пониженные - хлорофилла-«а». Существенное влияние на состав исследуемых параметров на ст. 10 и 11 может оказывать взмучивание поверхностного слоя донных осадков. В западном районе концентрации ВВ, ВОУ и РОУ понижены относительно средних значений, при этом доля хлорофилла-«а» в составе ВОУ существенно выше, доля ВОУ в ВВ повышенная. В пробах западного района отмечено присутствие карбонатов, не поставляемых с водами речного стока. Совокупность данных факторов позволяет предположить существенный вклад автохтонного материала в формирование состава ВВ. Для всей исследованной акватории можно предположить существование двух фронтальных зон расположенных в районе границы речных и морских вод (ст.9, 13) и границы мелкобитого и сплошного льда (ст. 3, 14). Несмотря на зимний период в этих районах наблюдаются наиболее высокие содержания ОВ в составе ВВ, а на границе битый-сплошной лёд - повышенное значение хлорофилла-«а», что может говорить о поставках новообразованного органического вещества в поверхностный слой вод.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0005) при частичной поддержке РФФИ (проекты № 16-05-00032, № 18-05-00326).*

### Литература

1. Беляев Н.А., Поняев М.С., Пересыпкин В.И. Органический углерод воды, взеси и верхнего слоя донных осадков Карского моря. // Океанология. 2010. Т.50. № 5. С. 748-757.
2. Мошаров С.А. Распределение первичной продукции и хлорофилла-а в Карском море в сентябре 2007 г. // Океанология. 2010. Т.50. № 6. С. 933-941.
3. Сажин А.Ф., Мошаров С.А., Романова Н.Д., Беляев Н.А., Хлебопашев П.В., Павлова М.А., Дружкова Е.И., Флинт М.В., Копылов А.И., Заботкина Е.А., Ишкулов Д.Г., Макаревич П.Р., Пастернак А.Ф., Маккавеев П.Н., Дроздова А.Н. Планктонное сообщество Карского моря ранней весной // Океанология. 2017. Т. 57. № 1. С. 246-248.



**Рис. 3.25:** Содержание растворенного органического углерода (А) и взвешенного вещества (В) в поверхностном слое вод Карского моря в феврале-марте 2017 г.

## ХЛОРИРОВАННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

В. Ю. Цыганков

Школа биомедицины, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

### CHLORINATED HYDROCARBONS IN MARINE ECOSYSTEMS OF THE NORTH WESTERN PART OF THE PACIFIC OCEAN

V. Yu. Tsygankov

School of Biomedicine, Far Eastern Federal University, Vladivostok

*tsig\_90@mail.ru*

Ключевые слова: *хлорированные углеводороды, морские организмы, млекопитающие, птицы, рыбы, северо-западная часть Тихого океана.*

Keywords: *chlorinated hydrocarbons, marine organisms, mammals, birds, fish, the northwestern part of the Pacific Ocean.*

Стойкие хлорированные углеводороды, в частности хлорорганические пестициды (ХОП), являются токсичными липофильными соединениями антропогенного происхождения, устойчивыми к фотолитическому, химическому и биологическому разложению. В XX веке использовались, в основном, гексахлорциклогексан (ГХЦГ) и дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ). В 2001 г. по решению токсикологической конвенции был составлен список особо опасных экотоксикантов («грязная дюжина»), в который вошел ДДТ и его метаболиты (ДДД и ДДЕ). В 2009 г. список был расширен девятью соединениями, в которые входят и изомеры ГХЦГ. ДДТ применяли во время Второй мировой войны для защиты людей от малярии, брюшного тифа и трансмиссивных заболеваний. После войны ДДТ широко применялся в сельском хозяйстве в качестве инсектицида, что привело к широкомасштабному загрязнению водных и почвенных ресурсов, повлекшее за собой серьезное ухудшение здоровья людей и животных. Промышленное производство ГХЦГ начато в 1949 г. Его применяли в виде технической смеси, где доля изомера  $\alpha$ -ГХЦГ составляет 55-70 %,  $\beta$ -ГХЦГ - 5-14 %,  $\gamma$ -ГХЦГ - 9-13 %. Наиболее широко известен  $\gamma$ -изомер - линдан, который ранее использовался в основном в сельском хозяйстве, а впоследствии и как фармацевтический препарат, предназначенный для борьбы с переносчиками возбудителей кожных заболеваний.

Как основные соединения, так и их метаболиты, накапливаются в живых организмах и обладают способностью к биомагнификации. Выводятся эти соединения с выделительной системой, но не так активно, как происходит накопление. Показано, что лишь 20-65% от внесенного количества ХОП остаются в местах их применения, в то время как остальные мигрируют на большие расстояния.

Целью исследования явился экологический мониторинг хлорированных углеводородов в морских организмах северо-западной части Тихого океана.

Морские организмы были собраны в различных районах Охотского и Берингова моря в 2011-2013 гг. Особи тихоокеанского моржа *Odobenus rosmarus divergens* и серого кита *Eschrichtius robustus* были отловлены у пос. Лорино в Мечигменском заице (Берингово море) в 2011 г. Исследованы мышцы и печень 5 самок и 3 самцов. Исследовано 13 образцов птиц, собранных в июне и октябре 2012 г., принадлежащих к 5 видам (тихоокеанская чайка *Larus schistisagus*, большая конюга *Aethia cristatella*, конюга-крошка *Aethia pusilla*, глупыш *Fulmarus glacialis* (белая и темная морфы), серая качурка *Oceanodroma furcata*) из Охотского моря. Исследованы образцы горбуши *Oncorhynchus gorbuscha*, кеты *O. keta*, нерки *O. nerka* и чавычи *O. tshawytscha*, выловленных вблизи Курильских островов в июне-июле 2013 г. в экспедициях ТИНРО-центра.

Липиды извлекали из гомогенизированных органов экстракцией гексаном с последующим разрушением жировых компонентов концентрированной серной кислотой. Для хроматографии использовали рабочие стандартные растворы ХОП в диапазоне концентрации 1-100 мкг/мл, приготовленные путем разбавления растворов ГСО (государственные стандартные образцы) соответствующим объемом

очищенного п-гексана [1]. Определение массового содержания хлорорганических пестицидов в биоматериале выполняли на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010Ultra.

Присутствие ХОП в окружающей среде и накопление их в пищевых цепях представляет серьезную угрозу для здоровья организмов, занимающих высшие трофические уровни, которыми часто являются хищные животные и птицы.

В морских организмах, собранных в Беринговом и Охотском морях, хлорорганические пестициды были обнаружены во всех исследуемых образцах. Концентрация поллютантов в различных органах тихоокеанских лососей находилась в широких пределах - от 41 до 7103 нг/г липидов [2-5]. Общее содержание пестицидов в органах различных птиц варьировало от 13 нг/г до 16095 нг/г липидов [5-7]. Концентрации ХОП в органах тихоокеанского моржа варьировали от 197 до 90263 нг/г липидов в печени. Содержание пестицидов в органах серого кита находилась в пределах от 297 до 13808 нг/г липидов [5, 7, 8].

Исследуя морских организмов северо-западной части Тихого океана, можно отметить, что аккумуляция пестицидов происходит наиболее активно у организмов, находящихся на вершине пищевой пирамиды. Коэффициент биомагнификации, т.е. отношение концентрации ХОП у млекопитающих по сравнению с рыбами, подтверждает перенос липофильных галогенорганических соединений по пищевой цепи.

Многочисленные виды рыб, в том числе лососевые, удовлетворяют всем обязательным критериям биоиндикаторов для оценки состояния водных экосистем. Рыбы играют ведущую роль в пищевых цепях, перенося вещество и энергию от низких трофических уровней к более высоким. Наряду с органическим веществом переносятся и пестициды. Заметные концентрации пестицидов обнаружены у рыб из различных районов Мирового океана.

Аккумуляция пестицидов у птиц влияет на различные стороны их физиологии, например, вызывает серьезное ухудшение репродуктивной функции и истончение скорлупы яиц, что приводит к потере потомства и нарушению эмбрионального развития.

Морские млекопитающие являются биоиндикаторами ХОП в глобальном и долгосрочном масштабе. Именно ластоногие и китообразные позволяют изучать интегрированные временные тенденции распространения пестицидов в морской среде, особенно в океанах.

Обнаружение заметных концентраций пестицидов в морских организмах из Охотского и Берингова моря, районов, удаленных от активной хозяйственной деятельности, служит проявлением общего глобального фона пестицидов, сложившегося на планете в настоящее время. Океан остается естественным резервуаром, принимающим загрязняющие вещества из различных источников, что определяет необходимость регулярного мониторинга состояния морской биоты, в том числе и промысловых объектов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ) (соглашение № 14-50-00034).*

## Литература

1. Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D. Sample Preparation Method for the Determination of Organochlorine Pesticides in Aquatic Organisms by Gas Chromatography // Achievements in the Life Sciences. 2015. V. 9. pp. 65-68. doi:10.1016/j.als.2015.05.010
2. Lukyanova O.N., Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D., Khristoforova N.K. Pacific Salmon as a Vector in the transfer of Persistent Organic Pollutants in the Ocean // Journal of Ichthyology. 2015. V. 55. pp. 425-429. doi:10.1134/S0032945215030078
3. Lukyanova O.N., Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D., Khristoforova N.K. Bioaccumulation of HCHs and DDTs in organs of Pacific salmon (genus *Oncorhynchus*) from the Sea of Okhotsk and the Bering Sea // Chemosphere. 2016. V. 157. pp. 174-180. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.05.039
4. Tsygankov V.Yu., Lukyanova O.N., Khristoforova N.K. The Sea of Okhotsk and the Bering Sea as the region of natural aquaculture: Organochlorine pesticides in Pacific salmon // Marine Pollution Bulletin. 2016. V. 113. pp. 69-74. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.08.060
5. Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D., Lukyanova O.N., Khristoforova N.K. Bioindicators of organochlorine pesticides (OCPs) in the Sea of Okhotsk and the western Bering Sea // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2017. V. 73. pp. 176-184. doi:10.1007/s00244-017-0380-2

6. Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D., Lukyanova O.N. Bioaccumulation of organochlorine pesticides (OCPs) in the northern fulmar (*Fulmarus glacialis*) from the Sea of Okhotsk // *Marine Pollution Bulletin*. 2016. V. 110. pp. 82-85. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.06.084
7. Tsygankov V.Yu., Lukyanova O.N., Boyarova M.D. Organochlorine Pesticide Accumulation in Seabirds and Marine Mammals from the Northwest Pacific // *Marine Pollution Bulletin*. 2018. V. 128. pp. 208-213. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.01.027
8. Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D., Lukyanova O.N. Bioaccumulation of Persistent Organochlorine Pesticides (OCPs) by Gray Whale and Pacific Walrus from the Western Part of the Bering Sea // *Marine Pollution Bulletin*. 2015. V. 99. pp. 235-239. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.07.020



## 4 Морская геология

# КАРТИРОВАНИЕ ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ СВЕРХВЫСОКОДЕТАЛЬНОГО РАЗРЕШЕНИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКИ С ПОМОЩЬЮ СЕРИЙНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ

А. А. Барымова, А. В. Макаров  
Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова

THE MAPPING OF THE LITHORAL OF THE WHITE SEA USING SUPER-HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGERY AND AERIAL PHOTOGRAPHY BY UNMANNED AERIAL SYSTEM. COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS

A. A. Barymova, A. V. Makarov  
Lomonosov Moscow State University Marine Research Center

*moia@list.ru*

Ключевые слова: *спутниковая съёмка, аэрофотосъёмка, беспилотные летательные аппараты, картирование побережья, мониторинг, комплексные морские исследования, Белое море.*

Keywords: *satellite imagery, unmanned aerial system, drone aerial photography, aerial photography, monitoring, coastal mapping, integrated marine research, White sea.*

В настоящее время отрасль картографии и дистанционного зондирования переживает новый виток развития благодаря техническому прогрессу. Широкое распространение серийных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) фактически произвело революцию в области сбора пространственных данных. Однако спутниковая съёмка сверхвысокодетального разрешения (меньше  $1 \text{ м}^2$  земной поверхности на пиксель матрицы съёмочной аппаратуры) не теряет своей актуальности.

В данной работе представлено сравнение особенностей получения, применения и обработки результатов спутниковой съёмки сверхвысокодетального разрешения на примере снимков аппарата World View-2 и аэрофотосъёмки, выполненной БПЛА DJI Phantom-3 Professional и Phantom-4 Pro с целью картирования литоральной зоны Карельского берега Белого моря. Показаны основные сходства и различия этих методов работы с данными дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ).

Спутниковая съёмка применяется давно, её выгодно отличает возможность дистанционного получения данных на любую территорию, большая площадь охвата снимка, широкий оптический диапазон и наличие спектральных каналов. Несмотря на это, в настоящее время потребность в применении БПЛА для аэрофотосъёмки возрастает. Существенная экономическая выгода, простота в эксплуатации, доступность программного обеспечения - преимущества аэрофотосъёмки с помощью БПЛА для целей локального мониторинга, геоморфологических, геологических и геоботанических описаний и картирования прибрежной полосы арктических морей. Выявлены характерные особенности для аэрофотосъёмки с помощью БПЛА. Это отсутствие влияния рассеивающего эффекта атмосферы и возможность картирования подводных объектов до глубины 5-6 м в арктических морях с малопрозрачной водой.

Активно развивается и программное обеспечение, позволяющее обрабатывать аэрофотосъёмку для получения продукции, способной конкурировать со спутниковыми снимками по некоторым важным параметрам. Например, практически неограниченное максимальное пространственное разрешение, возможность построения цифровых моделей рельефа и высокоточных 3D-моделей ландшафтов.

Современный уровень аэрофотосъёмки, выполненной с помощью БЛА, позволяет использовать её одновременно со спутниковыми снимками для увеличения точности их дешифрирования и повышения качества математической обработки с целью комплексного картирования побережий.

## КАРБОНАТНЫЕ КОНТУРИТЫ ДРИФТА ИОФФЕ

Д. Г. Борисов, И. О. Мурдмаа, Е. В. Иванова  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

## CALCAREOUS CONTOURITES OF THE IOFFE DRIFT

D. G. Borisov, I. O. Murdmaa, E. V. Ivanova  
Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*borisov.ocean@gmail.com*

Ключевые слова: *донные осадки, сейсмофильтрация, биогенные карбонатные илы, осадочное тело, гранулометрия, магнитная восприимчивость.*

Keywords: *bottom sediments, seismic profiling, calcareous ooze, depositional body, grain-size distribution, magnetic susceptibility.*

Дрифт Иоффе - это условное название осадочного тела, открытого учеными ИО РАН в 2010 году в районе субширотного хребта в зоне разломов Флорианополис (Южная Атлантика) [3]. Дрифт прослеживается в интервале глубин от 3700 до 4000 м. В акустической структуре осадочного тела были обнаружены внутренние угловые несогласия, признаки эрозии, отмечена линзовидная форма сейсмоакустических диниц. По результатам анализа сейсмоакустических данных, колонки донных осадков АИ-2436, полученной на дрифте, а также гидрологических данных, свидетельствующих о наличии в данном районе интенсивных придонных течений [2], исследуемое осадочное тело было предварительно классифицировано как дрифт (т.е. осадочное тело, сформированное преимущественно под действием придонных течений [4]).

В основу данной работы легли сейсмоакустические профили сверхвысокого разрешения, полученные в 32-м и 46-м рейсах НИС «Академик Иоффе» с помощью параметрического эхолота-профилографа “пSES 2000 deep” (результатирующая частота 4 кГц), а также 5 колонок донных осадков длиной 3.46-7.1 м, отобранные в интервале глубин 3750-3900 м в рейсах 32, 46 и 52 НИС «Академик Иоффе» (2010, 2014, 2016 гг.) [1].

Анализ сейсмоакустических данных позволил выделить шесть основных типов акустических образов донных отложений, были изучены закономерности их площадного распределения. Наиболее распространенными типами акустических образов являются следующие: 1) акустические образы с протяженными, интенсивными параллельными отражающими границами. Для этого типа характерна большая глубина проникновения акустического сигнала в осадки (около 75 м); 2) акустические образы, характеризующиеся ундулирующими рефлекторами и наличием внутренних угловых несогласий; 3) акустические образы с мелкохолмистым характером поверхности дна и хаотической акустической структурой. Первый тип распространен преимущественно на южном склоне осадочного тела, второй тип - в центральной части и на северном склоне, третий тип преобладает у основания северного склона.

В восточной части района исследования выявлены четкие эрозионные каналы глубиной 5-40 м и шириной в верхней части сечения до 2 км. Они приурочены к выходам более древних пород в виде небольших холмов или гряд высотой до 100 м и шириной по профилю в основании до 4 км. Каналы обнаруживаются у основания этих холмов и гряд с южной стороны. При этом конфигурация каналов, обнажений коренных пород и приуроченных к ним аккумулятивных форм является классической для контуритовых систем и многократно описана в статьях [4]. Данная конфигурация каналов и примыкающих к ним осадочных тел свидетельствует о наличии устойчивых в пространстве и времени струй придонного течения, движущегося на восток. Это направление совпадает с генеральным направлением движения Нижних циркумполярных вод (НЦПВ), омывающих район исследования. Формирование каналов только с одной стороны от топографических препятствий вероятнее всего связано с деятельностью силы Кориолиса, отклоняющей поток влево (в Южном полушарии) по ходу движения и прижимающей его к препятствиям с южной стороны. Данный механизм формирования эрозионных каналов многократно описан и подтвержден на многочисленных примерах [напр.,

4]. В акустической структуре Дрифта Иоффе выделены четыре основных сейсмофациальных единицы. Они разделены между собой угловыми несогласиями. В структуре изучаемого осадочного тела выявлены многочисленные признаки эрозии (срезания отражающих границ). Наиболее вероятно, что столь активная эрозия в рассматриваемом районе связана с периодами значительной интенсификации придонного течения НЦПВ.

Колонки донных осадков вскрыли разрезы биогенных карбонатных илов, сложенных преимущественно раковинами фораминифер и кокколитами. Соотношение раковин фораминифер и кокколитов циклически меняется по разрезам колонок, что наглядно отражается в изменении цвета осадка. В колонках выделяются немногочисленные сероватые прослои, обогащенные терригенным материалом и характеризующиеся максимальными значениями магнитной восприимчивости. В нескольких колонках обнаружены железомарганцевые конкреции. На основании данных о изменении магнитной восприимчивости осадка вскрытые колонками разрезы были соотнесены между собой. В результате данного сопоставления подтверждены признаки перерывов в осадконакоплении, выявленные ранее на основе изучения видового состава планктонных фораминифер и кокколитофорид [3]. Данные перерывы предположительно связаны с периодами интенсификации придонных течений вод антарктического происхождения. Анализ гранулометрических данных позволил выявить признаки циклического характера изменения среднего размера частиц осадка по разрезам колонок. Такие изменения предположительно связаны с долговременными вариациями скорости придонных течений (предположительно в масштабах сорока- и столетических циклов). Для подтверждения этого предположения необходимо проведение дополнительных анализов. На основании имеющихся литологических и сейсмических данных сделаны выводы о наиболее вероятной контуритовой природе вскрытых отложений.

*Работа выполнена частично за счет Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-909.2017.5 (Борисов) и Госзадания 0149-2018-0016 (Мурдмаа, Иванова - обработка сейсмопрофилей 32-го рейса НИС "Академик Иоффе", анализ видового состава планктонных фораминифер)*

#### Литература

1. Иванова Е.В., Мурдмаа И.О., Борисов Д.Г., Исаченко С.М., Сейткалиева Э.А., Баширова Л.Д., Блинова Е.В., Ульянова М.О., Липидус Л.В., Фидаев Д.Т. Изучение контуритовых систем Южной Атлантики в 46-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе» // Океанология. 2016. Т. 56. № 5. С. 827-829.
2. Тараканов Р.Ю., Морозов Е.Г. Поток Антарктической донной воды на выходе из канала Вима // Океанология. 2015. Т. 55. № 2. С. 173-181.
3. Ivanova E., Murdmaa I., Borisov D., Dmitrenko O., Levchenko O., Emelyanov E. Late Pliocene-Pleistocene stratigraphy and history of formation of the Ioffe calcareous contourite drift, Western South Atlantic // Mar. Geol. 2016. V. 327. pp. 17-30.
4. Rebesco M., Hernandez-Molina F.J., Van Rooij D., Wahlin A. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations // Marine Geology. 2014. V. 352. pp. 111-154.

## КОНТУРИТЫ НА ПОДНЯТИИ СЕАРА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ АТЛАНТИКА)

Д. Г. Борисов, Н. В. Немченко  
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

CONTOURITES ON THE SEARA RISE (CENTRAL ATLANTIC)

D. G. Borisov, N. V. Nemchenko  
Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*borisov.ocean@gmail.com*

Ключевые слова: *донные осадки, глубоководное осадконакопление, придонные течения, конус выноса Амазонки, осадочные волны, сейсмопрофилирование.*

Keywords: *bottom sediments, deep-water sedimentation, bottom currents, Amazon Fan, sediment waves, seismic profiling.*

Поднятие Сеара представляет собой асейсмичный хребет в Центральной Атлантике, образовавшийся около 80 млн. лет назад в районе Срединно-Атлантического хребта. Оно простирается более чем на 500 км с северо-запада на юго-восток и превышает 100 км по ширине. Глубина океана варьирует от 4600 м у подножия северо-восточного склона поднятия до 3100 м на вершине. Поднятие Сеара является ключевым регионом для изучения истории глубинной и придонной циркуляции в Центральной Атлантике, поскольку оно омывается Антарктическими придонными и Североатлантическими глубинными водами.

Цель данной работы состоит в выявлении контуритов по литологическим и сейсмическим признакам в разрезе четвертичных осадков поднятия Сеара, а также изучении их вещественного и гранулометрического состава.

В основу данной работы легли результаты сейсмопрофилирования, выполненного в 35-м, 50-м и 53-м рейсах НИС «Академик Иоффе» (2011, 2015, 2017) с помощью параметрического профилографа «SES 2000 deer» (резльтирующая частота 4 кГц) [1-3], а также в рейсе EW9209 НИС «Maurice Ewing» (1992) [4], проведенного с использованием профилографа Grupp-Atlas Hydrosweeper (3.5 кГц). Кроме того, были изучены 9 колонок донных осадков, полученных в рейсах 50 и 53 НИС «Академик Иоффе» на поднятии Сеара и его подножии. Гранулометрический состав осадков из 7 колонок изучался в АО ИО РАН (Калининград) на лазерном анализаторе частиц SHIMADZU SALD 2300. Кроме того, для тех же колонок в АО ИО РАН был проведен анализ содержания карбоната кальция и органического углерода на экспресс-анализаторе углерода АН-7529. Для выявления текстур, характерных для контуритов архивные части колонок были изучены в МГУ с применением компьютерной томографии на томографическом анализаторе ядра РКТ-180. Томографическое исследование колонок данных осадков, отобранных на поднятии Сеара, было выполнено впервые. Для корреляции разрезов 9 колонок донных осадков в ИО РАН были проведены детальные измерения магнитной восприимчивости осадков (с шагом 0.5 см) с помощью современной системы Bartington MS3 с поверхностным датчиком Bartington MS2E.

Наиболее выраженные литологические признаки контуритов выявлены в колках, отобранных на северо-восточном склоне поднятия Сеара. Одним из характерных признаков контуритов, обнаруженным в разрезах колонок АИ-3420 и АИ-3421, является наличие волнообразных серых тонких прослоев силта, чередующихся с прослоями силтово-глинистого ила. В данных ламинированных прослоях вверх по разрезу прослеживается постепенная смена обратной градационной слоистости на нормальную. Такие тонкослоистые интервалы с указанными гранулометрическими особенностями вероятнее всего представляют собой один из вариантов контуритовых циклитов, формирование которых обусловлено флуктуациями интенсивности придонных течений. Предполагаются также неполные контуритовые циклиты, нижняя часть которых уничтожена эрозией при увеличении скоростей течений до максимальных значений. В зависимости от глубины отбора колонки и расстоянием до конуса выноса

Амазонки значительно меняется общий характер распределения значений магнитной восприимчивости по разрезу.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-60111 мол\_а\_дж.*

### Литература

1. Борисов Д.Г., Мурдмаа И.О. Сейсмостратиграфия верхнечетвертичных отложений северо-восточного склона поднятия Сеара (Центральная Атлантика) // Геология и Геофизика. 2018. Т. 59. № 3. С. 336-345.
2. Иванова Е.В., Мурдмаа И.О., Борисов Д.Г., Сейткалиева Э.А., Баширова Л.Д., Овсепян Е.А., Булычева Е.В., Симагин Н.В., Крек А.В., Фидаев Д.Т. Изучение контуритовых систем западной Атлантики в 50-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе» // Океанология. 2016. Т. 56. № 6. С. 975-976.
3. Левченко О.В., Мурдмаа И.О., Иванова Е.В., Мутовкин А.Д., Блинова Е.В., Борисов Д.Г., Дремучев С.А., Исаченко С.М., Константинова Н.П., Лapidус Л.В., Маринова Ю.Г., Фирстова А.В., Францева Т.Н., Юцис В.В. Новые результаты сейсмофациального анализа четвертичных отложений Западной Атлантики // Доклады Академии наук. 2014. Т. 458. № 4. С. 480-485.
4. Mountain G.S., Curry W.B. Cruise Ew9209: site survey for Leg 154. In Curry W.B., Shackleton N.J., Richter C., et al., Proc. ODP, Initial Reports., 154: College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1995. pp. 39-52.

# ВЕЩЕСТВЕННЫЙ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДОННЫХ ОСАДКОВ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ АРГЕНТИНСКОЙ ПАТАГОНИИ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ АТЛАНТИКА)

К. А. Гинзбург, Д. Г. Борисов, Н. В. Симагин  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

MINERAL AND GRAIN-SIZE COMPOSITION OF SURFACE SEDIMENTS ON THE PATAGONIAN  
ARGENTINE CONTINENTAL SLOPE (WESTERN SOUTH ATLANTIC)

K. A. Ginzburg, D. G. Borisov, N. V. Simagin  
Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*Kginzburg@yandex.ru*

Ключевые слова: *контуриты, контуритовые террасы, современное осадконакопление, гравитационные потоки, придонные течения.*

Keywords: *contourites, contourite terraces, modern sedimentation processes, gravity flows, bottom currents.*

Район исследования охватывает участок континентального склона Южной Америки на юго-западе Аргентинской котловины в пределах 42°-48° ю.ш. В ходе предыдущих исследований на глубине от 500 до 4000 м в данном районе были выявлены четыре полого наклоненные в сторону океана террасы, простирающиеся вдоль склона на расстояние более 300 км и достигающие 50 км в ширину (напр., [1, 2]). Рельеф дна в рассматриваемом районе осложнен системой подводных каньонов, большинство из которых берут свое начало на верхнем континентальном склоне и лишь некоторые врезаются в бровку шельфа. В нижней части континентального склона выявлена серия крупных эрозионных каналов, протянувшихся вдоль склона на несколько сотен километров. Ранее выполненные исследования показали, что все четыре террасы приурочены к областям высоких градиентов плотности воды, которые соответствуют границам между четырьмя основными водными массами Антарктического происхождения, омывающими склон. Предполагается, что данные террасы были сформированы в результате взаимодействия контурных течений Антарктических вод, движущихся в генеральном направлении на север, и ряда процессов, протекающих на границе водных масс (в т.ч. внутренних волн) [1, 3].

Изучение террас ранее проводилось преимущественно на основе сейсмических данных, в то время как литология слагающих террасы донных осадков остается практически не изученной. Целью данной работы является изучение вещественного и гранулометрического состава поверхностных донных осадков (верхние 3 см) в рассматриваемом районе и исследование закономерностей пространственного распределения их свойств (цвет, содержания карбоната кальция, органического углерода, среднего размера частиц) в районе исследования. Основой для исследования послужили образцы поверхностных донных осадков, полученные с помощью дочерчателей и гравитационных трубок на 40 станциях в рейсах 46, 50, 52, 53 НИС «Академик Иоффе» (2014, 2015, 2016 и 2017 гг. соответственно). Пробы донных осадков были отобраны в интервале глубин 549-3801 м.

Вещественный состав осадков изучался в смер-слайдах под поляризационным микроскопом. Определение цвета осадка проводилось по шкале Манселла (Munsell Geological Rock-Color Chart, 1995), а также с использованием спектрофотометра Konica Minolta CM-2300d. Гранулометрический состав определялся на лазерных анализаторах размеров частиц Fritsch Analysette 22 Micro Tec Plus (МГУ, Москва) и Shimadzu SALD 2300 (АО ИО РАН, Калининград). Измерение содержания карбоната кальция и органического углерода в осадках было выполнено на экспресс-анализаторе углерода АН-7529 (АО ИО РАН, Калининград). Дополнительно содержание карбоната кальция определялось с помощью манометрического кальциметра FANN 432. На основании полученных данных выделены литологические типы современных осадков, выявлены основные закономерности их распространения на поверхности дна, построены карты их пространственного распределения.

Донные осадки на террасах представлены преимущественно глинисто-силтовыми и глинисто-песчано-силтовыми илами. Наиболее грубозернистые отложения выявлены в руслах каньонов. В каньонах были также обнаружены живые и мертвые глубоководные кораллы. В большинстве проб донных осадков выявлено значительное содержание глауконита, который предположительно был принесен на континентальный склон гравитационными потоками. В ряде проб отмечается наличие угловатых обломков пород (дресвы, щебня), интерпретированных как материал айсбергового разноса.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (Проект №18-17-00227).*

### Литература

1. Hernández-Molina F.J., Paterlini M., Somoza L. et al. Giant mounded drifts in the Argentine Continental Margin: Origins, and global implications for the history of thermohaline circulation // Marine and Petroleum Geology. 2010. V. 27. pp. 1508– 1530.
2. Muñoz A., Acosta J., Cristobo J., Druet M., Uchupi E., Atlantis Group. Geomorphology and shallow structure of a segment of the Atlantic Patagonian margin // Earth-Science Reviews. 2013. V. 121. pp. 73-95.
3. Preu B., Hernández-Molina F.J., Violante R. et al. Morphosedimentary and hydrographic features of the northern Argentine margin: The interplay between erosive, depositional and gravitational processes and its conceptual implications // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2013. V. 75. pp. 157– 174.



# ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ И РЕЧНОГО СТОКА НА ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОСАДКОВ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ МОРЯ

К. И. Гуров, В. В. Фомин  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

INFLUENCE OF WIND WAVES AND RIVER FLOW ON THE FORMATION OF GRANULOMETRIC COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS IN THE COASTAL ZONE

K. I. Gurov, V. V. Fomin  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*gurovki@gmail.com*

Ключевые слова: *береговая зона моря, Крымский п-ов, речной сток, донные отложения, гранулометрический состав, модель XBeach.*

Keywords: *coastal zone, Crimean Peninsula, river runoff, bottom sediments, granulometric composition, model XBeach.*

Изучение переноса веществ в береговой зоне моря под воздействием волн и течений дает возможность прогнозировать изменения экосистемы береговой зоны при различных гидрометеорологических условиях и антропогенных воздействиях.

Известно, что речной сток и абразионные процессы являются доминирующим источником поступления твердого вещества в береговую зону, а также одними из факторов, определяющих изменения гранулометрического состава донных осадков в береговой зоне. Поскольку реки Западного Крыма сильно зарегулированы, то именно совместное влияние ветрового волнения и речного стока может оказывать значительное влияние на формирование фракционного состава донных осадков.

В настоящей работе исследование динамики гранулометрического состава донных осадков на участке береговой зоны Крымского п-ва в районе устья р. Бельбек проводилось с использованием модели XBeach. Применялся двухмерный вариант модели с постоянным шагом сетки 10 м. Характеристики ветрового волнения задавались с помощью спектра JONSWAP с различными комбинациями высоты и периода волн. Расчеты осуществлялись для штормового события продолжительность около 24 часов.

Проведена серия численных экспериментов для исследования механизма перераспределения наносов различной крупности под воздействием речного стока в отдельности, а также совместного влияния речного стока и ветрового волнения различной направленности и интенсивности. Гранулометрический состав донных осадков задавался в виде смеси из трех компонентов (мелкий гравий и крупнозернистый песок - среднезернистый песок - мелкозернистый песок), распределенных с различным соотношением объемных концентраций на различных участках исследуемой акватории. Полученные результаты показали, что перераспределение песчаных фракций начинает происходить уже в первые часы воздействия. Установлено, что под воздействием речного стока доля мелкозернистого материала вблизи устья в течение суток возрастает в 4 раза, а содержание средне- и крупнозернистых фракций соответственно уменьшается.

Выявлено, что при совместном учете влияния ветрового волнения и речного стока пространственные особенности распределения песчаных фракций определяются не только интенсивностью ветрового волнения, но и его направлением. По мере увеличения времени воздействия волнения общая ширина полосы сортировки наносов по крупности увеличивается. Как показали результаты моделирования, под воздействием волнения происходит накопление купно- и среднезернистых фракций на участке между изобатами 2,5-3,5 м. Мелкозернистый материал из устья реки накапливается в прибрежной части, образуя конус выноса, а в мористой части акватории за счет ослабления гидродинамической активности.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004.*

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КАРБОНАТНЫХ МОРСКИХ ОСАДКОВ

А. В. Ермаков  
Геологический институт РАН, Москва

### PECULIARITIES OF FORMATION OF CARBONATE SEA SEDIMENTS THERMAL CONDUCTIVITY

A. V. Ermakov  
Geological Institute of the RAS, Moscow

*a.v.ermakov@gmail.com*

Ключевые слова: *теплопроводность, Центральная Атлантика, осадки, влажность, карбонаты.*

Keywords: *thermal conductivity, Central Atlantic, sediments, water content, carbonates.*

Теплопроводность донных осадков в наибольшей степени зависит от содержания воды из-за ее большой теплоемкости. Это содержание определяется как исходным соотношением жидкой и твердой составляющих в осадке, так и изменениями в процессе литификации. Обычно происходит уменьшение влажности при уплотнении под действием веса вышележащих слоев вновь накопившегося осадка и отжатию поровой влаги. В этом случае теплопроводность в разрезе постепенно увеличивается с глубиной.

В значительной степени теплопроводность ависит также от гранулометрического и минерального состава частиц осадка, так как они являются предпочтительной средой для распространения тепла. Теплопроводность увеличивается при росте диаметра частиц и увеличении концентрации зерен высокотеплопроводных минералов, таких как карбонаты, кварц или рудные минералы. В разрезе при постоянстве характеристик источника твердого материала теплопроводность будет постоянна или следовать изменению влажности.

Колонки АНС33047 и АНС 33056 были отобраны в 33 рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в зоне разломов Врнадского и Долдрамс. Первая колонка отобрана вблизи срединно-океанического хребта с глубины 4027 м, в 1500 км от подножия континентального склона, вторая - в относительной близости к континенту (250 км от континентального склона) в северо-западной части глубоководного прохода Кейн с глубины 4543 м. Теплопроводность осадков оценивалась через 10 см параллельно плоскости напластования, что позволяет оценить изменчивость теплопроводности в разрезе и выявить наличие небольших прослоев контрастной теплопроводности, которые могут существенно повлиять на общую тплопроводность осадков.

В колонке АНС33047 выделяется группа точек, которую можно аппроксимировать линейной зависимостью: значения уменьшаются с глубиной от 1,14 до 0,98 Вт/м·К, при этом наиболее четко эта зависимость прослеживается в интервале 250-430 см. Остальные значения, которые широко разбросаны относительно этой «средней» линии, представляют собой локальные максимумы и минимумы, связанные с изменением физических свойств осадка. Среди минимумов выделяются крупные (на 110, 440, 460, 500), амплитуда которых относительно фоновых значений достигает 0,27-0,35 Вт/м·К, а мощность - до 30 см. Минимумы теплопроводности, по-видимому, соответствуют более темным участкам разреза, которые в таком случае можно интерпретировать как прослой с увеличенным содержанием вулканогенного материала. Максимумы имеют, в общем, меньшую амплитуду (0,09-0,14 Вт/м·К), за исключением двух крупных максимумов в нижней части колонки - 0,2 Вт/м·К на глубине 470-480 см и 0,64 Вт/м·К (!) на глубине 420 см. Последний при абсолютном значении теплопроводности 1,65 Вт/м·К не выражается в изменении облика осадков. Для максимумов характерна мощность в 10-40 см, так что в средней чати колонки от 130 до 330 см они образуют почти параллельную основному тренду линию. Среднее значение теплопроводности в колонке составляет 1,07 Вт/м·К, минимальное - 0,65 Вт/м·К, максимальное - 1,65 Вт/м·К.

В колонке АНС33056 прямолинейный участок выделяется наиболее четко в верхней части колонки до глубины 270 см. Теплопроводность здесь понижается от 1,10 до 0,96 Вт/м·К. Значения, принадлежащие этой предполагаемой линии тренда, встречаются и в нижней части колонки, но здесь преобладает чередование крупных максимумов и минимумов. Амплитуды изменений в колонке составляют 0,1-0,24 Вт/м·К, самые значительные пики на 360 и 410 см достигают амплитуды 0,3 Вт/м·К. При внешнем различии с АНС33047 минимумы теплопроводности, по-видимому, также приурочены к более темным прослоям вулканических пеплов (?) в колонке, а максимумы не выражаются визуалью. Минимальное значение в колонке составляет 0,68 Вт/ м·К, максимальное - 1,29 Вт/ м·К, среднее - 1,00 Вт/ м·К.

Колонки АНС33047 и АНС33056 демонстрируют общую тенденцию к снижению теплопроводности вниз по разрезу, что менее характерно для морских осадков, чем постоянство или увеличение теплопроводности с глубиной. Значения уменьшаются неравномерно, с разноамплитудными максимумами и минимумами.

Уменьшение теплопроводности по разрезу описано [1] для турбидитов с характерным размером ритма - первые метры (что сопоставимо с длиной отобранных нами колонок). В этом случае уменьшение теплопроводности связывается им с изменением гранулометрического состава и сопутствующим уменьшением процентного содержания карбонатов. Однако у нас теплопроводность оказывается выше в колонке АНС33047, более удаленной от континентального склона. Необъяснима с этой позиции и сильная неоднородность с теплопроводности с пиками в пределах предполагаемого «ритма».

В то же время, наблюдаемые изменения теплопроводности, вероятно, действительно связаны с изменением содержания карбонатов. Для атлантических колонок известны значительные колебания содержания  $\text{CaCO}_3$ , достигающие 40%, вследствие их растворения, интенсивность которого изменялась в разные климатические периоды [2]. Более низкая средняя теплопроводность осадков в колонке АНС33056 может быть объяснена «разбавлением» содержания карбонатов менее теплопроводным и более мелкозернистым осадочным материалом, поступающим с ветровым переносом с материка.

### Литература

1. Horai K.-I. Thermal conductivity of sediments and igneous rocks recovered during Deep Sea Drilling Project Leg 60 [Текст] // Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. 1982. pp. 807-834.
2. Giresse P. Tropical and sub-tropical West Africa - Marine and continental changes during the Late Quaternary // Dev. In Quater. Sci. 10. Elsevier, 2007. 406 p.

# ОБРАЗОВАНИЕ ФРАМБОИДАЛЬНОГО ПИРИТА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ КОТЛОВИНЫ В УСЛОВИЯХ СЕРОВОДОРОДНОГО ЗАРАЖЕНИЯ

Н. В. Козина, Л. Е. Рейхард  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

FORMATION OF FRAMBOIDAL PYRITE IN BOTTOM SEDIMENTS OF SOUTH CASPIAN BASIN UNDER CONDITIONS OF HYDROGEN SULFIDE CONTAMINATION

N. V. Kozina, L. Ye. Reykhard  
P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow

*kozina\_nina@bk.ru*

Ключевые слова: *Каспийское море, донные осадки, аутигенные минералы, фрамбоидальный пирит, сероводородное заражение, диагенез, геохимия.*

Keywords: *The Caspian Sea, bottom sediments, authigenic minerals, framboidal pyrite, hydrogen sulfide contamination, diagenesis, geochemistry.*

Аутигенный пирит в осадочных отложениях различных водоемов образуется, как правило, на стадии раннего диагенеза и является характерным минералом-индикатором восстановительных условий [3]. Определение «фрамбоидальный пирит» (от французского слова «la framboise» - малина) впервые было введено Г. Растром для обозначения сферических агрегатов из мелких кристаллитов пирита. Установлено, что фрамбоидальный пирит в осадках имеет биогенное (бактериальное) происхождение, т.к. его образование связано с жизнедеятельностью сульфатредуцирующих бактерий в восстановительных условиях [4]. Изучаемый материал был получен в ходе 39-го рейса НИС «Рифт» в 2012 г. в рамках проекта «Система Каспийского моря» под руководством академика А.П. Лисицына [2]. Отбор донных садков был выполнен в центральной части Южно-Каспийской котловины на глубине 1000 м (ст. 3916; координаты N 38°58.528' E 50°45.738') с помощью мультикорера «KUM», который позволяет сохранить без нарушений пограничный слой между водной толщей и донными отложениями (наилок). Пробы донных осадков были отобраны из керна (длиной 35 см и диаметром 10 см) с различной дискретностью: от 0.5 см - из верхней части колонки до 5.0 см - из нижней.

Минералогические и геохимические исследования донных осадков проводились в Аналитической лаборатории и в Лаборатории физико-геологических исследований Института океанологии имени П.П. Ширшова РАН. Методика этих анализов была описана в прошлых работах [2]. Донные осадки (ст. 3916) представлены переслаиванием пелитовых илов с незначительным содержанием песчано-алевритовой примеси, преимущественно слабоизвестковых, с микрослоистой и пористо-кавернозной текстурой, в разной степени насыщенных гидротроилитом в виде примазок, стяжений и тонких прослоев. До глубины 8 см в донных осадках присутствует сильный запах сероводорода.

По данным микроскопических исследований и рентгенографического азотного анализа минеральный состав донных осадков представлен главным образом кварцем (14-29%), полевыми шпатами (альбитом - до 16% и калиевым полевым шпатом - до 15%) и глинистыми минералами (иллитом - до 21%, каолинитом - до 8%, хлоритом - до 14%, монтмориллонитом - до 0.5%) в различных соотношениях. В виде акцессорной примеси присутствуют минералы тяжелой подфракции - амфиболы, пироксены, циркон, турмалин, гранат, эпидот, кианит, апатит, рудные минералы. Во включениях наблюдаются раковинный детрит, кокколиты, опаловые панцири диатомей различной сохранности и растительный аттрит [1]. Отличительной особенностью изученных донных осадков является высокое содержание в них аутигенных минералов групп сульфатов (гипса) и карбонатов (кальцита, магнезиального кальцита, кутнагорита) [1].

В процессе рентгенографического фазового анализа в донных осадках ст. 3916 был обнаружен пирит, содержание которого не превышает 4%. Максимальное содержание (4%) зафиксировано в интервале 6-7 см. Методом сканирующей электронной микроскопии установлено, что в пелитовых илах

ст. 3916 пирит присутствует в виде фрамбOIDов - сферических и субсферических агрегатов сложного строения, состоящих из кристаллитов, а также в виде отдельных кристаллитов или их беспорядочных скоплений различной формы. Отмечено, что развитие фрамбOIDального пирита происходит как по растительным остаткам и панцирям диатомей, так и в поровом межзерновом пространстве донных осадков. В пелитах присутствуют одиночные фрамбOIDы и их скопления, в которых каждый фрамбOID представляет собой обособленный индивидуальный агрегат кристаллитов. Размеры фрамбOIDов варьируют в пределах от 3-4 до 10 микрометров в диаметре.

Геохимические исследования показали, что изученные донные осадки Южно-Каспийской впадины сильно, но неравномерно обогащены органическим веществом (1.4-8.7%) и железом (1.2-6.6%). Установлено, что содержание железа (Fe.) сильно варьирует в пределах от 1.2% до 6.6% по всей мощности колонки без видимой закономерности. В слоях, где в результате рентгенографического фазового анализа было зафиксировано содержание пирита более 1%, Fe. составляет от 2.8% (в интервале 0-0.5 см, т.е. в наилке) до 6.6% (в интервале 9-10 см). Максимальное содержание пирита установлено в интервале 6-7 см, где Fe. составляет 4.4% [1].

Присутствие фрамбOIDального пирита, как в глубоких горизонтах осадочной толщи, так и в самом поверхностном слое донных осадков связано с совокупностью особых геологических, гидрологических и геохимических условий, сложившихся в данном районе. В водной толще Южно-Каспийской котловины глубже 600 м существуют восстановительные условия, присутствует сероводород [2]. Как было показано в предыдущих работах, содержание С. в донных осадках Южно-Каспийской котловины очень высокое, особенно в верхнем слое (8.7%), что создает благоприятные условия для жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий [2]. Железо поступает в составе терригенного стока с окружающей суши, отчасти с эоловым материалом и, возможно, с гидротермальными водами Челекена [2]. Высокая сульфатность поровых вод была отмечена ранее [2]. Аридность климата и отсутствие стока из Каспийского моря приводит к концентрированию в донных осадках всех поступающих в Южно-Каспийскую впадину компонентов и их последующему преобразованию в процессе диагенетической фазовой дифференциации вещества [1, 2]. Такое сочетание факторов приводит к тому, что уже в наилке присутствует незначительное содержание аутигенного пирита.

Таким образом, при изучении фрамбOIDов пирита из донных отложений Южно-Каспийской котловины установлено следующее: образование фрамбOIDального пирита зафиксировано как в верхнем слое донных осадков (наилке), так и на более глубоких горизонтах (до 35 см); на изученном участке пиритообразование приурочено к тонким пелитовым илам с сильно минерализованными поровыми водами; фрамбOIDы пирита в целом отличаются низкой степенью геометрической упорядоченности, что возможно является следствием незавершенности процесса кристаллизации пирита; коррозионность и признаки деформации кристаллитов и фрамбOIDов скорее всего возникли в условиях агрессивности физико-химической среды, а также при процессах уплотнения и обезвоживания донных осадков в процессе диагенетических преобразований.

*Авторы выражают благодарность А.К. Амбросимову, А.А. Ключиткину, М.Д. Кравчишиной, Н.В. Полотовой, А.Н. Новигатскому за помощь на экспедиционном этапе; В.А. Карлову, О.М. Дара, В.В. Гордееву, Л.В. Деминной, А.Н. Рудаковой - за проведение аналитических исследований. Авторы признательны за консультации академику А.П. Лисицыну и д.г.-м.н. А.Ю. Леин.*

*Экспедиционные работы выполнены при поддержке гранта РФФ № 14-27-0014. Подготовка и обработка проб, минералогические исследования и интерпретация данных выполнены при поддержке гранта РФФИ № 16-35-60028. Геохимические исследования выполнены в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0016).*

#### Литература

1. Kozina N.V. Formation of framboidal pyrite in bottom sediments of the South Caspian Basin under conditions of hydrogen sulfide contamination/ N.V. Kozina, L.Ye. Reykhard, O.M. Dara, V.V. Gordeev // Rus. J. Earth Sci. (RJES). 2018. In press.
2. Система Каспийского моря. М.: Научный мир. 2016. 480 с.
3. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза / Н.М. Страхов. Москва: Изд-во Академии наук СССР. 1962. Т. 2. 574 с.
4. Love L.G. Micro-Organisms and the Presence of Syngenetic Pyrite / L.G. Love // Quart. J. Geol. Soc. London. V. 113. 1957. pp. 429-440.

# ПОТОКИ РАССЕЯННОГО ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ: ГЕНЕЗИС, СОСТАВ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Е. В. Колтовская<sup>1</sup>, А. А. Ключиткин<sup>2</sup>, А. Н. Демидов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва

FLOWES OF MULTIPLE SEDIMENTARY MATTER IN THE NORTHERN ATLANTIC: GENESIS, COMPOSITION, DISTRIBUTION

E.V. Koltovskaya<sup>1</sup>, A.A. Klyuvitkin<sup>2</sup>, A. N. Demidov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University

<sup>2</sup>P.P.Shirshov Institute of Oceanology of the RAS

*katyayaya15@gmail.com*

Ключевые слова: *осадочное вещество, потоки вещества, Северная Атлантика.*

Keywords: *sedimentary matter, matter flows, North Atlantic.*

Основная цель работы - оценка вертикальных потоков и переноса рассеянного осадочного вещества в северной части Атлантического океана в связи с его гидрологическими условиями.

Использовались 2 вида седиментационных ловушек: интегральные цилиндрические малые седиментационные ловушки - МСЛ-110 и большие конические 12-стаканные седиментационные ловушки Лотос с интервалом смены пробосборников 30 суток. Ловушки позволили отобрать интегральные пробы осаждающегося материала на каждой ПБС с 5 различных горизонтов, который впоследствии был обработан в Лаборатории физико-геологических исследований Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Для определения значений потоков и дальнейших исследований состава вещества каждую пробу обрабатывали методом вакуумной фильтрации через ядерные и параллельно через стекловолоконистые фильтры, затем полученное сухое вещество взвешивали и получали суммарное количество материала в каждой пробе. Зная площадь сбора ловушки и экспозицию, нетрудно перейти к расчету вертикального потока осадочного вещества ( $\text{мг}/\text{м}^2/\text{сут}$ ). Содержание Si, Al, P определяли методом мокрой химии с колориметрическим окончанием на фотоколориметре; определение взвешенного органического и общего углерода выполнялось методом кулонометрического титрования на анализаторе АН-7529; определение изотопного состава углерода для идентификации его генезиса выполнено на масс-спектрометре Delta Plus (Германия) в масс-спектрометрической лаборатории ИНМИ ФИЦ Биотехнологии РАН. Содержание литогенного материала и аморфного кремнезема в составе осаждающегося вещества определялось расчетным методом на основании среднего содержания элементов индикаторов (Al, Si) в земной коре, сланцах, глинах.

Анализ материала ловушек, действующих с июля 2015 по июль 2016 г. позволил оценить изменчивость величин потока вещества на всех горизонтах в течение года. Самые значимые величины приходится на июль, август, сентябрь: в придонном слое на горизонте 2463 м это значение превышало  $120 \text{ мг}/\text{м}^2/\text{сут}$ , в промежуточном -  $75 \text{ мг}/\text{м}^2/\text{сут}$ . В поверхностном слое максимальные значения составили  $28,9 \text{ мг}/\text{м}^2/\text{сут}$ . Максимум на горизонте 444 м и 2128 м наступает синхронно в июле. Начиная с октября потоки значительно уменьшаются, достигая минимумов в осенне-зимний и раннего цветения период: в придонном горизонте потоки уменьшались до  $0,2 \text{ мг}/\text{м}^2/\text{сут}$  в период активного весеннего цветения. В период с июля 2016 по 2017 г. в придонном слое на горизонте 2183 м сезонный ход выглядел иначе: в летний период также наблюдались высокие значения потоков (до  $60 \text{ мг}/\text{м}^2/\text{сут}$ ), но величина  $88,6 \text{ мг}/\text{м}^2/\text{сут}$  пришелся на ноябрь.

Интегральные потоки взвеси, полученные с помощью МСЛ, установленных в Исландском бассейне на различных горизонтах, показывают схожий характер накопления материала в периоды 2015-2016 гг. и 2016-2017 гг.: значимые величины потоков зафиксированы в подповерхностном слое (400-500 м)

и составили  $32,8 \text{ г/м}^2/\text{год}$  и  $37 \text{ г/м}^2/\text{год}$  соответственно. Максимумы потоков наблюдаются примерно в 100 м от дна на горизонтах 2128 и 2175 м и составляют  $91,8$  и  $61,7 \text{ г/м}^2/\text{год}$  соответственно. На другой станции, расположенной ближе к восточному склону хр. Рейкьянес, в первый период интегральные потоки на поверхности соизмеримы с их величинами в придонном слое:  $39,5 \text{ г/м}^2/\text{год}$  на глубине 419 м. и  $33,6 \text{ г/м}^2/\text{год}$  - на 2463 м. В следующий период работы ловушек максимум на глубине 2183 м был более выраженным и составил  $123,9 \text{ г/м}^2/\text{год}$ .

В море Ирмингера значения потоков за первый и второй период накопления оказались весьма близкими. В поверхностном слое интегральный поток составил  $24,9$  и  $24,8 \text{ г/м}^2/\text{год}$  в следующем году. В придонном слое эти значения равны  $24,8$  и  $24,6 \text{ г/м}^2/\text{год}$  соответственно. Максимум на этой станции был зафиксирован в период с 2016-2017 гг. на глубине 883 м.

В составе осаждающегося вещества круглогодично преобладает биогенный материал:  $\text{CaCO}_3$ , Сорг,  $\text{SiO}_2$  Увеличение литогенного материала наблюдалось в промежуточном слое.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №14-50-00095.*

### Литература

1. Клювиткин А.А., Политова Н.В., Новигатский А.Н., Новичкова Е.А., Саввичев А.С., Козина Н.В., Стародымова Д.П., Тихонова А.В., Мбросимов А.К., Будько Д.Ф., Исаченко С.М., Булохов А.В. Геологические исследования в Северной Атлантике в 51-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе» // Океанология. 2017. Т. 57. № 3. С. 514–516

# КОМПЛЕКСЫ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР КАК ИНДИКАТОРЫ ПАЛЕОУСЛОВИЙ СРЕДЫ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Л. А. Кулешова<sup>1,2</sup>, Е. А. Овсепян<sup>1</sup>, Е. В. Иванова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград

BENTHIC FORAMINIFERA AS INDICATORS OF PAST ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN THE SOUTHWESTERN ATLANTIC OCEAN

L. A. Kuleshova<sup>1,2</sup>, E. A. Ovsepyan<sup>1</sup>, E. V. Ivanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

<sup>2</sup>I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

*lubov\_kuleshova@mail.ru*

Ключевые слова: *палеоокеанологические реконструкции, бентосные фораминиферы, палеоэкологические условия, Юго-Западная Атлантика.*

Keywords: *palaeoceanological reconstructions, benthic foraminifera, palaeoecological conditions, Western South Atlantic.*

В рамках данного исследования изучена колонка АИ-3321 (30°56.85' ю.ш., 38°02.45' з.д., глубина 2969 м, длина 293 см), которая была отобрана в юго-западной части Атлантического океана, на западном склоне возвышенности Риу-Гранди, в 46-м рейсе НИС «Академик Иоффе» в 2014 г. [1].

Для колонки получены две масс-спектрометрические радиоуглеродные датировки (AMS-<sup>14</sup>C), выполненные в Познаньской лаборатории (Польша) по раковинам планктонных фораминифер. Пересчет в календарный возраст проводился с помощью программы Calib 7.04 с применением морской калибровочной кривой Marine13 [4] без дополнительной поправки на локльный резервуарный эффект. Радиоуглеродные датировки подтвердили голоценовый и позднплейстоценовый возраст осадков верхней части колонки. Определение возраста осадков за пределами применения радиоуглеродного метода производилась путем визуального сопоставления графика изотопно-кислородного состава раковин бентосного вида *Cibicidoides wuellerstorfi* по колонке АИ-3321 с опорной глобальной кривой LR04 [3] для Мирового океана. Согласно полученной возрастной модели, колонка АИ-3321 вскрыла осадки последних 312 тыс. лет (изотопно-кислородные стадии (ИКС) 8-1 и конец КС 9). Скорости осадконакопления, рассчитанные между опорными датированными образцами и дополнительными опорными точками, полученными при корреляции изотопно-кислородных кривых АИ-3321 и LR04, меняются от 0.5 до 2.2 см/тыс. лет с максимальными значениями в интервале ИКС 4-3 и минимальными величинами в ИКС 6.

Количественные анализы комплексов бентосных фораминифер (БФ) в совокупности с данными по содержанию общего органического углерода и карбоната кальция в осадке позволили реконструировать поверхностные и придонные палеоокеанологические условия в районе однятия Риу-Гранди в течение трех последних ледниково-межледниковых циклов.

В результате количественных анализов 75 проб донных осадков колонки АИ-3321 выделено более 100 видов БФ, среди которых наиболее многочисленными являются виды - представители эпифауны/поверхностной инфауны, обитающие в среде с низким среднегодовым потоком органического вещества на дно и умеренным содержанием кислорода (*Epistominella exigua*, *Globocassidulina subglobosa*, *Alabaminella weddellensis*, *Oridorsalis umbonatus*, *Cibicidoides wuellerstorfi*, *Nuttallides umbonifera*, *Osangularielloides* (= *Epistominella*) *rugosa*, *Lobatula lobatula*, *Gyroidinoides polius*, *Ioanella tumidula*, *Pyrgo murrhina*).

Среди ислородозависимых групп, выделенных по методике Кайхо [2], в течение изученного интервала преобладает субоксидный комплекс. Тем не менее, произошедшее в ИКС 1 увеличение доли



оксидной группы наряду с усилением влияния североатлантической компоненты в придонных водах может свидетельствовать об интенсификации их гидродинамической активности.

Для выявления трендов изменений биологической продуктивности поверхностных вод проведен факторный анализ матрицы процентного содержания БФ, а также построен график суммарной численности *A. weddellensis* и *E. exigua*, входящих в группу фитодетритовых видов [5] и отражающих колебания вторичной продукции. Установлено: повторяющаяся смена доминирующих комплексов связана с интенсивностью сезонного контраста в поступлении органического вещества на дно в пределах исследуемой юго-западной области Атлантического океана. При этом корреляция данных статистического анализа (кривых распределения главных факторов, индексов биоразнообразия) и процентного содержания общего органического углерода С в осадке неочевидна, возможно, в связи с переотложением раковин фораминифер придонными течениями, либо за счет наличия дополнительного источника пищи.

Доля видов-индикаторов высокой продуктивности (например, *Bolivina earlandi*, *Bulimina elongata*, *Bulimina torta*, *Bulimina truncana*, *Fursenkoina complanata*, *Fursenkoina compressa*, *Fursenkoina mexicana*, *Melonis barleeanus*) в сообществе невелика и составляет в среднем 10-15%. Максимальное значение отмечается в ИКС 3 - 22%. Полученные данные свидетельствуют, что продуктивность поверхностных вод была невелика в течение последних 312 тыс. лет.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0012) и при частичной финансовой поддержке РФФИ (№ 17-305-50008-мол\_нр). Датирование материала осуществлялось за счет гранта РНФ (№ 14-05-00095).

### Литература

1. Отчет о работах 46 рейса НИС «Академик Иоффе»: Отчеты начальника экспедиции, капитана и начальников отряда. Москва, 2014. 85 с.
2. Kaiho K. Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean // *Geology*. 1994. V. 22. pp. 719–722.
3. Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records // *Paleoceanogr.* 2005. V. 20. PA1003. pp. 1–17.
4. Stuiver M., Reimer P.J., Reimer R. CALIB manual. 2005. pp. 1–25.
5. Sun X., Corliss B.H., Brown C.W., Showers W.J. The effect of primary productivity and seasonality on the distribution of deep-sea benthic foraminifera in the North Atlantic // *Deep Sea Research., Part I*. 2006. V. 53. pp. 28–47.

## К ВОПРОСУ О ФОСФОРИТНОСТИ ПРОДУКТИВНЫХ ПЕСКОВ ТИТАН-ЦИРКОНИЕВОЙ РОССЫПИ ЦЕНТРАЛЬНАЯ (ТАМБОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

М. П. Лашко, К. А. Лыткин  
Воронежский государственный университет, Воронеж

TO THE QUESTION OF PHOSPHORITONITY OF PRODUCTIVE SANDS OF TITAN-ZIRCONIUM  
PLACER «TSENTRAL'NAYA» (TAMBOV REGION)

M. P. Lashko, K. A. Lytkin  
Voronezh State University, Voronezh

*maglashko@gmail.com*

Ключевые слова: *фосфориты, титан-циркониевая россыпь Центральная, попутное сырье.*

Keywords: *phosphorites, titanium-zirconium placer «Tsentral'naya», passing raw materials.*

В центральной части Восточно-Европейской платформы на территории около 540 тыс.км<sup>2</sup> расположена Воронежская антеклиза, где на северо-востоке находится титан-циркониевое рассыпное месторождение «Центральное» [2, 3]. В разрезе месторождения имеется продуктивная толща сеноманского возраста, в строении которой четко прослеживался горизонт желваковых фосфоритов [1]. В рамках работ геологического факультета Воронежского государственного университета и ОАО «Кольцовгеология» по повышению инвестиционной привлекательности месторождения, в нижней части продуктивной толщи был выявлен второй маломощный линзовидный прослой желваковых фосфоритов, носящий прерывистый характер.

В рамках работы были изучены литологические особенности и уточнены структурные особенности фосфоритов продуктивной толщи россыпи «Центральная».

Верхний горизонт желваковых фосфоритов залегает в верхней части разреза россыпной залежи, мощность горизонта варьируется от 2,5 до 6 м, а нижний залегает в 3 - 6 м ниже подошвы верхнего горизонта в пределах контура продуктивной толщи. По морфологии горизонтов отличительной чертой нижнего фосфоритового горизонта является линзовидно-прерывистый характер развития и небольшая мощность (в среднем около 2 м).

По макроскопическому облику фосфориты верхнего горизонта светло-серого до темно-серого цвета, а у желваков нижнего горизонта отмечается черная окраска на поверхности и темно-бурая на сколе и обнаружены органические остатки - зубы акул. Общей чертой является слабоокатаность.

Обломочная часть у образований обоих горизонтов представлена терригенными и аутигенными минералами. Терригенные - кварц (30-40 %), ПШ - 2-3%, слюды, ильменит, рутил, циркон (5%). К аутигенным относятся опал и глауконит. Глауконит в верхнем горизонте представлен светло-зеленым, почковидным агрегатом (5%), а в нижнем горизонте грязно - зеленый с окислами железа, разрушенный, пятнистый (10-15%).

По результатам ренгенофлуорисцентного анализа фосфориты обоих горизонтов практически хожи.

По генезису фосфоритовые горизонты отличаются. Нижний фосфатноносный слой образован, в основном, за счет переотложения подстилающих альбских фосфатных желваков в прибрежно-морских условиях. Верхний фосфатноносный горизонт образовался в мелководно-морских условиях, при этом оставался ненарушенным достаточно долгое время, на что указывает обогащенность его аутигенным глауконитом. Содержание  $P_2O_5$  CaO в верхнем горизонте несколько выше (26 и 46%) , чем у фосфоритов нижнего горизонта (23 и 39%).

В ходе полученных результатов было установлено, что фосфориты обоих горизонтов относятся к литогенному типу по минеральному составу. По сути, это песчаники с фосфатным цементом. В фосфоритах верхнего горизонта тип цементации базальный, количество цемента около 40%, а у фосфоритов нижнего горизонта тип цементации - порово - пленочный, кристификационный и количество цемента 15-25%.

В результате сравнения было отмечено, что фосфориты верхнего и нижнего горизонта различаются по типу цементации, по содержанию пятиокси фосфора и оксида кальция и по условию образования. Среднее содержание  $P_2O_5$  в фосфоритах около 25%, что определяет их как агрегаты среднего качества для использования в промышленности.

#### Литература

1. Савко А.Д., Беляев В.И., Мануковский С.В. Фосфориты Центрально-Черноземного района России. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1994. 184 с.
2. Савко А.Д., Беляев В.И., Иконников Н.Н., Иванов Д.А. Титан циркониевые россыпи Центрально-Черноземного района. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1995. 148 с.
3. Патык Кара Н.Г. и др. Россыпные месторождения России и других стран СНГ. М.: Научный мир, 1997. 479 с.

# ВЛИЯНИЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ НА ОСАДОЧНЫЙ ЧЕХОЛ ВОСТОЧНО-ИНДИЙСКОГО ХРЕБТА И ПЛАТО ОСБОРН

Ю. Г. Маринова  
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

THE INFLUENCE OF THE ANTARCTIC CIRCUMPOLAR CURRENT ON THE SEDIMENTARY COVER OF THE NINETYEAST RIDGE AND THE OSBORN KNOLL

Yu. G. Marinova  
Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

*marinova.ocean@gmail.com*

Ключевые слова: *Восточно-Индийский хребет, Антарктическое циркумполярное течение, перерыв, сейсмостратиграфия, корреляция.*

Keywords: *Ninetyeast Ridge, Antarctic circumpolar current, unconformity, seismic stratigraphy, correlation.*

Восточно-Индийский хребет (ВИХ) является одним из самых протяженных асейсмичных вулканических хребтов Мирового океана и одной из самых протяженных линейных структур Земли. При средней ширине 200 км он протягивается в меридиональном направлении через восточную часть Индийского океана почти на 5000 м. Хребет отчетливо выражен в рельефе дна от его пересечения с Западно-Австралийским хребтом (Брокен) в районе  $31^{\circ}$  ю.ш. до  $10^{\circ}$  с.ш., где он исчезает под осадками Бенгальского конуса выноса. В пределах ВИХ с севера на юг отчетливо выделяются три морфологически разных сегмента: северный ( $17^{\circ}$  с.ш. -  $7^{\circ}$  ю.ш.), центральный ( $7^{\circ}$  -  $15^{\circ}$  ю.ш.) и южный ( $15^{\circ}$  -  $33^{\circ}$  ю.ш.) [2, с. 78]. В основу работы положены сейсмоакустические данные высокого разрешения, полученные в рейсе KNOX06RR судна «Роджер Ревелл» (2007 г) при участии Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН. В рейсе проводилось многоканальное сейсмопрофилирование в районе скважин программ глубоководного бурения 216, 214, 253 (DSDP) и 758 (ODP). Для северной части хребта использовались материалы геофизической съемки 42 рейса НИС «Академик Б. Петров» (2017 г), включавшей в себя батиметрическую съемку и сейсмопрофилирование. Также использовались материалы геолого-геофизических работ, проведенных в рейсе SO258-1 исследовательского судна "Зонне" в районе сочленения плато Осборн и ВИХ при участии автора (2017 г). Рейс был организован Центром морских исследований им. Гельмгольца ГЕОМАР и Институтом поляных и морских исследований им. Альфреда Вегенера в рамках научного проекта INGON («The Indian-Antarctic Break-up Enigma»). В рейсе проводилась батиметрическая съемка с многолучевым эхолотом и сейсмическая съемка.

В результате сейсмостратиграфического анализа было детализировано строение осадочного чехла ВИХ и плато Осборн, выделены основные отражающие границы, определен их возраст и природа. За период образования чехла ВИХ (поздний мел-квартер) существовали перерывы в осадконакоплении, которые нашли отражение на сейсмических разрезах. Перерывы - это интервалы геологического времени, которые не представлены в разрезе отложениями. Как правило, наблюдается достаточно четкая зависимость между длительностью перерыва (млн. лет) и динамической выразительностью рефлекторов на временных сейсмических разрезах [3, с. 247]. Исчезновение сформированных отложений путем размыва приводит к образованию несогласий, которые выражаются в разрезе шероховатыми сейсмическими границами. Перерывы седиментации без размыва отложений фиксируются преимущественно биостратиграфическими методами исследования разрезов осадочного чехла. В новом поле они обычно приводят к усилению динамической выразительности гладких сейсмических отражений.

Внутри осадочного чехла ВИХ выделено восемь рефлекторов: 0, 0a, 1, 1a, 2, 3, 4 и 5 и три сейсмических комплекса: нижний субазральный-мелководный (СКЗ), средний переходный (СК2) и верхний

глубоководный (СК1). Акустический фундамент Ф в подошве осадочного чехла соответствует кровле базальтового слоя, его возраст меняется от кампана на севере до позднего эоцена на юге. В данной работе внимание уделяется граница 1, которая прослеживается внутри СК1 на глубине 140-150 м в пределах северного и центрального сегментов и на глубине около 50 м в пределах южного. По результатам корреляции со скважинами этот мелкобугристый, высокоамплитудный рефлектор относится к рубежу среднего-верхнего миоцена. В томах бурения в описаниях скважин эта часть разреза описывается как «сжатая и стратиграфически немая», где затруднена диагностика фаунистических остатков и, вероятно, имеется перерыв в осадконакоплении [5, с. 452]. Время перерыва совпадает с образованием Антарктического циркумполярного течения. Оно изолировало Антарктиду от теплых низких широт и стало причиной перестройки поверхностной циркуляции Индийского океана. Общее увеличение объема ледникового щита Антарктиды на рубеже раннего-среднего миоцена вызвало увеличение объема холодных придонных вод и скорости генерируемых ими течений [1, с. 189]. Вероятно, отдельные ринги, отходящие от Антарктического циркумполярного течения, в начале среднего миоцена размывали осадки на Восточно-Индийском хребте. Средние скорости осадконакопления для раннего миоцена были приблизительно 8 м/млн лет, уменьшились до 3 м/млн лет для среднего миоцена и возросли до 10 м/млн. лет в позднем миоцене [4, с. 115]. За счет вертикальной фильтрации из осадка уходила вода, он уплотнялся, но осадконакопление не было скомпенсированным - новый осаждающийся материал размывался усилившимися придонными течениями. На это указывает и характер сейсмической записи - граница 1 имеет крайне неровный мелкобугристый рельеф. Кроме того, во всех скважинах на Восточно-Индийском хребте для интервала среднего миоцена затруднено определение стратиграфической зональности по фораминиферам. Это связывают с малым количеством диагностических таксонов и с конденсированностью разрезов. Таким образом, граница 1 маркирует перерыв, вероятно связанный с масштабными изменениями гидродинамического режима из-за образования Антарктического циркумполярного течения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект 16-35-60023 мол\_а\_дж.*

#### Литература

1. Левитан М.А. Палеоокеанология Индийского океана в мелу–неогене. М.: Наука. 1992. 247 с.
2. Маринова Ю.Г. Геоморфологические особенности Восточно-Индийского хребта // Естеств. и техн. науки. №6. 2016. с.78-81
3. Сейсмическая стратиграфия. Под ред. Пейтона. М.: Мир, 1982. Т.1, 2. 846 с.
4. Haiward B.W., A.T. Sabaa et al. Cenozoic record of elongiate, cylindrical, deep-sea benthic foraminifera in the Indian Ocean (ODP Sites 722, 738, 744, 758 and 763) // J. of Foramin. Res. V.40. № 40. pp. 113-133.
5. Von der Borch C.C. et al. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. V. 22. Washington, D.C., US Government Printing Office, 1974. 890 p.

## МИКРОФОССИЛИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКОВ ЧУКОТСКОГО МОРЯ

М. С. Обрезкова, В. Ю. Поспелова

Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток  
Университет Виктории, Виктория (Канада)

## MICROFOSSILS IN THE CHUKCHI SEA SURFACE SEDIMENTS

M.S. Obrezkova, V.U. Pospelova

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS (POI FEB RAS), Vladivostok  
School of Earth and Ocean Sciences, University of Victoria, Victoria (Canada)*obrezkova@poi.dvo.ru*Ключевые слова: *диатомей, цисты, динофлагеллаты, поверхностные осадки, Чукотское море*Keywords: *diatoms, dinoflagellate cysts, surface sediments, Chukchi Sea.*

Изучение Арктики актуально в связи с влиянием полярных областей Земли на формирование климата планеты и их быстрым реагированием на эти изменения, как в настоящем, так и в прошлом. Широкое распространение получило исследование донных осадков морских бассейнов как летописи природных изменений в геологическом пролом. Важным аспектом является изучение изменения характеристик вод морей и океанов, нашедших свое отражение в осадочном слое, и дающих информацию о температурных и гидрохимических условиях поверхностных вод, изменениях поверхностных течений, формировании и дрейфе морских льдов, продуктивности вод и др.

Для подобных палеогеографических и стратиграфических исследований широко применяются диатомовые водоросли, являющиеся одной из основных групп фитопланктона арктических и субарктических морей. Благодаря кремневому скелету они хорошо сохраняются осадках, регистрируя прижизненные условия природной среды, что и определяет их как одну из важнейших групп, используемых при реконструкции палеоусловий в северных широтах, где известковый наннопланктон и фораминиферы уступают им по обилию и степени сохранности.

В последние годы в практике реконструкций палеогидрологических обстановок в шельфовых морях Арктики все большее значение приобретает изучение водных полиноморф, где доминируют цисты морских видов динофлагеллат, концентрации которых в поверхностных осадках морей зависят от температуры, солености и продуктивности поверхностных вод, что делает эту группу крайне важной для палеоокеанологических реконструкций [1].

Основная цель настоящей работы - установить качественное и количественное распределение микрофоссилий (диатомей и цист динофлагеллат) в поверхностных осадках Чукотского моря и его связь с современными гидрологическими параметрами.

Материалом для данной работы послужили образцы поверхностных осадков, отобранные в Чукотском море в рейсах ТОИ ДВО РАН в 2009-2016 гг.

Количественное распределение диатомовых водорослей в поверхностных осадках Чукотского моря неравномерно. Наибольшие концентрации диатомей (на грамм осадка) установлены в осадках центральной части моря, куда направлены богатые биогенными элементами высокопродуктивные воды берингоморского шельфа и анадырской водной массы. На основе изучения видового и экологического состава диатомовых водорослей поверхностных осадков Чукотского моря были выделены несколько диатомовых комплексов, названные по доминирующим видам [2]. В восточной части Восточно-Сибирского моря и северной части Чукотского моря, в зоне распространения холодных сибирских вод, выделен комплекс *Thalassiosira antarctica*. В области распространения берингоморской высокопродуктивной массы в осадках установлен комплекс *Thalassiosira nordenskiöldii*. У побережья Аляски в зоне распространения аляскинского прибрежного течения, влекущего аллювиальные выносы р. Юкон выделен комплекс *Paralia sulcata*, являющийся индикатором распресненных вод. В песчаных осадках банки Геральд установлен комплекс *Odontella aurita*, к северу от Берингова пролива выделен

комплекс *Fragilariopsis oceanica*. В районе каньона Геральд, который характеризуется как зона обогащения осадков биогенными компонентами и как участок с аномально высокой продуктивностью бентоса, а также повышенным содержанием органического вещества и аморфного кремнезема [3.4], распространен комплекс *Chaetoceros*.

Суммарные концентрации диноцист варьируют в пределах 5800-12400 цист г-1. Ассоциации цист динофлагеллат в изученных образцах насчитывают 28 видов и внутривидовых таксонов, характерных для поверхностных осадков Чукотского и Берингова морей [5], но только 6 видов составляют «ядро» комплекса: автотрофные *Operculodinium centrocarpum*, цисты *Pentaparsodinium dalei*, *Spiniferites elongatus* и цисты рода *Alexandrium*, гетеротрофные *Islandinium minutum* и *Brigantedinium simplex*. Распределение этих доминирующих видов в поверхностных осадках Чукотского моря отражает распределение различных водных масс региона [6].

*Работа проводилась при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-10109).*

### Литература

1. Zonneveld K.A.F., Marret F., Versteegh G.J.M. et al. Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution based on 2405 data points // Rev. Palaeobot. Palynol. 2013. №191. pp. 1–197.
2. Обрезкова М.С., Колесник А.Н., Сеилетов И.П. Особенности распределения диатомей в поверхностных осадках морей Восточной Арктики России (на основе кластерного анализа) // Биология моря. 2014. Т. 40. № 6. С. 473-480.
3. Астахов А.С., Гусев Е.А., Колесник А.Н., Шакиров Р.Б. Условия накопления органического вещества и металлов в донных осадках Чукотского моря // Геология и Геофизика. 2013. Т. 54. №9. С. 1348–1364.
4. Astakhov A.S., Bosin A.A., Kolesnik A.N., Obrezkova M.S. Sediment geochemistry and diatom distribution in the Chukchi Sea: application for bioproductivity and paleocenography // Ocenography. 2015. V. 28. №3. pp. 190-201.
5. Radi, T., de Vernal, A., Peyron, O. Relationships between dinocyst assemblages in surface sediments and hydrographic conditions in the Bering and Chukchi seas // Journal of Quaternary Science. – 2001. №16. pp. 667–680.
6. Обрезкова М.С., Поспелова В.Ю. Цисты динофлагеллат в поверхностных осадках Чукотского моря // Геология морей и океанов: Матер. XXII Межд. науч. конф. (Школы) по мор. геол. Москва, 20-24 ноября 2017 г. Т. 1. С. 189-192.

## ПОСЛЕЛЕДНИКОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА НА ХРЕБТЕ ШИРШОВА В СУБАРКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

Е. А. Овсепян<sup>1</sup>, Е. В. Иванова<sup>1</sup>, Р. Тидеманн<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва<sup>2</sup>Институт полярных и морских исследований им. А. Вегенера, Бремерхафен (Германия)

POSTGLACIAL OXYGENATION CHANGES ON THE SHIRSHOV RIDGE IN SUBARCTIC PACIFIC

E. A. Ovsepyan<sup>1</sup>, E. V. Ivanova<sup>1</sup>, R. Tiedemann<sup>2</sup><sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow<sup>2</sup>Alfred-Wegener-Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven (Germany)

eovsepyan@ocean.ru

Ключевые слова: содержание кислорода, бентосные фораминиферы, послеледниковье, Берингово море.

Keywords: oxygen content, benthic foraminifers, postglacial interval, Bering Sea.

На основании количественных анализов комплексов бентосных форминифер по колонкам SO201-2-85KL (57° 30.30' с.ш., 170° 24.79' в.д., 968 м, далее 85KL) и SO201-2-77KL (56° 19.90' с.ш., 170° 41.97' в.д., 2163 м, далее 77KL), поднятых с хребта Ширшова в западной части Берингова моря в ходе экспедиции на НИС «Зонне» в 2009 году, проведены реконструкции послеледниковой динамики зоны кислородного минимума (ЗКМ). В ходе исследования подсчитывалось как минимум 250 экземпляров бентосных фораминифер в целом образце или в его части при обильном содержании раковин в пробе для корректной статистической обработки. Статистический анализ результатов по каждой олонке проводился в несколько этапов. В самом начале из матрицы процентного содержания удалялись те виды, содержание которых было меньше 2% в каждой пробе. Далее к матрицам применен подход, описанный в работе [4]. Первый этап включал в себя применение анализа главных компонент для выделения наиболее значимых видов. На втором этапе выполнялся анализ соответствий для матриц, состоящих только из процентных содержаний главных видов. В результате проведенных операций определялся характер взаимоотношения комплексов бентосных видов с временными интервалам колонок.

В результате статистического анализа для каждой колонки были выделены три основных комплекса, которые доминировали в трех основных интервалах. Для колонки 85KL главные комплексы получились следующие: “*Pseudoparella suttuensis*” (низкая сезонная биопродуктивность и субоксидные придонные условия), “*Alabaminella weddellensis* + *Islandiella norcrossi*” (умеренная сезонная биопродуктивность и субоксидные придонные условия) и “*Bulimina tenuata*+*Bolivina seminuda*” (высокая биопродуктивность в течение года и дизоксидные условия). Для колонки 77KL выделены следующие комплексы: “*A. weddellensis*” (умеренная сезонная биопродуктивность и субоксидные придонные условия), “*Cassidulina norvangi* + *I. norcrossi*+*Epistominella arctica*” (умеренно-низкая сезонная биопродуктивность и субоксидные придонные условия) и “*Bolivina pacifica* + *Stainforthia fusiformis*” (высокая биопродуктивность в течение года и дизоксидные условия). Сообщества “*A. weddellensis* + *I. norcrossi*” и “*A. weddellensis*” доминируют в осадках колонок 85KL и 77KL, соответственно, в оледенении, ранней дегляциации и интервале первого события Хайнриха. Сообщество «*B. Tenuata* + *B.seminuda*» в колонке 85KL типично для беллинга/аллереда и раннего голоцена, в то время как комплекс “*B. pacifica*+*S. fusiformis*” в колонке 77KL преобладает в течение беллинга/аллереда, позднего дриаса и раннего голоцена. Третье сообщество “*P. suttuensis*” в колонке 85KL характеризует поздний дриас, а комплекс “*C. Norvangi* +*I. norcrossi*+ *E. arctica*” в колонке 77KL - средний -поздний голоцен.

Для оценки вариаций содержания кислорода бентосные виды также разделялись на кислородозависимые группы по методике Кайхо [1]. Перечень видов в каждой группе был скорректирован для Берингова моря в раоте [2].



Известно, что изменения содержания кислорода зависят как от величины биопродуктивности поверхностных вод, так и от вариаций океанской циркуляции (вентиляции) (например, [3]). Интерпретация полученных данных и их сопоставление с имеющимися независимыми индикаторами биопродуктивности и вентиляции, привели к следующим выводам о палеоокеанологических обстановках на хребте Ширшова. ЗКМ отсутствовала в центральной (85KL) и южной (77KL) частях хребта Ширшова в течение интервала максимума последнего оледенения - первого события Хайнриха, скорее всего, в связи с низкой биопродуктивностью поверхностных вод, восстановленной по комплексам бентосных фораминифер, содержанию С и биогенного опала, а также с умеренной вентиляцией придонных вод. С наступлением беллинга/аллереда условия в более глубоководной части хребта сменились на диоксидные, в то время как на промежуточных глубинах условия умеренного содержания кислорода сохранялись вплоть до середины интервала потепления, т.е. еще 0.9 тыс. лет. Вероятно, эта задержка отражает время отступления границы морских льдов на север в процессе потепления климата и более позднее установление условий высокой биопродуктивности. Вентиляция придонных вод ослабевала на промежуточных глубинах, но усиливалась в глубинном слое, из чего следует вывод о доминирующей роли биопродуктивности в процессе формирования ЗКМ в интервале беллинга/аллереда. Исчезновение низкокислородного слоя на промежуточных глубинах установлено в позднем дриасе, когда биопродуктивность понижалась и происходило расширение ледового покрова. Однако, в глубинных слоях сохранялись условия дефицита кислорода, вероятно, в силу слабой вентиляции. В раннем голоцене реконструирована максимальная интенсивность ЗКМ на промежуточных и глубинных уровнях. Этот вывод согласуется с результатами, полученными по бентосным фораминиферам для Охотского моря и для континентального склона у берегов Нижней Калифорнии, однако, противоречит реконструкциям для восточной части Берингова моря, открытой северо-западной части Тихого океана и области континентального склона близ берегов Японии. Противоречие может быть связано с удалением района работ на хребте Ширшова от источников биогенных элементов, необходимых для активного цветения фитопланктона и, как следствие, высокого потока органического вещества на дно в теплые интервалы послеледниковья.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-35-60063 мол\_а\_дж) и в рамках госзадания ИО РАН (проект 0149-2018-0016).*

### Литература

1. Kaiho K. Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean // *Geology*. 1994. Vol. 22. pp. 719–722.
2. Ovspeyan E.A., Ivanova E.V., Lembke-Jene L., Max L., Tiedemann R., Nürnberg D. Penultimate and last glacial oceanographic variations in the Bering Sea on millennial timescales: Links to North Atlantic climate. *Quat. Sci. Rev.* 2017. 163, 135-151.
3. Rella S.F., Tada R., Nagashima K., Ikehara M., Itaki T., Ohkushi K., Tatsuhiko Sakamoto T., Harada N., Uchida M. Abrupt changes of intermediate water properties on the northeastern slope of the Bering Sea during the last glacial and deglacial period // *Paleoceanography*. 2012. V. 27. - PA3203.
4. Tetard M., Licari L., Beaufort L. Oxygen history off Baja California over the last 80 kyr: A new foraminiferal-based record // *Paleoceanography*. 2017. V. 32. № 3. pp. 246–264.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ХАРАКТЕРА ПОСТУПЛЕНИЯ ВОД  
АТЛАНТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ В АРКТИКУ НА ПРИМЕРЕ  
ВЗАИМОСВЯЗИ ПРОЛИВА ФРАМА И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ЗА  
ПОСЛЕДНИЕ 18.5 ТЫСЯЧ ЛЕТ

Я. С. Овсепян<sup>1,2,3</sup>, Е. Е. Талденкова<sup>2,4</sup>, Н. О. Аверкина<sup>2,4</sup>, Р. Ф. Шпильхаген<sup>5</sup>, Х. А. Баух<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт РАН, Москва

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

<sup>4</sup>Географический ф-тет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>5</sup>GEOMAR, Киль (Германия)

RECONSTRUCTION OF THE ATLANTIC WATER ADVECTION TO THE ARCTIC ILLUSTRATED  
BY A LINKAGE BETWEEN FRAM STRAIT AND LAPTEV SEA RECORDS DURING THE LAST  
18.5 CAL.KYRS

Ya. S. Ovsepyan<sup>1,2,3</sup>, E. E. Taldenkova<sup>2,4</sup>, N. O. Averkina<sup>2,4</sup>, R. F. Spielhagen<sup>5</sup>, Kh. A. Baukh<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Geological Institute RAS, Moscow

<sup>2</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg

<sup>3</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow

<sup>4</sup>Geographical Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>5</sup>GEOMAR, Kiel (Germany)

*yaovsepyan@yandex.ru*

Ключевые слова: *Арктика, атлантические воды, пролив Фрама, море Лаптевых, фораминиферы, голоцен, поздний плейстоцен.*

Keywords: *Arctic, Atlantic waters, Fram Strait, Laptev Sea, foraminifera, Holocene, Late Pleistocene.*

Характер поступления вод атлантического течения в Северный Ледовитый океан имеет важное значение в контексте восстановления краткосрочных и долгосрочных климатических изменений. Микропалеонтологические исследования колонок из пролива Фрама и моря Лаптевых позволяют проследить связь и выявить закономерности развития этих удаленных друг от друга регионов за последние 18.5 тыс. лет.

Из восточной части пролива Фрама с глубины 1349 м была отобрана колонка MSM5/5-723-2. Для нее построена возрастная модель на основе 12 радиоуглеродных датировок. Из верхних 677 см разреза были изучены раковины бентосных фораминифер и материал ледового разноса (IRD). Колонка расположена под Западно-Шпицбергенской ветвью атлантического течения. Двигаясь в северо-восточном направлении, она соединяется с Баренцевоморской ветвью в районе Карского моря, продвигаясь далее вдоль континентального склона Евразии. В море Лаптевых наблюдаются уже трансформированные атлантические воды.

Данные по проливу Фрама сопоставляются с ранее изученными клонками из моря Лаптевых: PS51/154-11 с глубины 270 м [1, 2, 3, 4] и PS2458 с глубины 938 м [5]. Возраст основания обеих колонок, составляет 17.6 тыс. лет назад.

По составу микрофоссилий в колонке MSM5/5-723-2 из пролива Фрама выделяется ледниковый комплекс 18.0-18.5 тыс. лет назад. Высокая численность и разнообразие бентосных фораминифер связаны с сезонно свободными ото льда условиями, когда прохладные атлантические воды занимали всю водную толщу [6]. Наличие айсбергов подтверждается материалом ледового разноса.

В интервале 12.3-18.0 тыс. лет назад определяется дегляциальный комплекс с низким биоразнообразием и преобладанием до 90% *Cassidulina neoteretis*. Тающий ледниковый щит находился вблизи места расположения колонки, поэтому наблюдается высокое содержание IRD.

За счет большого объема талых вод в Северной Атлантике возникает стратификация водной толщи, увеличивается площадь ледового покрова. Из-за этого воды Северо-Атлантического течения опускаются на (100-150 м) и движутся на север в подповерхностном слое. Возможно, это способствовало более интенсивному проникновению атлантических вод в Арктику с Западно-Шпицбергенской ветвью в эпоху егляциации.

В колонках PS51/154-11 и PS2458 из моря Лаптевых наблюдается подтверждение проникновения атлантического течения на восток вдоль континентального склона Евразии, начиная с 17.6 тыс. лет назад. Об этом свидетельствует преобладание в комплексе индикатора атлантических вод *C. neoteretis* 12.5-17.6 тыс. лет назад, а также находки экзотических субполярных планктонных фораминифер в обеих колонках в интервале 17.2-17.5 тыс. лет назад [3, 4].

После 12.5 тыс. лет назад в колонках из обоих регионов отмечается смена фауны: происходит переключение доминантных видов с *C. neoteretis* на *C. reniforme*. В более мелководной колонке PS51/154-11 *C. neoteretis* пропадает на длительное время, а в глубоководной PS2458 продолжает присутствовать на уровне 20-30%. Такое же «биособытие» отмечается в колонках с континентального склона Баренцева моря [6, 3].

Для пролива Фрама выделяется переходный комплекс 11.5-12.3 тыс. лет назад. Вместе со сменой доминирующего вида на *C. reniforme*, увеличивается биоразнообразие и содержание видов, связанных с повышенной продуктивностью у края морского льда.

Раннеголоценовый комплекс (5.7-11.5 тыс. лет назад) связан с изменением структуры водной толщи в проливе Фрама. Вместе с арктическим видом *C. reniforme* доминируют эпифаунный вид *C. wuellerstorfi* и неглубоко зарывающийся *O. umbonatus*. Влияния талых вод сокращается, и воды атлантического течения оказываются на поверхности. В результате теплообмена они начинают активнее погружаться и формировать хорошо аэрированные арктические промежуточные воды (к ним приурочены эпифаунные виды), из-за чего глубинная термохалинная конвекция становится намного интенсивней. Видимо, из-за этого сократились объемы поступающих в Арктику атлантических вод. В восточной части моря Лаптевых по-прежнему прослеживается «атлантический» сигнал, но он менее интенсивный.

Позднеголоценовый комплекс (0 - 5.7 тыс. лет назад), в котором преобладает оппортунистический вид *Elphidium clavatum*, свидетельствует о похолодании, увеличении ледового покрова и стратификации водной толщи. Сокращение эпифаунных видов связано с ослаблением глубинной конвекции.

В море Лаптевых также отмечается тенденция к похолоданию, однако после 6 тыс. лет назад усиливается влияние вод трансформированного атлантического течения, что проявляется в увеличении процентного содержания *C. neoteretis* [4].

*Работы выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по проекту "Изменчивость Арктической Трансполярной системы" (CATS) (уникальный идентификатор проекта - RFMEFI61617X0076).*

### Литература

1. Bauch H.A., Mueller-Lupp T., Taldenkova E., et al. Chronology of the Holocene transgression at the North Siberian margin // Glob. Planet. Change. 2001. V. 31. pp. 125-139.
2. Taldenkova E., Bauch H.A., Gottschalk J., et al. History of ice-rafting and water mass evolution at the northern Siberian continental margin (Laptev Sea) during Late Glacial and Holocene times // Quat. Sci. Rev. 2010. V. 29. pp. 3919-3935.
3. Taldenkova E., Bauch H.A., Stepanova A., et al. Benthic community changes at the North Siberian margin in response to Atlantic water mass variability since last deglacial times // Marine Micropal. 2012. V. 96-97. pp. 13-28.
4. Овсепян Я.С., Талденкова Е.Е., Баух Х.А., Кандиано Е.С. Реконструкция событий позднего плейстоцена-голоцена на континентальном склоне моря Лаптевых по комплексам бентосных и планктонных фораминифер // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2015. Т. 23. № 6. С. 964-112.
5. Spielhagen R.F., Erlenkeuse H., Siegert C. History of freshwater runoff across the Laptev Sea (Arctic) during the last deglaciation // Glob. Planet. Change. 2005. V. 48 (1-3). pp. 187-207.
6. Rasmussen T.L., Thomsen E., Slubowska M.A., et al. Paleooceanographic evolution of the SW Svalbard margin (76°N) since 20,000 14C yr BP // Quaternary Research. 2007. V. 67. pp. 100-114.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИДОННЫХ ПАЛЕОТЕЧЕНИЙ В  
БОРНХОЛЬМСКОЙ ВПАДИНЕ (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)Е. М. Панкратова<sup>1,2</sup>, Е. В. Дорохова<sup>2</sup><sup>1</sup>Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

NEAR-BOTTOM PALAEOCURRENTS VARIABILITY IN THE BORNHOLM BASIN (BALTIC SEA)

E. M. Pankratova<sup>1,2</sup>, E. V. Dorokhova<sup>2</sup><sup>1</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow*li.pankratova@gmail.com*Ключевые слова: *Борнхольмская впадина, Балтийское море, придонные течения, гранулометрия*Keywords: *near-bottom palaeocurrents, sediment grain size, North Sea water inflows, Holocene climate change, Baltic Sea*

Борнхольмская впадина Балтийского моря расположена на пути неперiodических затоков плотных, соленых, насыщенных кислородом вод Северного моря. Затоки в виде плотностных придонных течений распространяются вдоль западного склона впадины, оказывая значительное влияние на перераспределение донных осадков. Целью работы является изучение интенсивности придонных палеотечений (затоков) в голоцене по данным гранулометрического анализа.

Исследована колонка донных осадков АНС-33060, отобранная в юго-западной части впадины на НИС «Академик Николай Страхов» в 2016 г. Также в работе рассмотрена колонка POS-303770, отобранная на НИС «Посейдон» в западной части впадины в 2005 г. [1]. Гранулометрический анализ выполнен с шагом 2 см в колонке АНС-33060 и 2-2,5 см в колонке POS-303770 на лазерном дифракционном анализаторе размеров частиц SALD 2300 (Shimadzu, Япония). Анализ выполнялся только для терригенной части осадка после удаления органического вещества перекисью водорода. В колонке АНС-33060 определено содержание органического углерода на экспресс-анализаторе углерода АН-7529М с интервалом 10 см и измерены потери при прокаливании с шагом 2 см. Для колонки POS-303770 использованы опубликованные данные содержания органического углерода [2]. Возрастная модель для колонки POS-303770 построена по результатам 22 абсолютных датировок [1]. Стратиграфическое расчленение колонки АНС-33060 выполнено на основе литологического описания, сопоставления данных содержания органического углерода в обеих колонках и известных скоростях осадконакопления во впадине. Раковины моллюсков с трех горизонтов колонки АНС-33060 отправлены на абсолютное радиометрическое датирование, что позволит уточнить возрастную модель колонки. В работе рассмотрены верхние секции колонок, соответствующие Литориновой стадии Балтийского моря (последние 7000 лет): интервалы 0-285 см в колонке АНС-33060 и 0-770 см в колонке POS-303770.

Реконструкция интенсивности придонных палеотечений в Борнхольмской впадине выполнена по данным гранулометрического состава отложений. В качестве показателя изменений скорости течений использовался средний диаметр частиц, слагающих осадки [3]. Повышенные значения среднего диаметра частиц отражают увеличение скорости придонных течений, способствующих осаждению более крупных зерен.

Три периода интенсификации придонных течений и соответственно увеличения частоты затоков северо-морских вод были выделены в POS-303770 и два в АНС-33060. Они характеризуются увеличением среднего размера осадка и относительно низким содержанием органического углерода. Выявленные интервалы соответствуют холодным климатическим периодам в Европе в голоцене. Первый интервал выделен в обеих колонках 4000-2000 лет назад после климатического оптимума голоцена. Второй интервал укрупнения среднего размера был зарегистрирован 1800-1500 лет назад также в двух колонках и соответствует холодному периоду «Темных веков» и началу Средневекового климатического

оптимума. Третий интервал усиления придонных течений зафиксирован 250-100 лет назад в колонке POS-303770 и связан с Малым ледниковым периодом. Настоящее время характеризуется снижением частоты затоков североморских вод по гранулометрическим данным обеих колонок. Полученные результаты хорошо согласуются с имеющимися данными о существовании длительных застойных бескислородных условий во впадинах Балтийского моря в климатические оптимумы голоцена [4].

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема №0149-2018-0012) при частичной поддержке Программы повышения конкурентоспособности БФУ им. И. Канта «5–100».*

### Литература

1. Jensen J.B., Moros M., Endler R. & IODP Expedition 347 Members. The Bornholm Basin, southern Scandinavia: a complex history from Late Cretaceous structural developments to recent sedimentation // *Boreas* 46, 2017. pp. 3–17.
2. Binczewska A., Moros M., Polovodova Asteman I., Sławinska J., Bazk M. Changes in the inflow of saline water into the Bornholm Basin (SW Baltic Sea) during the past 7100 years – evidence from benthic foraminifera record // *Boreas*. 2017. <https://doi.org/10.1111/bor.12267>
3. Christoffersen P.L., Christiansen C., Jensen J.B., Leipe T., Hille S. Depositional conditions and organic matter distribution in the Bornholm Basin, Baltic Sea // *Geo-Marine Let.* 2007. V. 27 (5). pp. 325–338.
4. Zillén L., Conley D.J., Andrén T., Andrén E., Björck S. Past occurrences of hypoxia in the Baltic Sea and the role of climate variability, environmental change and human impact // *Earth-Science Reviews*. 2008. V.91 (1–4) pp. 77–92.

# ИЗМЕНЕНИЕ ПАЛЕОСРЕДЫ АМУРСКОГО ЗАЛИВА ЯПОНСКОГО МОРЯ В ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВЫХ ОСАДКАХ НА ОСНОВЕ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

И. А. Прушковская

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток

PALEOENVIRONMENTAL CHANGES IN THE AMUR BAY (THE SEA OF JAPAN) IN THE LATE HOLOCENE SEDIMENTS ON THE BASIS OF DIATOM ASSEMBLAGES

I. A. Prushkovskaya

P'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok

*prushkovskaya@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: *диатомовые водоросли, голоцен, палеосреда, Амурский залив, Японское море.*

Keywords: *diatoms, Holocen, paleoenvironmental, Amur Bay, Sea of Japan*

Диатомей, доминирующие в фитопланктоне и поверхностных осадках Амурского залива, отражают прижизненные условия осадконакопления [1, 2], что позволяет использовать их как одну из наиболее информативных палеонтологических групп для палеореконструкций. Осадконакопление в Амурском заливе контролируется влиянием речного стока р. Раздольная, биологической продуктивностью и муссонной циркуляцией атмосферы. Осадки Амурского залива характеризуются высокими скоростями осадконакопления [3]. Амурский залив является внутренним заливом, расположенным в северо-западной части огромного залива Петра Великого Японского моря. В настоящее время его побережье является самым заселенным на Дальнем Востоке России. Располагаясь на границе крупнейшего континента и океана, Амурский залив подвержен различным природным явлениям, часто таким катастрофическим, как тропические циклоны или тайфуны, которые отражены в осадках [4].

Целью данного исследования являлась реконструкция палеосреды Амурского залива в голоцене. Для этого был исследован таксономический и экологический состав диатомей, их количественное содержание в осадках (на грамм сухого осадка). Материалом исследования послужила колонка LV66-3 из Амурского залива, отобранная в 66 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2014 г. на глубине 33 м. Возраст осадков определен методом радиоуглеродного датирования, и составляет около 4000 лет [5].

Было изучено 114 образцов (с шагом 3 см). В результате исследования определено 141 вид, которые принадлежат 66 родам. Наибольшее число видов характерно для родов *Cocconeis* (10), *Diploneis* (8), *Aulacoseira* (7), *Chaetoceros* (7), *Campylodiscus* (5), *Coscinodiscus* (5), *Nitzschia* (5), *Thalassiosira* (5), *Cymbella* (4).

По результатам проведенных исследований по количественному содержанию и экологическим группам диатомовых комплексов колонку можно разделить на три горизонта.

Горизонт I (инт. 470-430 см; 2900-2320 гг. до н. э.) - характеризуется высоким содержанием диатомовых водорослей на грамм осадка, приблизительно равным количеством планктонных неритических и бентосных видов и высокой численностью тепловодных видов.

Горизонт II (инт. 430-260 см; 2320-265 гг. до н.э.) характеризуется довольно заметными и ритмичными изменениями содержания диатомей в осадках, что отражает нестабильные условия осадконакопления. Преобладают преимущественно холодноводные виды.

Горизонт III (инт. 260-0 см; 265 г. до н.э. 2000 г. н.э.) характеризуется приблизительно равным количеством диатомей в осадках, но содержание его примерно в два раза ниже по сравнению с количеством в вышеописанных горизонтах I и II. Доминируют бентосные виды, субдоминируют неритические, увеличивается количество пресноводных видов, большая часть из которых представлена вымершими в неогене. Наибольшее количество пресноводных диатомей отмечено в осадках, накопленных в период с 1200 по 1900-е гг. н.э.

Полученные данные позволяют предположить, что в Амурском заливе за последние тысячелетия изменения окружающей среды, отраженные в осадках связаны со сменой основных климатических периодов позднего голоцена.

*Работа проводилась по программе ФНИ ТОИ ДВО РАН (тема №0271-2016-0007).*

### Литература

1. Цой И.Б., Моисеенко И.А. Диатомей поверхностных осадков Амурского залива Японского моря // Биология моря. 2014. Т. 40. №1. С. 20-25.
2. Tsoy I., Prushkovskaya I., Aksentov K., Astakhov A. Environmental Changes in the Amur Bay (Japan/East Sea) during the last 150 Years Revealed by Examination of Diatoms and Silicoflagellates // Ocean Science Journal. 2015. V. 50. №2. P. 433-444.
3. Акуличев В.А., Астахов А.С., Карнаух В.Н. и др. Геоакустические признаки миграции метана субаквальных угленосных толщ в голоценовый осадочный чехол (Амурский залив Японского моря) // Доклады Академии Наук. 2015. Т. 460. №5. С. 589–594.
4. Астахов. А.С., алугин И.А. , Аксентов К.И., Дарьин А.В. Геохимические индикаторы палеотайфунов в шельфовых отложениях. // Геохимия. 2015. №4. С. 387-392.
5. Акуличев В.А., Астахов А.С., Малахов М.И. и др. Первая находка криптотефры катастрофических извержений вулкана Байтоушань X в. н.э. в шельфовых отложениях Японского моря // Доклады Академии Наук. 2016. Т. 469. №6. С. 734–738.

## ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ

А. Ю. Санин

Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова, Москва

EXAMPLES OF THE APPLICATION OF HYDROMETEOROLOGICAL METHODS TO STUDY THE  
DYNAMICS OF COASTS

A. U. Sanin

Zubov State Oceanographic Institute, Moscow

*eather86@mail.ru*

Ключевые слова: *динамика берегов, методы математического моделирования, профили равновесия, вдольбереговой поток наносов, управление природопользованием.*

Keywords: *coastal dynamics, methods of mathematical modeling, equilibrium profiles, coastal flows of sediments, environmental management.*

В настоящее время для изучения динамики берегов как морей и океанов, так и крупных внутренних водоемов часто используются методы математического моделирования. Они не позволяют достигать такой точности результатов, как полевые исследования, но если полевые работы могут длиться годы, то применение методов математического моделирования требует сравнительно небольшого времени и затрат. Однако они в недостаточной мере отображают особенности данного водного объекта, так как в них используются эмпирические формулы, выведенные для абстрактного водоема.

К методам математического моделирования относятся так называемый волноэнергетический и ветроэнергетический, а также построение профилей динамического равновесия для подводного берегового склона и сопоставление их с реальными профилями. Ветроэнергетический метод позволяет оценить волновую энергию на качественном уровне, соотношение ее вдольбереговой и поперечной составляющих. Волноэнергетический метод позволяет получить количественную характеристику емкости вдольберегового потока наносов. Сопоставление профилей равновесия и подводного берегового склона позволяет оценить стадию эволюции, на которой находится участок берега, и примерную интенсивность его динамики, что позволяет подготовить прогноз его изменения в будущем при неизменном уровне воды моря или озера.

Автор принимал участие в применении методов математического моделирования для побережья Черного моря в районе будущего Крымского моста и на Южном берегу Крыма, Средиземного моря в районе побережья Египта, для атлантического побережья Гайаны, для берегов Онежского озера. Как правило, данные методы использовались для оценки динамики берегов в связи с реализацией различных инфраструктурных проектов. Среди них можно назвать строительство атомной станции в Египте, порта на побережье Гайаны для вывоза местного глинозема, реконструкцию проходящей около уреза моря автомобильной дороги на южном берегу Крыма и некоторые другие.

Для применения ветроэнергетического метода используются данные по силе и направлению ветра, а также по дальности разгона волн. Для применения волноэнергетического метода были использованы параметры волнения: длина, высота и период волн и, полученная ранее с помощью ветроэнергетического метода, волновая энергия в условных единицах [1]. Для использования обоих методов берег разбивался на участки в соответствии с его конфигурацией: чем большая извилистость характерна для береговой линии, тем таких участков должно быть больше.

Для построения профилей равновесия и сопоставления их с профилями подводного берегового склона необходимы данные по гранулометрическому составу донных отложений, для получения которых был организован отбор проб и их последующий гранулометрический анализ по линиям будущих профилей. Количественная оценка вдольберегового потока наносов, полученная за счет применения волноэнергетического метода, позволяет выявить участок берега с наибольшей емкостью вдольберегового потока. Для таких участков в сравнении с остальными при прочих равных условиях, в частности,



высоте абразионного клифа, ширине пляжа, уклоне подводного берегового склна, прочности берегоформирующих пород, слагающих берег, следует ожидать более интенсивной абразии или размыва берегов, либо, напротив, более интенсивной аккумуляции. Преобладание абразионных и аккумулятивных процессов определяется соотношением вдольбереговой и поперечной составляющей волновой энергии, которое, в свою очередь, зависит от распределения ветров по силе и направлению и от конфигурации береговой линии. Ветроэнергетический метод позволил получить такое соотношение в текстовом и графическом виде.

Применение методов математического моделирования для вышеперечисленных территорий позволило получить результаты, облегчающие управление природопользованием на них в настоящем и будущем. Для южного побережья косы Тузлы и острова Тузлы, через которые пройдет Керченский мост, были выявлены участки берега с наибольшими темпами размыва (до 1-2 м в год и более), что следует учитывать для обеспечения устойчивости мостового сооружения. Наиболее динамичные участки берега были выявлены для Онежского озера - как правило, они слабо освоены человеком, и инфраструктурные объекты на них отсутствуют, но в случае наличия последних необходимы берегоукрепительные работы. Скорость отступления берегов озера колеблется от нескольких сантиметров до 1,5-2 м [2]. Для Южного берега Крыма в пределах Солнечногорска интенсивность динамических процессов для берега была оценена как средняя; имеющийся пляж шириной 15-25 м уменьшается в ширине примерно на 10-15 см в год [3], однако в настоящий момент является природной защитой для берегового уступа и всех инфраструктурных объектов, расположенных непосредственно у уреза. Следовательно, острой необходимости в берегоукрепительных работах нет, однако в будущем потребность в них при сохранении существующих тенденций подъема уровня моря и уменьшения ширины пляжа возникнет.

### Литература

1. Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях. М.: Московское отделение Гидрометеоздата, 1975. 244 с.
2. Игнатов Е.И., Борщенко Е.И., Загоскин А.Л., Землянов И.В., Санин А.Ю., Терский П.Н., Фатхи М.О. Связь геологического строения, истории развития рельефа и динамики берегов Онежского озера // Труды Карельского научного центра РАН. Серия Лимнология. 2017. №3. С. 65-78. DOI: 10.17076/lim514.
3. Кошовский Т.С., Санин А.Ю. Геоморфологические природные риски как сдерживающий фактор в развитии прибрежного туризма на примере поселка Солнечногорского (Крым) // Сервис в России и за рубежом. 2017. 8(78). С. 79-90.

ПРОЦЕССЫ СЕДИМЕНТАЦИИ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ  
АРГЕНТИНСКОЙ ПАТАГОНИИ

Н. В. Симагин

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

SEDIMENTATION PROCESSES ON THE CONTINENTAL SLOPE OF ARGENTINIAN PATAGONIA

N. V. Simagin

P.P. Shirshov Institute of oceanology, Moscow

*morskoylitolog@gmail.com*

Ключевые слова: *глубоководная седиментация, контуриты, ледовый разнос, Атлантический океан, придонные течения, глауконит, Аргентинская Патагония.*

Keywords: *deepwater sedimentation, contourites, ice rafted debris, Atlantic ocean, bottom currents, glauconite, Argentinian Patagonia.*

Континентальная окраина Аргентинской Патагонии является уникальной областью, представляющей собой огромную эрозионно-аккумулятивную систему. Формирование этой системы связано с деятельностью течений антарктических вод [2-4]. На изучаемом участке (между 43 и 48 градусами южной широты) на континентальном склоне выделяется на четыре террасы (от шельфа к подножью - Нагера, Перито Морено, Пьедра-Буэна и терраса алетина Фейлберга).

Изучение строения толщ донных отложений в указанном районе ранее выполнялось преимущественно сейсмическими методами [1, 2, 6].

Данная работа направлена на изучение следующих проблем: 1) вариации интенсивности придонных течений в позднечетвертичное время и накопление осадков под их воздействием; 2) генезис, площадное распространение, распределение в разрезах колонок глауконитовых зёрен; 3) источники обломочного вещества для материала айсбергового разноса и пути распространения ледников и морских льдов.

В 2014-2017 гг. в четырёх рейсах НИС «Академик Иоффе» сотрудниками Лаборатории палеоокеанологии при участии автора доклада были отобраны 7 колонок донных осадков (46-й и 50-й рейсы) на террасах Фейлберга и Пьедра-Буэна (глубины отбора 2300-3500 м) [5, 6] и серия из 29 дночерпательных проб (50-й, 52-й, 53-й рейсы), приуроченных к эрозионным каналам, на террасах Перито Морено и Нагера (глубины отбора 400-2000 м)[6-8]. Отбор колонок донных осадков на двух верхних террасах был затруднён из-за очень высокой плотности поверхностных отложений.

Состав осадков был изучен в смер-слайдах, структурно-текстурные особенности осадка в керне и материала ледового разноса - в петрографических шлифах.

Осадки на двух верхних террасах представлены преимущественно глауконит-кварцевым песчаным материалом со значительной органической карбонатной примесью (одиночные и колониальные кораллы, мшанки, морские ежи и брахиоподы). В эрозионных структурах (каньонах и каналах) на этих террасах отмечается скопление грубообломочного материала и живой фауны, что может свидетельствовать об их неактивности в настоящее время [6, 7, 8]. От бровки шельфа к континентальному подножью наблюдается естественное увеличение глинистости осадка. На террасе Пьедра-Буэна разрез осадков представлен переслаиванием кокколитовых илов и глауконитовых песков, на террасе Фейлберга - однородными восстановленными гемипелагическими илами [5, 6]. Накопление глауконита на террасе Пьедра-Буэна связано с переносом через эрозионные структуры, а также гравитационными процессами, с вышележащих террас и перемывом придонными течениями. В возрастном отношении прослой глауконитовых песков приурочены вероятно к периодам оледенений, когда резко увеличивался терриенный снос за счет усиления эрозии на континенте и падения уровня океана; интервалы, обогащенные карбонатным материалом соответствуют межледниковым интервалам. Подобное обогащение наблюдается и в современных осадках, изученных в дночерпательных пробах [6, 8, 9].

Материал ледового разноса представлен в основном магматическими и метаморфическими породами - базальтами, кварцито-гнейсами, зёрнами кварца. На дне каньонов встречаются колониальные

бентосные постройки, требующие дальнейшего изучения [9]. Источники каменного материала и механизмы их транспорта пока также не изучены.

*Работа выполнена по Госзаданию 149-2018-0016.*

### Литература

1. Hernández-Molina F.J., Paterlini M., Violante R. Contourite depositional system on the Argentine Slope: An exceptional record of the influence of Antarctic water masses // *Geology*. 2009. V. 37. N. 6. pp. 507–510.
2. Muñoz A., Acosta J., Cristobo J., Druet M., Uchupi E., Atlantis Group. Geomorphology and shallow structure of a segment of the Atlantic Patagonian margin // *Earth-Science Reviews*. 2013. V. 120. pp. 73–95.
3. Preu B., Hernández-Molina F.J., Violante R. et al. Morphosedimentary and hydrographic features of the northern Argentine margin: The interplay between erosive, depositional and gravitational processes and its conceptual implications // *Deep Sea Res. Part I: Oceanographic Research Papers*. 2013. V. 75. pp. 157–174.
4. Rebesco M., F. Javier Hernández-Molina, Rooij D. V., Wählin A. Conturites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations // *Marine Geology*. 2014. V. 352. pp. 111–154.
5. Отчет 46-го рейса НИС «Академик Иоффе». 2014.
6. Отчет 50-го рейса НИС «Академик Иоффе». 2015.
7. Отчет 52-го рейса НИС «Академик Иоффе». 2016.
8. Отчет 53-го рейса НИС «Академик Иоффе». 2017.

# ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ В РАЙОНЕ П.ПРИМОРСКИЙ

Н. Ю. Сквинская

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов» (ФГАОУ ВО РУДН), Москва

THE GRAIN-SIZE COMPOSITION OF THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE KANDALAKSHA  
GULF OF THE WHITE SEA IN THE AREA OF PRIMORSKY TOWN

N. Yu. Skavinskaya

RUDN-University (People's friendship university of Russia), Moscow

*skavinskayany@gmail.com*

Ключевые слова: *Донные осадки, гранулометрический состав, Кандалакшский залив, фракция, литологический тип.*

Keywords: *Bottom sediments, grain-size composition, Kandalaksha Gulf, fracture, lithological type.*

Донные осадки представляют особый интерес при изучении арктических водных экосистем. С одной стороны, они являются показательным компонентом водной экосистемы, так как способны накапливать загрязняющие вещества. С другой стороны, донные отложения могут служить источником вторичного загрязнения водоемов [4]. При оценке качества донных отложений в первую очередь определяются такие показатели как гранулометрический состав и наличие загрязняющих веществ. В данной работе рассмотрен первый показатель.

Гранулометрический состав, характеризующий степень дисперсности донных осадков, является одной из наиболее важных характеристик. Наряду с вещественным (минералогическим, химическим) составом он обуславливает основные физические свойства осадков (пористость, объемный вес, вязкость, плотность и др.), а также условия накопления и превращения в них различных химических соединений и влияние на фауну. Особенности гранулометрического состава обуславливают многие гео- и экохимические свойства донных отложений [3].

В июне 2017 г. в рамках производственной преддипломной практики автора на Беломорской биологической станции МГУ им. Ломоносова в районе Кандалакшского залива совместно с Центром морских исследований МГУ были отобраны пробы донных отложений для изучения гранулометрического состава.

В целом на дне Белого моря получил распространение смешанные осадки, не содержащие какой-либо фракции в количестве, большем 50%. Среди них выделяются песчано-алевритово-илистый осадок с большим (более 40%) количеством пелита, затем песчано-алевритово-илистый осадок с большим количеством песчаных и алевритовых частиц (не менее 60% частиц размером более 0,01 мм), а также песчано-алевритово-илистый осадок с большим количеством пелита и с гравием [5] (см. рис. 4.1).

Основной литологический тип донных отложений в районе исследования тонкодисперсные илы с различной примесью песчаного и алевритового материала, который характерен для понижений рельефа. У берегов отмечается увеличение количества песчаного и галечного материала [6].

Отбор проб донных отложений проводился в соответствии с требованиями, установленными нормативной документацией:

ИСО 5667-12 Руководство по отбору проб донных отложений и илистых проб

ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность [2].

Для исследования гранулометрического состава отложений на каждой станции с помощью дночерпаля Ван Вина производился отбор 1 смешанной пробы из горизонта донного осадка 0-5 см. После отбора проба упаковывалась в пластиковую тару. Всего было отобрано 17 проб. Далее пробы были обработаны в лаборатории эколого-токсикологических исследований Всероссийского

научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО). Оценка гранулометрического состава происходила ситовым и ареометрическим методами в соответствии с ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Результаты лабораторного исследования показали, что донные отложения Кандалакшского залива представлены песками различной зернистости от тонкозернистого до среднезернистого. Большинство осадков являются бигранулярными, за исключением станций 6,8, 9, 11 и 13, грунты на которых представлены моногранулярными осадками.

Наиболее распространенными являются тонко-мелкозернистые пески, которые были обнаружены на средних глубинах (8-15 м) губ Кислая и Лапсеева. Станции отбора располагались недалеко от берегов. Вторыми по распространенности являются тонкоернистые пески. Глубина их нахождения 22-25 м. Станции отбора располагались приблизительно в 1 км от берега. Между участками тонко-мелкозернистых и тонкозернистых песков располагается полоса песков промежуточной величины мелко-тонкозернистые пески. Полоса протянулась от м.Киндо до пор.Нильмогубский. На двух станциях пробоотбора в губе Лапсеева рядом с рыбацкими избами донные отложения представлены средне-мелко зернистыми песками. Эти отложения являются самыми крупными для участка исследования. Рядом с м.Киндо на одной станции были обнаружены мелкоернистые пески.

Результаты проведенных исследований говорят о том, что в целом распределение типов донных отложений соответствует теоретическим данным - с увеличением глубины преобладание более мелких фракций в составе донных отложений увеличивается. Самые крупные для участка исследований отложения располагаются рядом с пляжами, сложенными крупно- и гребозернистым материалом. Результаты исследований отличаются от рассмотренных в работе материалов 1990 и 2004 гг. Можно предположить, что за значительный промежуток времени состав донных отложений изменился. Оценить это не представляется возможным, так как в исследованиях 1990 и 2004 гг. более подробно изучалась центральная часть Белого моря.

### Литература

1. ИСО 5667-12 «Руководство по отбору проб донных отложений и илистых проб»
2. ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность»
3. Лисицын А.П. Система Белого моря. Природная среда водосбора Белого моря Т.1. М.: Научный мир, 2010. 480 с.
4. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния: Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 288 с.
5. Пересыпкин В.И. и др. Лигнин и химические элементы в осадках Кандалакшского залива Белого моря // ОКЕАНОЛОГИЯ. 2004. Т. 44. №5. С. 1-13.
6. Щербаков Ф.А., Семенова Н.Л. Типы донных осадков и биоценозов центральной части Белого моря // Современные процессы осадконакопления на шельфах мирового океана. М., 1990. С. 126-135.

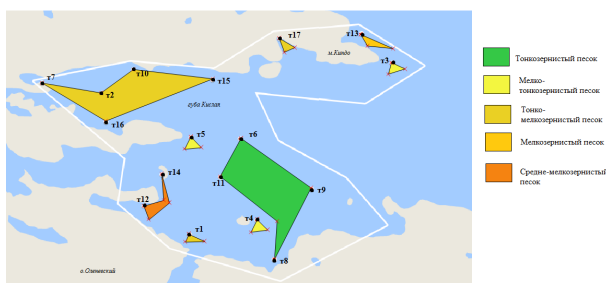


Рис. 4.1: Карта распределения гранулометрического состава донных отложений

## РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУБОКОВОДНОЙ ОСАДОЧНОЙ СИСТЕМЫ ХУРАЙ (ОЗ. БАЙКАЛ)

М. А. Соловьёва<sup>1,2</sup>, Г. Г. Ахманов<sup>1</sup>, О. М. Хлыстов<sup>3</sup>, А. В. Почевала<sup>4</sup>, А. Г. Ченский<sup>5</sup>,  
М. Ю. Токарев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Геологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва

<sup>2</sup>Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

<sup>3</sup>Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

<sup>4</sup>Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва

<sup>5</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск

## INTEGRATION RESULTS OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS OF THE KHURAY DEEP-WATER DEPOSITIONAL SYSTEM (LAKE BAIKAL)

M. A. Solovyeva<sup>1,2</sup>, G. G. Akhmanov<sup>1</sup>, O. M. Khlystov<sup>3</sup>, A. V. Pochevalova<sup>4</sup>, A. G. Chenskiy<sup>5</sup>,  
M. J. Tokarev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Geological faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University Seismic Data Analysis Center LLC, Moscow

<sup>3</sup>Limnological Institute of SB RAS, Irkutsk

<sup>4</sup>Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow

<sup>5</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk

*marina-sol@yandex.ru*

Ключевые слова: *озеро Байкал, глубоководная осадочная система, сейсмоакустическое профилирование, осадконакопление, турбидиты*

Keywords: *lake Baikal, deep-water depositional system, seismic profiling, sedimentation, turbidites.*

Исследования глубоководных бассейнов в последнее время являются одним из приоритетных направлений нефтяной индустрии и науки. За последние десятилетия открыты многочисленные месторождения углеводородов в сложностроенных осадочных системах. В связи с этим актуальным направлением является поиск и изучение современных аналогов подобных систем с целью накопления знаний о строении и развитии осадочных систем, в том числе некластических.

Примером такой системы, не вписывающейся в стандартную схему, является глубоководная осадочная система Хурай, расположенная в центральной котловине озера Байкал к югу от острова Ольхон. В этом районе в 2009 г. в ходе батиметрической съёмки дна многолучевым эхолотом [1] был обнаружен эрозионный врез, пересекающий тектоническую ступень. Однако планомерное изучение района началось лишь в 2014 г., со стартом проекта «Class@Baikal». Результаты донного пробоотбора в ходе Первой экспедиции «Class@Baikal» выявили присутствие отложений турбидитовых потоков в пределах вреза и у его подножия, что является свидетельством наличия осадочной системы, которая впоследствии получила название «Глубоководная осадочная система Хурай» [2].

Интерес к изучению этой системы вызван её развитием в узком рифтовом бассейне на фоне современной тектонической активности, а также наличием отчётливо прослеживаемого по батиметрическим данным эрозионного вреза в дистальной части системы, вследствие её расположения на тектонической ступени. Наличие каньона, помимо резов на континентальном склоне в проксимальной части осадочных систем, является уникальным явлением.

В связи с этим с 2014 г. в рамках проекта «Training-through-Research» проводятся ежегодные международные комплексные геолого-геофизические экспедиции «Class@Baikal», одной из задач которых является изучение глубоководной осадочной системы Хурай [3]. Исследования включают значительные работы по донному пробоотбору, съёмке дна при помощи гидролокатора бокового обзора и

исследованию осадочного разреза методикой непрерывного сейсмоакустического проилирования с использованием профилографа и электро-искрового источника типа «спаркер».

На данных профилографа обнаружены понижения в рельефе дна, прослеживаемые от профиля к профилю и образующие сеть каналов. Анализ донных осадков показал наличие турбидитовых прослоев в руслах и на прирусловых валах, что подтверждает предположение о переносе вещества по каналам [4]. Детальное исследование волновой картины сейсмоакустических данных в комплексе с исследованием кернов донного пробоотбора позволило составить схему долинно-руслового комплекса глубоководной осадочной системы Хурай [5].

С целью определения источника сноса материала в 2017 г. проводились сейсмоакустические исследования и донный пробоотбор в проксимальной части системы. Часть выявленных ранее каналов удалось проследить до Кукуйского каньона, расположенного в дистальной части авандельты реки Селенги. Таким образом, установлено, что река Селенга являлась одним из источников поступления терригенного материала в осадочную систему Хурай.

Кроме того, в дистальной части системы, в районе конуса выноса, проведено сейсмоакустическое профилирование, позволившее изучить осадочный разрез до глубины около 200 м. По всей длине сейсмической записи выделяются локализованные тела линзовидной формы, отличающиеся по характеру волновой картины от слоистого разреза. Они предположительно интерпретируются как погребённые лопасти конуса выноса и свидетельствуют о длительном и активном развитии осадочной системы в поздне-плейстоцен - голоценовом времени.

Дальнейшие исследования будут направлены на детальное изучение кернов с целью уточнения источников сноса, а также интерпретация сейсмоакустических данных, позволяющих изучить глубинное строение района и дополнить знания об эволюции осадочной системы в недалёком прошлом.

*Работа выполнена в рамках Гранта РФФИ №18-35-00363.*

### Литература

1. Батиметрические данные, полученные по: Программа Президиума РАН 17.8 (2009) и FWO Flanders project 1.5.198.09 <http://lin.irk.ru/multibeam/ru>
2. Ахманов, Г.Г., Хлыстов, О.М., Токарев, М.Ю. и участники TTR-Class@Baikal-2014. Первая экспедиция Байкальского Плавучего Университета: современное осадконакопление и зоны фокусированной разгрузки углеводородов и газогидратообразования на дне озера // Сб. тезисов III Международной молодежной научно-практической конференции "Морские исследования и образование". 2014. С. 19-23.
3. Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М. и участники TTR-Class@Baikal-2015. Проект Glass@Baikal: развивая традиции Международной программы "Обучение-через-исследования (Плавучий Университет)" // Сб.: Труды IV Международной научно-практической конференции "Морские исследования и образование (MARESEDU)". М.: Феория, 2015. С. 29-33.
4. Почевалова А.В., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М., Корост С.Р., Соловьева М.А. Конус выноса Хурай озера Байкал как современный аналог коллекторов глубоководного генезиса // Сб. тез. Межд. молодежн. науч. конф. Нефть и газ. 2016. Т. 1. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2016. С. 83-83.
5. Соловьева М.А., Почевалова А.В., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М., Ченский А.Г. Результаты сейсмоакустических исследований глубоководной осадочной системы Хурай (оз. Байкал) // Сб. мат. Всерос. науч. конф. мол. уч. КИМО-2017. Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 2017. С. 526-527.

## 5 Физика океана



# ФОРМИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ВОД БЕЛОГО МОРЯ ЗА 2014 Г.

Е. К. Арсентьева, Н. А. Подрезова  
Российский Государственный Гидрометеорологический Университет (РГГМУ)

FORMATION OF DENSITY STRATIFICATION OF THE WATERS OF THE WHITE SEA IN 2014

E. K. Arsenyeva, N. A. Podrezova  
Russian State Hydrometeorological University

*arsenteva.katya00@mail.ru*

Ключевые слова: *Белое море, устойчивость по температуре и солености, плотностная стратификация вод.*

Keywords: *White sea, temperature and salinity stability, density stratification of water.*

Основные задачи работы - оценить вклад в устойчивость по температуре и солености в формировании плотностной стратификации вод по натурным данным наблюдений за 2014 г. в Белом море.

В работе использовались данные полученные в ходе экспедиционного исследования, полученных институтом океанологии имени Ширшова 2014 г.

В результате было выбрано 4 полигона. Полигон 1 южная часть Большого Соловецкого острова с координатами  $35^{\circ} 77' 62,5''$  с. ш.,  $64^{\circ} 90' 06,3''$  в. д.; Полигон 2 Восточная Соловецкая Салма с координатами  $65^{\circ} 10' 19,09''$  с. ш.,  $36^{\circ} 34' 52,68''$  в. д.; Полигон 3 Бассейн Белого моря  $65^{\circ} 28' 50,46''$  с.ш.,  $39^{\circ} 23' 38,1''$  в. д.; Полигон 4 Двинской залив  $65^{\circ} 9' 4,02''$  с.ш.,  $39^{\circ} 14' 9,72''$  в.д.

Температурный и соленосный компоненты устойчивости находят широкое применение при решении различных задач, в том числе для типизации термохалинных условий стратификации, для диагностики возможных форм перемешивания и процессов структурообразования, включая масштабы тонкой структуры.

В зависимости от вертикального распределения температур и солености в океане возможны четыре типа стратификации, соответствующих им сочетаний вкладов  $E_T$  и  $E_S$  в общую устойчивость, а также критерия плотностного соотношения  $R\rho$ .

- 1) Полная, или абсолютная, устойчивость (ПУ)
- 2) Стратификация по типу солевых пальцев (СП)
- 3) Стратификация по типу послойной конвекции (ПК)
- 4) Абсолютная неустойчивость (АН)

Результаты расчетов по полигону 1. Были построены графики вертикального распределения  $T$ ,  $S$ ,  $E_T$ ,  $E_S$  и  $E$  в условиях средней, низкой и высокой воды.

Можно заметить, что при любом состоянии воды верхний квазиоднородный слой достигает глубины 4-6 м.

Выраженный термо - и галоклин можно наблюдать только в полной воде. Именно в этой зоне (глубина 6-9 м, скачок температуры 7,884983-7,446996, солености 27,50379-27,553 ‰) существуют максимальные значения устойчивости ( $E=5106,3617 \times 10^{-5}$  кг/м<sup>4</sup> на глубине 7 м). Минимальное значение  $E$  выделяется на глубине 2 м, и составляет  $-1444,33239 \times 10^{-5}$  кг/м<sup>4</sup>. Значения при средней воде - максимальное и минимальное значение стратификационной устойчивости составляют  $7785,115 \times 10^{-5}$  кг/м<sup>4</sup> и  $-424,32821 \times 10^{-5}$  кг/м<sup>4</sup> на глубинах 5 и 33 соответственно. Максимальное значение устойчивости при малой воде составляет  $11817,35624 \times 10^{-5}$  кг/м<sup>4</sup> (глубина 1 м), минимальное  $-6559,09434 \times 10^{-5}$  кг/м<sup>4</sup> (глубина 2 м).

# ОСОБЕННОСТИ СУБМЕЗОМАСШТАБНОЙ ВИХРЕВОЙ ДИНАМИКИ БАРЕНЦЕВА, КАРСКОГО И БЕЛОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

О. А. Атаджанова<sup>1,2</sup>, А. В. Зимин<sup>1</sup>, А. А. Коник<sup>1,2</sup>, Е. И. Свергун<sup>1,2</sup>, Д. А. Романенков<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

THE FEATURES OF THE SUBMESOSCALE EDDY DYNAMICS OF THE BARENTS, KARA AND  
WHITE SEAS USING SATELLITE DATA

O. A. Atadzhanova<sup>1,2</sup>, A. V. Zimin<sup>1</sup>, A. A. Konik<sup>1,2</sup>, E. I. Svergun<sup>1,2</sup>, D. A. Romanenkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

<sup>2</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*oksanam07@list.ru*

Ключевые слова: *субмезомасштабные вихри, Арктика, радиолокация, поверхностные фронты, Баренцево море, Карское море, Белое море.*

Keywords: *submesoscale eddies, Arctic, radar, surface fronts, the Barents Sea, the Kara Sea, the White Sea.*

В настоящее время существует пробел в знаниях о закономерностях процессов и явлений, обуславливающих субмезомасштабную изменчивость гидрофизических полей в шельфовых Арктических морях и их связи с процессами большего масштаба, например с синоптической динамикой фронтальных разделов. При этом субмезомасштабная динамика, проявляющаяся в виде малых вихревых структур с пространственным масштабом порядка единиц километров и временем жизни от нескольких часов до нескольких суток, активно исследуется во всех районах Мирового океана [1-3]. Вихри данного масштаба являются переходным звеном от мезомасштабных (синоптических) процессов к турбулентности, агеострофичны и обладают значительными вертикальными и горизонтальными скоростями, что может оказывать значительное влияние на быструю изменчивость гидрофизических полей и распространение примеси.

В данной работе рассматриваются особенности пространственно-временной изменчивости субмезомасштабных вихрей в Баренцевом и Карском морях с учетом влияния на нее фронтальной динамики по данным за теплый сезон 2007 и 2011 гг. Полученные результаты сопоставляются с ранее выявленными закономерностями для Белого моря. Кроме того, на примере Белого моря описано влияние агеострофичных вихрей на изменение концентрации хлорофилла.

В Баренцевом море было зарегистрировано 2934 малых вихревых структуры со средним диаметром 3,6 км, которые встречались практически на всей акватории с максимальной концентрацией в юго-восточной части моря (макс. частота 14 вихрей на км<sup>2</sup>), при этом более четверти вихревых структур регистрировалась в июле. В Карском море было зарегистрировано 1444 вихря со средним диаметром 2,5 км, которые отмечались преимущественно в южной и юго-западной частях моря при максимальной частоте 11 вихрей на км<sup>2</sup>. Пик вихревой активности пришелся на август, когда было зарегистрировано более трети обнаруженных вихрей. В обоих морях преобладали вихри с циклоническим типом закрутки и размером от 2 до 4 км, средние параметры вихрей от года к году и в течение теплого сезона в целом сохранялись.

В Баренцевом и Карском морях детектировалось положение по декадам и месяцам фронтов и фронтальных зон: Прикромочной (на севере обоих морей), Полярной (в центральной части Баренцева моря) и Стоковой (в юго-восточной части моря Карского моря).

Сопоставление положений вихрей и фронтов и их фронтальных зон показало, что наибольшая часть вихрей в Баренцевом море концентрировалась севернее положения Прикромочного фронта и южнее Полярного фронта, в Карском море вихри регистрировались в районе распространения речного стока и в области между Стоковым и Прикромочным фронтом. При этом регистрировались вихри внутри фронтальных зон, средняя ширина которых составила около 100 км.

Закономерности субмезомасштабной вихревой динамики, выявленные для Белого моря, характерны для Баренцева и Карского моря. Чаще всего вихри концентрировались вблизи фронтальных зон, хотя также регистрировались вихревые структуры в районах неровностей дна. Отмечалось значительное преобладание циклонического типа закрутки вихрей, средние размеры антициклонических вихрей всегда больше, чем циклонических. Большая часть всех вихрей имели размеры до 6 км.

По данным судовых и спутниковых наблюдений в Белом море была показана не однозначность влияния малых (агеострофичных) вихрей на изменение концентрации пассивных примесей в верхнем слое моря. В частности вихри, не всегда проявляющиеся в спутниковых данных по хлорофиллу, видны в спутниковых данных по температуре океана и радиолокации. Обладая одним типом закрутки по данным радиолокаторов, они могут характеризоваться как подъемом вод, который приводит к уменьшению концентрации хлорофилла, так и опусканием вод, которое, как обратный механизм, может приводить к «сгущению» и увеличению концентрации хлорофилла в центре вихревой структуры. Кумулятивный эффект связанный с упаковками вихрей может приводить к быстрому перераспределению хлорофилла на локальных акваториях, что нашло свое отражение в данных наблюдений.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме №0149-2018-0014 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натуральных экспериментальных работ».*

### Литература

1. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Спутниковые наблюдения вихревых и волновых процессов в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря // Исследование Земли из космоса. 2009. № 5. С. 72-79.
2. Karimova S.S. Spiral eddies in the Baltic, Black and Caspian seas as seen by satellite radar data // Adv. Space Res. 2012. V. 50. № 8. pp. 1107-1124.
3. Timmermans M.L., Winsor P. Scales of horizontal density structure in the Chukchi Sea surface layer // Continental Shelf Res. 2013. № 52. pp. 39-45.

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИВОДНОГО ВЕТРА В УСЛОВИЯХ  
БЛИЗКОЙ ГРАНИЦЫ ВОДОЕМА

Г. А. Байдаков, В. В. Папко, М. И. Вдовин, А. А. Кандауров, А. М. Кузнецова, Д. А. Сергеев,  
Ю. И. Троицкая  
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

FIELD INVESTIGATIONS OF THE SURFACE WIND UNDER CONDITIONS OF THE CLOSE  
BORDER OF WATER

G. A. Baydakov, V. V. Papko, M. I. Vdovin, A. A. Kandaurov, A. M. Kuznetsova, D. A. Sergeev,  
Yu. I. Troitskaya  
Institute of Applied Physics of the RAS, Nizhniy Novgorod

*baydakov@ipfran.ru*

Ключевые слова: *натурный эксперимент, ветро-волновое взаимодействие, турбулентный пограничный слой, внутренние водоемы.*

Keywords: *field experiment, wind-wave interaction, turbulent boundary layer, inland water bodies.*

Доклад посвящен серии натуральных экспериментов по исследованию характеристик турбулентного пограничного слоя над взволнованной водной поверхностью в условиях коротких разгонов волн. Измерения проводились на акватории Горьковского водохранилища (р. Волга) с мая по октябрь в 2016-2017 гг.

Измерительная аппаратура размещалась на автономной буйковой станции – оригинальной разработке коллектива авторов на базе океанографической вежи Фруда. По сравнению с измерениями, описанными в [1], вежа была модифицирована. Чтобы исключить влияние судна на процесс измерения, измерительный комплекс был автономизирован. Вежа удерживается якорем и неподвижна при стабильном направлении ветра. Резкое изменение направления ветра вызывает движение вежи в радиусе 20-25 м (в зависимости от глубины) от положения якоря на дне со скоростью 0.1-0.3 м/с при скорости ветра  $U_{10} = 9$ .

Оценка показала, что для проведенных экспериментов масштаб Монина-Обухова составлял от 7 до 83 м, что значительно превышает высоту области измерений (от 0,75 м при обработке данных с двух нижних датчиков до 5,27 м для всех датчиков скорости). Поэтому в качестве автомоделной функции для аппроксимации профиля скорости ветра была выбрана логарифмическая зависимость

$$U(z) = u_* / \kappa \ln(z/z_0) \quad (5.1)$$

где  $\kappa = 0,4$  – постоянная Кармана, а скорость трения  $u_*$  и параметр шероховатости  $z_0$  – параметры аппроксимации. Была определена зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления водной поверхности  $C_D$  от скорости ветра, приведенной к стандартной метеорологической высоте 10 м –  $U_{10}$ .

На рис. 5.1 приведен график полученной зависимости. Также на рис. 5.2 приведены результаты работ [2, 3]. Видно, что полученные значения  $C_D$  лежат ниже результатов работ [2, 3] при слабых ветрах, и выше – при умеренных и сильных ветрах. Полученные результаты были аппроксимированы простой аналитической зависимостью, и предложена параметризация:

$$C_D(U_{10}) = 0.0019U_{10}^{-1} + 0.0004 + 0.000067U_{10} \quad (5.2)$$

Также были проведены пробные измерения, направленные на изучение эволюции воздушного потока при резкой смене характера подстилающей поверхности – перехода ветра с берега на воду.

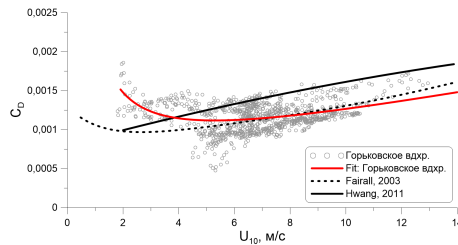
На берегу (рис. 5.2 а) скорость ветра измерялась на краю поля, засеянного клевером, с использованием двух акустических датчиков, размещенных на рядом расположенных мачтах (высоты измерения

1,2 и 3,3 м от земли). На рис. 5.2 б показаны зависимости от времени измеренных скоростей ветра с учётом временного сдвига 14 мин.

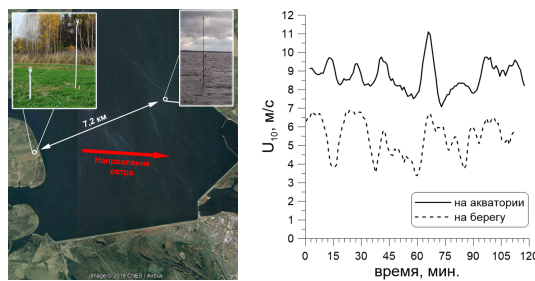
Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (номера проектов 18-05-00292, 17-05-41117, 16-05-00858). Разработка и подготовка измерительного комплекса выполнена при поддержке гранта РНФ № 14-17-00667, проведение натурных измерений поддержано грантом РНФ № 15-17-20009.

### Литература

1. Kuznetsova A. et al. Adjusting of Wind Input Source Term in WAVEWATCH III Model for the Middle-Sized Water Body on the Basis of the Field Experiment // Adv. Meteorol. 2016. V. 2016. Article ID 8539127, 13 p.
2. Phillips O.M. Spectral and statistical properties of the equilibrium range in wind-generated gravity waves // J. Fluid Mech. 1985. V. 156. pp. 505-531.
3. Hwang P.A. A note on the ocean surface roughness spectrum // J. Atmos. Ocean. Technol. 2011. V. 28. № 3. pp. 436-443.
4. Fairall C.W. et al. Bulk parameterization of air-sea fluxes: Updates and verification for the COARE algorithm // J. Clim. 2003. V. 16. № 4. pp. 571-591.



**Рис. 5.1:** Зависимость коэффициента  $C_D$  от скорости ветра. Круги – результаты натурных измерений, красная линия – функция (5.1), сплошная черная линия – результат из [3], пунктирная черная линия – результат из [4].



**Рис. 5.2:** а) Расположение измерителей скорости ветра. б) Сопоставление скоростей ветра, измеренных на берегу (пунктир) и на акватории (сплошная линия). График скорости на акватории смещен на 14 минут влево

# ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛН ЦУНАМИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. Ю. Базыкина, В. В. Фомин  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

THE CHARACTERISTICS OF TSUNAMI WAVES AT THE COASTAL ZONE OF THE BLACK SEA  
BY RESULTS OF NUMERICAL SIMULATION

A. Yu. Bazykina, V. V. Fomin  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*aleksa.44.33@gmail.com*

Ключевые слова: *численное моделирование, волны цунами, накат волн на берег, цунамиопасность черноморского побережья*

Keywords: *numerical simulation, tsunami waves, wave run-up at the coast, tsunami hazard of the Black Sea coast*

Цунами в Черном море наблюдается довольно редко. Из-за его низкой повторяемости и малого объема натуральных данных цунамиопасность Черноморского региона исследована недостаточно. Однако нельзя полностью исключать возможность возникновения волн цунами здесь [1].

На сегодняшний день о черноморских цунами известно, в основном, по наблюдениям очевидцев, описанных в летописях и легендах. Исторические цунами носили разрушительный характер. Они имели место вдоль многих участков побережья Черного моря. В основном, цунами были вызваны местными землетрясениями: большинство - с эпицентрами в море, некоторые - с эпицентрами на суше. Известно четыре явления цунами XX-го века, которые были зафиксированы с помощью мареографов. Это два события, произошедшие в 1927 г., а также события 1939 и 1966 гг. Все они имеют сейсмическое происхождение. Инструментальные записи помогают проанализировать характер колебаний уровня моря во время цунами. Однако истинные высоты уровня моря мареограф оценить не может. Поэтому возникает необходимость проведения численных расчетов для определения возможных высот волн при распространении цунами в прибрежной зоне Черного моря с последующим накатыванием волны на берег.

Одно из таких землетрясений, породившее волны цунами, произошло 12 сентября 1927 г. в Черном море в 30 км восточнее Ялты, в зоне повышенной сейсмической активности Черноморской впадины [2]. Магнитуда землетрясения, по разным источникам, составила от 6,5 до 7 [1-3]. Наибольшая высота волн, записанная мареографом, зафиксирована в Евпатории и составила 0,5 м. Однако, по наблюдениям очевидцев, во многих прибрежных пунктах Крыма явление цунами, вызванное землетрясением, не осталось незамеченным.

В настоящей работе выполнен численный анализ эволюции волн цунами на южном участке шельфа Крымского полуострова с последующим накатом на берег. Моделирование генерации цунами осуществлялось заданием начального возвышения уровня моря в эллиптической области при нулевом поле скорости. Оси эллиптической зоны генерации находились в зависимости от магнитуды землетрясения, по эмпирическим формулам Уэллса [4]. Для описания процесса распространения волн цунами использовалась нелинейная двумерная модель поверхностных длинных волн с учетом квадратичного по скорости донного трения. Для моделирования наката волны на сухой берег применен близкий к описанному в работе [5] алгоритм. Расчеты выполнены на прямоугольной сетке с пространственным шагом 50 м, шаг по времени 0,1 с.

Трансформация волнового поля и горизонтальных скоростей существенно зависят от особенностей рельефа дна бассейна, формы берегов и положения очага цунами. В начальной стадии эволюции цунами происходит опускание центральной части начального возвышения уровня моря с последующим формированием направленной волны. Ее высота наибольшая в направлениях, перпендикулярных

продольной оси эллиптической зоны генерации. При дальнейшем продвижении волны к берегу, она сжимается и усиливается вследствие уменьшения глубины бассейна.

По мареограммам, рассчитанным для нескольких пунктов южного побережья Крыма, сделан анализ экстремальных характеристик смещений уровня моря и периодов волн цунами. Даны оценки максимальных повышений и понижений уровня моря при накате на берег. Наибольшее усиление волн происходит у ближайших к очагу участков побережья. Понижения свободной поверхности моря у берега могут превышать по модулю высоту наката волн.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»).*

### Литература

1. Доценко С.Ф. Черноморские цунами // ФАО. 1994. Т. 30. В. 4. С. 513-519.
2. Григораш З.К. Распространение цунами 1927 г. в Черном море // Тр. Морского гидрофиз. ин-та. 1959. Т. 18. С. 113-116.
3. Никонов А.А. Цунами на берегах Черного и Азовского морей // Физика Земли. 1997. № 1. С. 86-96.
4. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bull. Seism. Soc. Am. 1994. V. 84. pp. 974-1002.
5. Kowalik Z., Murty T.S. Numerical simulation of two-dimensional tsunamis runup // Mar. Geodesy. 1993. V. 16. pp. 87-100.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БАРБОТАЖА ПО ДАНЫМ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

А. В. Березина

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург

MEASUREMENT OF SOME PARAMETERS OF BARBOTAGE ACCORDING TO LABORATORY  
EXPERIMENT DATA

A. V. Berezina

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

*fis a47@mail.ru*

Ключевые слова: *барбота́ж, диаметр отрыва пузыря, частота отрыва пузырей.*

Keywords: *barbotage, bubble diameter of separation, frequency of separation of bubbles.*

Нарастание льда является актуальной проблемой для навигации в портах замерзающих морей. Одним из способов предотвращения нарастания льда на портовой акватории, особенно вблизи причалов, является установка барботажной системы. Такие установки применяются в портах Финляндии и Норвегии. В портах морей российской Арктики также возможно применение барботажа, в связи с чем возникает необходимость подробного исследования его параметров.

Этой теме посвящен ряд работ зарубежных исследователей [1-3], однако, в них выводы делаются только на основании эмпирических данных для конкретных акваторий.

Для оценки эффективности применения барботирования в заданных условиях требуется универсальное теоретическое описание определяющих его факторов. В данной работе на основе теории размерностей и лабораторного эксперимента определяются основные параметры барботажа в мелком море и предпринимается попытка дать их общее математическое описание.

Была собрана экспериментальная установка для исследования параметров барботажа. Установка состоит из бассейна высотой 50 см и высотой столба воды 40 см. На глубине 35 см размещалась трубка с соплом. Через шланг с помощью источника сжатого газа подавался воздух, который выходил в воду в виде пузырьков.

Проведены две серии экспериментов, отличавшихся своей постановкой. Первый вариант эксперимента был поставлен для изучения параметров одиночных пузырей. Сжатый воздух подавался в шланг с помощью шприца объемом 25 мл. Второй вариант предназначался для исследования потока пузырьков при расходах порядка 0,6 л/мин и менее, а также при расходах от 5 до 12, л/мин. Воздух подавался с помощью компрессора. Регистрировался объемный расход при помощи ротаметра, подсоединенного к шлангу. В экспериментах использовались сопла с диаметрами от 2,6 до 4,3 мм.

Всплытие пузырей фиксировалось на видеокамеру с частотой съемки 240 кадров в секунду. При первичной обработке видеоданных для одиночного пузыря определялись диаметр отрыва, а также скорость всплытия. Для потока пузырьков определялась частота отрыва от сопла, высота факела и скорость его образования.

Было установлено, что с увеличением диаметра сопла отрывной диаметр пузыря возрастает. Для одиночных пузырьков, не взаимодействующих друг с другом, были определены средние скорости всплытия. Для потока пузырьков определены особенности частоты отрыва пузырей от сопла. С увеличением расхода воздуха частота отрыва пузырьков возрастает от 670 мин<sup>-1</sup> при расходе 0,06 л/мин и до 1300 мин<sup>-1</sup> и более при расходе 0,6 л/мин. Частота отрыва в большей степени зависит от объемного расхода воздуха и мало зависит от диаметра сопла. Однако, возможно, в исследовании использовался слишком маленький диапазон диаметров сопел, чтобы повлиять на частоту отрыва, и зависимость выявить не удалось.

Отрывной диаметр является определяющим параметром, от которого зависит скорость всплытия пузырька и, соответственно, особенности формируемой барботажем циркуляции. На основе теории



размерностей получено выражение для диаметра отрыва пузырьков, отражающее тенденцию к увеличению отрывного диаметра с возрастанием расхода. Также определены эмпирические коэффициенты, присутствующие в выражении.

Полученное выражение может быть использовано при проектировании барботажных установок, а эмпирические коэффициенты в дальнейшем войдут в модель циркуляции, создаваемой при барботировании.

В дальнейшем планируется подробное исследование для установления коэффициента увлечения жидкости всплывающим пузырьком, а также циркуляции, создаваемой в бассейне при барботировании.

### Литература

1. Hulgard E., Serensen Тю, Hostrup-Schultz Ice cover prevention by means of air bubbles, Nassaq, Greenland // Port and ocean eng. under Arctic cond. Technical University of Norway, 2003.
2. Ince S. A guide to the design of air bubblers for melting ice // Hydraulics Sect. Nat. Res. Council. Ottawa, Canada. 2001. Chap. 39.
3. Huachen P., Eranti E. Applicability of Air Bubbler Lines for Ice Control in Harbours // China Oc. Eng. 2009. V. 21(2). pp. 215-224.

# АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ SWAN К ИЗМЕНЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ПРИДОННОГО ТРЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА АКВАТОРИИ САЛМАНОВСКОГО НГКМ

А.А. Борисова  
ООО «Фертоинг»

ANALYSIS OF MODEL SWAN SENSITIVITY TO THE COEFFICIENT OF BOTTOM FRICTION  
VARIANCE IN SIMULATING WIND WAVE PARAMETERS ON THE SALMANOVSKOYE OIL  
FIELD

A. A. Borisova  
«Fertoing» Ltd., St.Petersburg

*borisovalika@mail.ru*

Ключевые слова: *математическое моделирование, ветровое волнение, модель SWAN.*

Keywords: *mathematical modeling, wind wave, SWAN model.*

Добыча углеводородного сырья в шельфовой зоне требует применения плавучих буровых установок и других специализированных сооружений, приспособленных для непрерывной работы в морских условиях. Проектирование подобных сооружений требует тщательного учета гидрометеорологических условий предполагаемого района эксплуатации, в том числе, данных по режиму ветрового волнения. Справочные пособия, содержащие сведения о волнении на акваториях морей, не могут предоставить локальную информацию, особенно на участках шельфа со сложной орографией и рельефом дна, например, в эстуариях. В этих случаях единственным способом получить временные ряды достаточной продолжительности для расчета экстремальных характеристик волнения (30 лет согласно рекомендациям ВМО) является моделирование ветрового волнения.

В настоящее время Обская губа является активно развивающейся акваторией с точки зрения добычи, переработки и транспорта углеводородов. Освоение Салмановского нефтегазоконденсатного месторождения продолжает череду проектов в Обской губе по созданию нефтегазовой инфраструктуры. Как и в целом для Обской губы, для акватории Салмановского НГКМ отсутствуют достоверные оценки режимных характеристик ветрового волнения. Для возможности расчета экстремальных характеристик волнения нами выполнена работа по адаптации модели ветрового волнения для данной акватории.

В рамках данного исследования были выдвинуты следующие цели:

- 1) выполнение расчета характеристик ветрового волнения на акватории Обской губы с помощью волновой модели SWAN;
- 2) анализ чувствительности модели SWAN к способам задания механизмов диссипации волнового поля, а именно коэффициента придонного трения.

Для расчета характеристик ветрового волнения была выбрана спектральная волновая модель SWAN Cycle 3 Version 41.01 (Simulating Waves Nearshore) [2, 3]. Необходимыми входными данными в модели расчета характеристик ветрового волнения служат: поле ветра, поле глубин выбранного района, расчетная сетка (триангуляционная). Данные поля ветра представляют собой компоненты U и V на высоте 10 м реанализа NCEP CFSv2 (The National Centers for Environmental Prediction Climate Forecast System version 2).

Исходные данные по батиметрии были взяты с открытого ресурса GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans). Шаг сетки глубин составил 30", границы района: 66.004°-73.004° с.ш. 70.504°x79.504° в.д.

В данной работе построение триангуляционной сети осуществлялось с помощью программы Triangle version 1.6 (Двумерный генератор триангуляционной сетки Делоне). Полученная сетка имеет ячейки с наименьшим размером 67.1 м, и наибольшим - 11353.9 м.

В рамках работы была проведена верификация результатов модели на основе натуральных данных, полученных в ходе проведения инженерных изысканий по рассматриваемому объекту в июле-августе 2016 г. с помощью акустического доплеровского профилографа течений и волнения Nortek AWAC 600 kHz (ФБГУ «ААНИИ»). Результаты представлены на рис. 5.3.

Также в ходе работы была исследована чувствительность модели к способам параметризации придонного трения. В силу мелководности Обской губы, на характеристики волнения в значительной степени влияют эффекты донного трения. В рассматриваемой модели SWAN для пользователя представлены несколько вариантов учета такого фактора влияния на распространение волновой энергии, как придонное трение: эмпирическое значение, полученное в ходе эксперимента JONSWAP К. Хассельманом (1973), по модели трения Коллинза (1972), а также по модели придонного пограничного слоя Гранта-Мадсена (1988), учитывающей величину параметра шероховатости донного трения. Было проведено несколько численных экспериментов: 1-ый - расчет без учета донного трения; 2-ой - с эмпирическим коэффициентом К. Хассельмана; 3-й - модель Коллинза, 4-й - модель Гранта-Мадсена [1]. Результаты расчета значительных высот волн и их направлений представлены на рис. 5.4.

Максимальные значения значительных высот волн -  $H_s$  (Significant Wave Height) достигаются в случае, когда трение не учитывается. Результаты, полученные при расчете с учетом модели Гранта-Мадсена и эмпирического коэффициента трения К. Хассельмана, близки, следовательно, эти два механизма вносят приблизительно одинаковый вклад в донное трение. Среднее значение  $H_s$  в обоих расчетах составляют 0,37 м. В ходе анализа был определен коэффициент корреляции между рассчитанными рядами  $H_s$  и натурными данными. Отмечается, в среднем коэффициент корреляции равен 0,5 при всех рассмотренных вариантах расчета, что является неплохим результатом при данном шаге сетки глубин, но модель придонного трения Коллинза является наиболее подходящей для донных условий акватории Салмановского НГКМ (наибольший коэффициент корреляции).

В результате работы были сделаны следующие выводы:

- 1) Исследован волновой режим не только Обской губы, но и более детально акватории Салмановского НГКМ.
- 2) Проведено 4 численных экспериментов: без учета донного трения и с различными способами параметризации данного параметра. По полученным результатам выявлено, что модель придонного трения Коллинза является наиболее подходящей для донных условий акватории Салмановского НГКМ (наибольший коэффициент корреляции). Таким образом, при расчете параметров ветрового волнения для акваторий со средними глубинами 15-20 м необходимо учитывать влияние придонного трения.

## Литература

1. Михайличенко С.Ю., Иванов В.А. и др. Моделирование штормовых ситуаций в Азовском море на основе волновой модели SWAN // Экол. безоп. прибрежной и шельфовой зон моря. 2007. № 15. С. 299-305.
2. SWAN Cycle III version 41.01, Scientific and Technical documentation Delft Univ. of Technology, Netherlands, 2008. 123 p.
3. SWAN Cycle III version 41.01, User Manual, Delft University of Technology, Netherlands, 2008. 117 p.

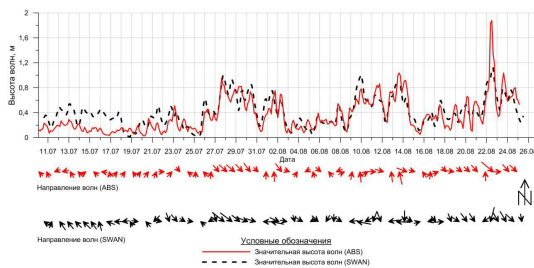


Рис. 5.3: Значительная высота и направление волн по натурным и рассчитанным данным

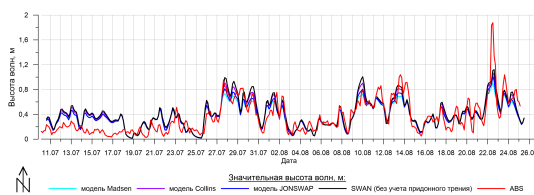


Рис. 5.4: Значительная высота и направление волн по натурным и рассчитанным данным при различных вариантах учета донного трения

## РЕШЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ С ПОМОЩЬЮ САГМ (СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА)

А. А. Борзунов, К. Е. Ривкин, И. С. Сергиенко  
ООО «Фертоинг», Санкт-Петербург

HANDLING OF APPLIED PROBLEMS OF ENGINEERING SURVEYS WITH THE USE OF SAHM  
(SYSTEM OF APPLIED HYDROMETEOROLOGICAL MONITORING)

A. A. Borsunov, K. E. Rivkin, I. S. Sergienko  
«Fertoing», Saint-Petersburg

*a.borzunov@fertoing.ru*

Ключевые слова: *измерение уровня моря, гидрометеорология, инженерные изыскания, уровень моря.*

Keywords: *sea level measurement, hydrometeorology, engineering surveys, sea level.*

Реализация инженерных проектов на море требует качественных оперативных гидрометеорологических данных на акватории работ.

Система автоматизированного гидрометеорологического мониторинга (САГМ), разработанная в ООО «Фертоинг», представляет собой программно-аппаратный комплекс с различным набором датчиков, предназначенных для измерения уровня воды, параметров волнения и метеорологических характеристик.

На сегодняшний день САГМ применяется в следующих областях:

- обеспечение безопасности мореплавания;
- гидрометеорологический мониторинг;
- инженерно-гидрометеорологические изыскания;
- инженерно-гидрографические работы.

Посты САГМ имеют несколько модификаций, предназначенных для установки на различных объектах: причал порта, необорудованный берег или палуба буровой платформы. В качестве источника питания для постов САГМ может использоваться трехфазная электрическая сеть 220 В, солнечная батарея или аккумуляторная батарея. Передача данных осуществляется по средствам GSM-связи или через систему спутниковой связи Iridium. Также данные записываются на внутренний носитель и могут быть изъяты непосредственно с поста.

На многих объектах (например, в грузовом порту Сочи) САГМ непрерывно функционирует несколько лет подряд. В результате долговременных наблюдений за уровнем и параметрами волнения накоплены массивы данных, которые позволяют произвести расчеты экстремальных значений уровня моря и волнового режима.

Одной из основных идей развития САГМ является «гибкость» системы, подразумевающая возможность интеграции в одно устройство различных измерительных средств, в зависимости от ставящихся задач, и возможность установки данного устройства в любых условиях. На сегодняшний день, в составе модификаций постов САГМ используются датчики гидростатического давления, радарные датчики уровня моря, датчики скорости и направления ветра, температуры воздуха, атмосферного давления, относительной влажности воздуха, осадков.

Конечной целью САГМ является оперативное обеспечение пользователей всей необходимой гидрометеорологической информацией для быстрого принятия решений при ведении деятельности на море. Оперативность достигается путем вывода данных всех постов САГМ на специально разработанный информационный ресурс - <http://www.sagm.fertoing.ru>, на котором пользователь может просматривать данные в режиме реального времени.

За время функционирования САГМ (с 2008 г.) система постоянно расширялась. С каждым годом возрастает число установленных постов и объем накапливаемых данных.

Таким образом, на сегодняшний день САГМ является надежным инструментом гидрометеорологического обеспечения морской деятельности с большим накопленным опытом эксплуатации и потенциалом развития. В числе наиболее значимых результатов применения САГМ такие проекты как:

- Обустройство Киринского ГКМ. проект «Сахалин-3» - расчет НТУ, корректировка навигационных карт;
- Проект Сабетта - расчет НТУ, обеспечение гидрографических работ, контроль объемов дноуглубительных работ;
- Строительство магистрального газопровода «Краснодарский край - Крым» (Акватория Керченского пролива) - обеспечение гидрографических работ, контроль объемов дноуглубительных работ;
- Мониторинг уровня моря на акватории морского порта Усть-Луга для нужд ФГУП «Росморпорт».

# ИСПЫТАНИЕ СХЕМЫ РАСЧЕТА ПРИТОКА ЭНЕРГИИ ОТ ВЕТРА К ВОЛНАМ

К. Ю. Булгаков, Я. В. Стригунова

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

VERIFICATION WIND INPUT SCHEME FOR WAVE FORECAST MODEL

K. Yu. Bulgakov, Y. V. Strigunova

Russian State Hydrometeorology University, Saint-Petersburg

*strigunova.jana@yandex.ru*

Ключевые слова: *ветровые волны, моделирование, приток энергии от ветра*

Keywords: *wind waves, modeling, wind input.*

Прогнозирование морских волн является важной задачей геофизической гидромеханики, необходимой для обеспечения безопасности морских судов, а также для проектирования береговых и шельфовых сооружений. Несмотря на это, многие элементы прогнозирования морских волн до сих пор находятся в зачаточном состоянии. Прежде всего, это относится к схемам притока энергии от ветра к волнам и диссипации энергии волн в турбулентность. Сложности с построением параметризаций притока энергии к волнам вполне очевидны. Отсутствует достаточное количество наблюдений для исследования циркуляции в приволновом слое. Теоретические работы в этой области, в основном, ограничиваются рассмотрением идеализированных случаев. Поэтому работоспособность большинства схем определяют подгоночные коэффициенты, настраивая которые, можно добиться удовлетворительного результата.

Неудивительно, что до сегодняшнего дня нет единого подхода к построению схем притока энергии от ветра к волнам. Так, например, модель прогноза ветровых волн UMWM [1] использует схему на основе [2]. Приток энергии определяется отношением фазовой скорости волн и скорости ветра и, так называемым коэффициентом перекрытия (*sheltering coefficient*), который определяет часть волны, закрытую от воздействия ветра. В модели SWAN [3] приток энергии разделяется на линейную составляющую и экспоненциальную. Модель WAVEWATCH [6] применяет для расчета притока энергии теорию Майлса [5].

Наиболее перспективным методом исследования проблемы взаимодействия волн и ветра надо считать метод, основанный на прямом численном моделировании совместной динамики волн и ветра. Реализация данного метода сопряжена со значительными трудностями. Необходимо введение отслеживающих координат, связанных с нестационарной поверхностью (волнами). В трехмерном случае такая система координат не будет ортогональной, поэтому, с её введением, уравнения приволнового слоя атмосферы значительно усложняются. Например, для расчета давления на поверхности необходимо решать полное уравнение эллиптического типа, что требует больших затрат машинного времени при счете, не говоря уже про сложности в программной реализации. Неудивительно, что до настоящего времени не было разработано ни одной 3-х мерной модели совместной динамики ветра и волн.

Двухмерность ( $x, z$ ) значительно упрощает проблему, позволяя использовать ортогональные конформные координаты. Задача эволюции потенциальных волн в этой системе сводится в одномерную. Уравнение для расчета давления становится уравнением Пуассона. Такая модель была реализована в [4]. Она включает в себя систему одномерных уравнений для потенциальных волн, и систему уравнений для двумерного пограничного слоя атмосферы в негидростатическом приближении с турбулентным замыканием на основе уравнения эволюции кинетической энергии турбулентности и скорости диссипации. Уравнения имеют безразмерный вид. На основе полученных с её помощью результатов, был разработан нижеприведенный алгоритм расчета притока энергии и импульса от ветра к волнам.

Алгоритм, предложенный в [4], был внедрен в модель прогноза ветровых волн WAVEWATCH 3.0 [6] как замена имеющейся бета-функции. Данная модель была применена к Балтийскому морю. Настройки модели для данного водоема были взяты из [7]. Горизонтальное разрешение модели - 10 км,

разрешение направления волн - 24 равных сегментов, спектральное разрешение - 25 интервалов, значение наименьшей частоты первого интервала - 0.04 Гц. В качестве начальных условий задавалось отсутствие волнения. Поля ветра рассчитывались адаптированной для данного региона моделью региональной циркуляции атмосферы WRF [8]. Расчеты проводились на 3-х последовательно вложенных сетках разрешением 90 (количество точек - 40X39), 30 (67X64) и 10 км (130X139). Узлы последней сетки совпадали с узлами сетки WAVEWATCH, поэтому обмен полями в процессе расчета не требовал дополнительной интерполяции данных. Для начальных и боковых граничных условий модели WRF были использованы поля реанализа NCEP [9].

Было проведено 2 эксперимента по воспроизведению шторма, наблюдавшегося с 18 по 22 августа 2014 г. В первом эксперименте применялся алгоритм (1-4), во втором был использован базовый вариант модели [6].

Сравнение данных доминантной высоты волны по данным измерений и по результатам экспериментов показали, что результаты экспериментов примерно одинаковы, модель с предложенной схемой показывает большую высоту волны, чем базовый вариант модели. Наибольшая разница между результатами примерно 0.4 метра. В целом можно говорить о том, что предложенная схема работает не хуже, чем схема базового варианта модели.

*Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00124).*

### Литература

1. Donelan M. A., Curcic M., Chen S. S., Magnusson A.K. Modeling waves and wind stress // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. pp.1-26.
2. Jeffreys H. On the formation of waves by wind // Proc. R. Soc. A. 1924. V. 107. pp. 189–206.
3. Holthuijsen L.H., Booij N, Ris R.C. A spectral wave model for the coastal zone // Proc. 2nd Int. Symp. Oc. Wave Measur. Analysis. New Orleans. July 25-28. 1993. New York. pp. 630-641.
4. Chalikov D., Rainchik S. Coupled numerical modeling of wind and waves and the theory of the wave boundary layer // Boundary Layer Meteorol. 2010. V. 138. Is. 1. pp. 1–41.
5. Miles J.W. On the generation of surface waves by shearflows // J. Fluid Mech. 1957. V. 3. Is. 2. pp. 185–204.
6. Tolman H.L. A third generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents // J. Phys. Oceanogr. 1991. V. 21. pp. 782–797.
7. Street I.S. Modeling the wave climate in the Baltic sea // J. Water Manag. Res. 2014. V. 70. pp. 19–29.
8. Michalakes J., Dudhia J., Gill D., Henderson T., Klemp J., Skamarock W., Wang W. The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance // Proc. 11th ECMWF Workshop on the Use of High Perf. Computing In Meteorol. October 25-29, 2004.
9. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce, 2000: NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory, Boulder, CO.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕТРОВЫХ ВОЛН В БУХТЕ ПЯТИ ОХОТНИКОВ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

А. Д. Бузулуцкая, Н. А. Подрезова

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

MODELING OF WIND WAVES IN THE FIVE HUNTERS BAY (SEA OF JAPAN)

A. D. Buzulutsкая, N. A. Podrezova

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

*buzulutsкая.anastasia@yandex.ru*

Ключевые слова: *Тихий океан, Японское море, моделирование, ветровое волнение, волны, берегозащитные сооружения, мол, динамика океана.*

Keywords: *The Pacific Ocean, Sea of Japan, modeling, wind waves, waves, coast protective constructions, seawall, dynamics of ocean.*

Предметом исследования в данной работе является бухта Пяти Охотников, расположенная в северо-восточной части Японского моря в Уссурийском заливе. Японское море является окраинным морем в западной части Тихого океана. Море обособлено от открытой части океана Японскими островами и островом Сахалин. Рельеф дна моря неоднородный, максимальная глубина - 3742 м. Средняя глубина Уссурийского залива, в котором находится бухта составляет 67 м [1].

В данной работе производился расчет распространения ветрового волнения на территории порта, защищенного молом, с учетом различных параметров. Для расчета ветрового волнения использовалась двухмерная модель [2], в которой основу составляют уравнения движения и неразрывности, с учетом граничных условий для твердых и жидких боковых границ.

С целью исследовать возможности модели для описания ветрового волнения в бухте при различной длине мола были произведены расчеты. Для решения поставленной задачи использовалась прямоугольная область размером 400x400 узлов с шагом 2 м. Начальными данными для расчетов задавались массив глубин для расчетной сетки, скорость и направление ветра и длина мола, параметры поступающего волнения задавались с помощью фиктивного источника. Выходящими данными явились полученные характеристики волнения в порту при различной длине берегозащитного сооружения.

Были получены несколько вариантов распространения ветрового волнения при различной длине берегозащитного сооружения в начальный момент времени и спустя 3,5, 10 и 15 минут.

В течение расчетного периода наблюдается распространение волнового фронта по территории порта, ограниченного молом. В начальный момент времени можно видеть, как волна заходит в акваторию порта (рис. 5.5 а). При прохождении первых 3,5 мин волна достигает берега и, отражаясь, движется в направлении от берега (рис. 5.5 б). Наблюдаются длинные волны на начальном этапе их движения в порту. Спустя 10 мин волнение распространяется по всей территории порта (рис. 5.5 в). Волны, достигая берега и берегозащитного сооружения, отражаются и, встречаясь с другими волнами, складываются с ними (наблюдается интерференция [3]) - амплитуда и высота волны при этом увеличивается. Через 15 мин волнение имеет установившийся характер - волны продолжают двигаться, отражаться и складываться друг с другом, образуя сложную ячеистую структуру (рис. 5.5 г) с пиками максимальных высот волн, длины волн при этом уменьшаются.

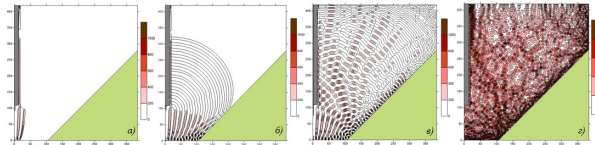
При увеличении длины берегозащитного сооружения наблюдается большее искривление волного фронта на входе в порт, наблюдается рефракция [3], как и в первом случае (рис. 5.6 а). Характер движения волн по акватории не сильно зависит от длины мола. Длина берегозащитного сооружения влияет на скорость распространения волн - при увеличении длины мола, скорость движения волн уменьшается.

За счет этого, можно наблюдать увеличение длин волн в начале движения фронта (рис. 5.6 б). Так как скорость движения меньше, волны, после отражения и сложения с другими волнами, не имеют такие высоты, как при укороченном моле (рис. 5.6 в,г). Соответственно, не только наличие,

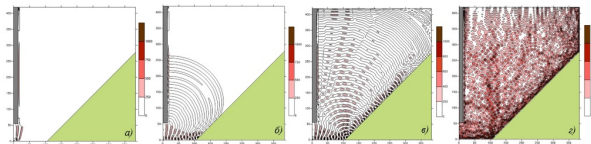
но и оптимальная длина мола влияют на развитие ветровых волн в акваториях портов. В обоих рассматриваемых вариантах наблюдаются такие явления, как рефракция и интерференция [3].

### Литература

1. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: изд. Московского ун-та, 1982. 200 с.
2. Программа для ЭВМ «Расчет характеристик распространяющегося ветрового волнения в порту»: № 2013617663 Рос. Федерация: Царев В.А.; заявитель и правообладатель СПб, РГГМУ. №2013615514; заявл. 01.07.2013; зарег. 21.08.2013.
3. Доронин Ю.П. Динамика Океана. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 302 с.



**Рис. 5.5:** Распределение и высота (мм) волн при ширине входа в бухту 200 м: а) в начальный момент времени; б) спустя 3,5 мин; в) спустя 10 мин; г) через 15 мин.



**Рис. 5.6:** Распределение и высота (мм) волн при ширине входа в бухту 100 м: а) в начальный момент времени; б) спустя 3,5 мин; в) спустя 10 мин; г) через 15 мин.

# РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РЕЖИМА ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА ЧЁРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЁТОВ

Ф. Н. Гиппиус, С. А. Мысленков

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

WIND WAVE HINDCAST FOR THE BLACK SEA BASED ON NUMERICAL MODELING

F. N. Gippius, S. A. Myslenkov

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

*fedor.gippius@gmail.com*

Ключевые слова: *Черное море, ветровое волнение, ретроспективный анализ, климат, модель SWAN, реанализ NCEP/NCAR, реанализ NCEP/CFSR.*

Keywords: *Black Sea, wind waves, wave hindcast, climate, SWAN model, NCEP/NCAR reanalysis, NCEP-CFSR reanalysis.*

Работа посвящена анализу данных о ветровом волнении на акватории Чёрного моря за период с 1949 г. по настоящее время. Параметры ветрового волнения были рассчитаны с применением численной волновой модели SWAN.

Модель SWAN (Simulating WAVes Nearshore) - численная спектральная волновая модель третьего поколения, разработанная в Технологическом университете г. Делфт (Нидерланды). В ней объединены наиболее полные параметризации процессов возникновения, диссипации и взаимодействия волн на «глубокой воде», а также характерные для мелководных акваторий процессы донного трения и обрушения волн. Несмотря на то, что изначально модель специализировалась на расчёте параметров волнения в мелководных прибрежных акваториях, практика показала её применимость и для открытых акваторий морей.

Были выполнены два численных эксперимента. В ходе первого использовалась регулярная прямоугольная расчётная сетка с пространственным разрешением 5 км. Данные о скорости и направлении ветра, необходимые для расчёта ветрового волнения, получены из метеорологического реанализа NCEP/NCAR [1] для периода с 1949 по 2010 гг. Этот реанализ содержит данные об основных метеорологических параметрах на регулярной сетке, покрывающей весь земной шар с пространственным разрешением  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ . Временной шаг между записями данных составляет 6 часов.

Для второго эксперимента использовались данные о ветре из реанализа NCEP/CFSR за период с 1979 по 2010 гг. [2] и из второй версии этого же реанализа [3] - за период с 2011 г. до настоящего времени. В реанализе NCEP/CFSR пространственное разрешение составляет  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ , шаг по времени равен 1 ч. Расчёты выполнялись на неструктурной расчётной сетке, шаг которой зависит от глубины моря. Расстояние между узлами сетки составляет от 10-15 км в открытой части моря до 500 м в прибрежных акваториях.

Результаты обоих экспериментов сравнивались с инструментальными наблюдениями - данными волномерного буйа и спутниковой альтиметрии. Волномерный буй Datawell был установлен в рамках международной исследовательской программы NATO-TU WAVES в 7 км от побережья Чёрного моря в районе г. Геленджик. Глубина моря в районе установки составляет 85 м. Измерения выполнялись с 1996 по 2003 гг. с несколькими перерывами [4, 5]. Сопоставление измеренных и вычисленных значений высот значительных волн показывает их хорошее совпадение. Средняя разность между этими параметрами составляет 0.2 м, стандартное отклонение разности - 0.32 м.

Результаты моделирования применяются для оценки режимных характеристик ветрового волнения на акватории моря. Установлено, что максимальные высоты значительных волн наблюдаются в зимний период в юго-западной части моря, где они составляют 8.5–9.0 м. Длины и периоды таких волн составляют 150–160 м и 10.5–11.0 с соответственно. В остальные сезоны интенсивность ветрового

волнения убывает, достигая минимума летом, когда высоты значительных волн не превышают 6.5 м в центральной части моря.

Рассматриваются различные аспекты штормового волнения в Чёрном море. На примере штормов в июле 1969 г., феврале 2004 г. и ноябре 2007 г. выявлены механизмы зарождения и протекания штормов. Также установлены два типа атмосферной циркуляции, вызывающие экстремальное волнение. В первом случае штормовые ветра вызваны вторжением циклона со Средиземного моря и Балканского полуострова, во втором - с Балтийского моря и Восточно-Европейской равнины.

Отдельная часть работы посвящена анализу ветрового волнения в прибрежных акваториях. На примере данных для пяти прибрежных точек (Геленджик, Кацивели, Голицынское газовое месторождение, Синоп и Хопа) рассматриваются региональные особенности волнения. Кроме того, для оценки трансформации волн в береговой зоне рассмотрены данные для пяти точек, расположенных в Керченском проливе.

В заключении сделаны методологические выводы на основе сопоставления результатов экспериментов, выполненных для одного и того же периода времени, но на основе различных исходных данных.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках проекта № 16-35-00488.*

### Литература

1. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bul. Am. Meteorol. Soc.* 1996. № 3. pp. 437-471.
2. S. Saha et al. The NCEP climate forecast system reanalysis // *Bul. Am. Meteorol. Soc.* 2010. № 8. pp. 1015-1057.
3. S. Saha et al. The NCEP climate forecast system version 2 // *J. Clim.* 2014. № 6. pp. 2185-2208.
4. Бухановский А.В., Лопатухин Л.И., Рожков В.А., Дивинский Б.В., Косьян Р.Д. Типизация ветрового волнения Черного моря по инструментальным данным // *Океанол.* 2000. № 2. С. 289-297.
5. Информационные ресурсы проекта «Динамические процессы береговой зоны моря» [Эл. ресурс] URL: <http://coastdyn.ru> (14.02.2018)

## О ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Д. С. Гладских, Д. А. Сергеев, Г. А. Байдаков, И. А. Соустова, Ю. И. Троицкая  
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

ON THE NUMERICAL SIMULATION OF THE THERMAL REGIME OF INLAND WATER OBJECTS  
WITH EXPERIMENTAL DATA

D. S. Gladskikh, D. A. Sergeev, G. A. Baydakov, I. A. Soustova, Yu. I. Troitskaya  
Institute of Applied Physics of the RAS, Nizhny Novgorod

*darja.gladskikh@gmail.com*

Ключевые слова: *численное моделирование, натурный эксперимент, термический режим, температурный профиль, внутренний водоем*

Keywords: *numerical simulation, field experiment, thermal regime, temperature profile, inland water object.*

Термический режим является ключевой характеристикой, оказывающей определяющее влияние на экологическое и биологическое состояние внутренних водоемов, к которым относятся крупные озера и водохранилища. В [1] установлена зависимость распространения фитопланктона (т.н. цветение воды или эвтрофикация) от температурного распределения. В связи с процессами перемешивания, индуцированного ветром, термические режимы водоемов характеризуются существенной сезонной изменчивостью.

Существуют различные модели для расчета термических режимов, мы воспользовались одномерной моделью, основанной на одномерном уравнении теплопроводности. Она численно реализована в программном комплексе LAKE [2], разработанном В.М. Степаненко. Для параметризации турбулентного теплообмена используется "Е-ε"-параметризация [3], основанная на уравнениях кинетической энергии турбулентности и скорости ее диссипации. В качестве входных данных используется начальный температурный профиль, метеорологические параметры каждого дня, для которого решается задача моделирования, и физические параметры. Нами предложена модификация программного комплекса, затронувшая процедуру задания входных данных, что позволило использовать экспериментальные данные в качестве начальных профилей на первом шаге решения задачи и обеспечить более высокую точность в моделировании температурной стратификации термоклинного типа, весьма характерной для внутренних водоемов. Также модификация затронула учет ветрового воздействия на процессы перемешивания. Далее была проведена валидация модифицированной версии для условий равнинного водохранилища среднего размера на примере озерной части Горьковского водохранилища (56,7° с.ш., 43,3° в.д.). Для валидации модели были использованы экспериментальные данные, данные архивов метеостанции г. Городец и данные глобального метеорологического реанализа NCEP/NCAR с пространственным разрешением 1°. Экспериментальные данные о термическом режиме озерной части Горьковского водохранилища были получены в ходе экспедиционных работ в период 2014-2017 гг. Измерения профилей проводились с помощью свободно падающего STD-зонда в фиксированной точке. Из массива данных по всем экспедициям были выбраны 2014 и 2017 гг., поскольку эти периоды характеризуются значительными отличиями в характере распределения температуры, что связано в первую очередь с различиями в сезонной метеорологической обстановке. Сезон 2014 г. характеризуется интенсивной солнечной радиацией, высокой температурой воздуха и незначительно более слабым ветром. Соответственно, профили, полученные в этот период, отличаются большим перепадом температур и сильной стратификацией приповерхностного слоя, в отличие от периода 2017 г., когда наблюдались практически однородные по глубине профили из-за слабого прогрева и большего перемешивания

Для оценки результатов были рассмотрены значения температуры в контрольных точках по глубине (поверхность, 1, 3 и 8 м), проведено сравнение форм профилей для характерных случаев, и найдено среднеквадратическое отклонение по всему ансамблю реализаций.

Большее количество контрольных точек было выбрано в приповерхностном слое, что обусловлено его более сильной изменчивостью и влиянием на процессы эвтрофикации. Разница между реальными и модельными данными уменьшается с увеличением глубины, что подтверждает более существенную изменчивость и сложность физических процессов в приповерхностном слое, обусловленных ветроволновым взаимодействием.

Также сравнивались формы температурных профилей для характерных случаев. Численные расчеты воспроизвели основные формы распределения во всех случаях, однако наибольшего согласия удалось достичь для режимов с сильным перемешиванием, когда стратификация практически отсутствует.

Что касается интегральных характеристик сопоставления натуральных данных и численных результатов, то среднеквадратичное отклонение по температуре не превысило  $0.8^{\circ}\text{C}$  для всего ансамбля реализаций 2017, и  $1.5^{\circ}\text{C}$  - для 2014 г., что является более точным результатом по сравнению с использованием первоначальной версии [2].

Таким образом, результаты численных расчетов с использованием модифицированной версии программного комплекса в достаточной мере описывают реальные сезонные изменения термического режима в озерной части Горьковского водохранилища. Режимы с сильным перемешиванием и слабым прогревом были воспроизведены более точно, чем режимы с сильным прогревом и существенной стратификацией. Это может быть объяснено не вполне адекватным воспроизведением процессов, происходящих при слабом ветре и интенсивной солнечной радиации, или недостаточно корректными метеоданными, в частности, данными реанализа, по причине грубой географической сетки.

*Работа выполнена в рамках проектов РФФИ 17-05-41117, 18-05-00265, 18-05-00292.*

### Литература

1. Bernard O., Rémond B. Validation of a simple model accounting for light and temperature effect on microalgal growth // *Bioresource Tech.* 2012. V. 123. pp. 520-527.
2. Степаненко В.М. Численное моделирование термического режима мелких водоемов // *Вычислит. технол.* 2005. Т. 10. Ч. 1. С. 100-106.
3. Лыкосов В.Н. О проблеме замыкания моделей турбулентного пограничного слоя с помощью уравнений для кинетической энергии турбулентности и скорости ее диссипации // *Изв. АН СССР. ФАО.* 1992. Т. 28. С. 696-704.

## МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОХАЛИННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

А. Н. Демидов, Е. В. Колтовская, М. Е. Куликов  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

LONG-TERM CHANGES IN THE THERMOHALINE CHARACTERISTICS OF THE BALTIC SEA

A. N. Demodov, E. V. Koltovskaya, M. E. Kulikov  
Lomonosov Moscow State University, Moscow

*katyayaya15@gmail.com*

Ключевые слова: *Балтийское море, термохалинные характеристики, течения североморских вод, холодный промежуточный слой, Гданьская котловина, Слупский желоб.*

Keywords: *Baltic Sea, thermohaline characteristics, flow of North Sea waters, cold intermediate layer, Gdansk Basin, Slup Trench.*

Одной из важнейших задач океанологии является выявление связи гидрометеорологических факторов со структурой и динамикой вод, с целью прогнозирования изменений морской среды. Целью настоящей работы является выявление особенностей многолетних изменений температуры и солёности, как для всей акватории Балтики, так и для отдельных ее регионов. Также произведен анализ условий формирования вод холодного промежуточного слоя и ЗСВ в Слупском желобе, Гданьской и Арконской котловинах и их связи с индексом североатлантического колебания (САК) и интенсивностью затоков.

Для выявления изменчивости температуры и солёности в Слупском желобе за период с 2004 по 2016 годы были использованы STD и батометрические данные на океанологических станциях HELCOM [helcom.org], а также результаты измерений из совместных экспедиций МГУ, БФУ, МФТИ и ИКИ РАН. Для определения значений придонной солёности в Арконской котловине использовались данные MARNET, взятые с [bsh.de]. В рамках немецкого проекта MARNET установлено несколько автономных закормленных станций на Балтике, измеряющие гидрологические параметры.

Данные для анализа многолетней изменчивости гидрологических характеристик (средних по десятилетиям) были взяты из атласа WOA 13 (World Ocean Atlas 2013). Измерения, положенные в основу WOA 13, были распределены по регулярной сетке на всей акватории моря с шагом в 0.5 градуса. При анализе было использовано 220 точек с осредненными значениями по 26 слоям. В результате были получены средние значения температуры и солёности за десятилетия, как по всему морю, так и по его отдельным частям.

Для анализа связи затоков и среднемноголетних изменений гидрологических параметров был взят индекс САК (с сайта агентства NOAA ссылка). Для анализа условий формирования ХПС использовались значения индекса САК за март с 2004 по 2015 г.

*Изменение гидрологических параметров.* Термохалинные характеристики Балтийского моря подвержены значимым многолетним изменениям. Для хода температуры и солёности Балтийского моря в период 1955-1984 гг. тенденции их изменений были однонаправленные, а с 1985 по 2012 гг. - разнонаправленные, что связано с изменением фазы индекса североатлантического колебания (САК) [2]. Когда индекс САК резко вырос, особенно в конце 80-х - начале 90-х годов, то вместе с повышением температуры, увеличилось количество осадков над акваторией и речными бассейнами Балтийского моря, что привело к повышению стока [1]. В результате возрос уровень моря и затоки, регулярно повторявшиеся в предыдущие десятилетия (1955-1984 гг.) на несколько лет совсем прекратились, а затем стали более редкими, хотя и большей интенсивности, что подтверждает выводы [1]. В последние годы наблюдается уменьшение температуры и увеличение солёности.

*Влияние затоков Североморских вод.* По данным изменчивости придонной солёности в Арконской котловине и Слупском желобе за период с 2002 по 2016 гг. видно, что в периоды интенсивных затоков (2003, 2014 гг.) Североморские воды в большом количестве посушают в Балтику и их следы

обнаружены в прибрежной зоне Самбийского полуострова. Максимумы солености в придонном слое Слупского желоба наступают через 1-3 месяца от регистрации затоков в Арконской котловине, до которой непосредственно от Датских проливов они проходят за 2 недели - месяц.

*Изменчивость характеристик вод холодного промежуточного слоя.* Интенсивность зимнего выхолаживания и летнего прогрева поверхностного слоя зависит от приземных температур воздуха и преобладающего типа переноса воздушных масс, что хорошо описывается индексом САК. Соответственно, это влияет на формирование холодного промежуточного слоя (ХПС). Низкая температура ядра ХПС возникает при отрицательном индексе САК, относительно теплый ХПС формируется при положительном индексе. Исключением служит 2011 г., в который сформировался очень холодный ХПС при положительном индексе САК. На нижнюю часть ХПС также влияет смещение галоклина вверх - здесь высокосолёные воды препятствуют конвекции.

*Аналитические исследования были выполнены при финансовой поддержке РФФ (грант № 14-50-00095), а экспедиционные работы и обработка данных при помощи РГО-РФФИ (грант №17-05-41029).*

### Литература

1. Дроздов В.В., Смирнов Н.П. Колебания климата и донные рыбы Балтийского моря. СПб.: изд. РГГМУ, 2008. 249 с.
2. Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада ЛТД, 2013. 144 с.
3. Matthäus W., Nehring D., Fiestel R., Lass H. The inflow of highly saline water into the Baltic Sea //State and Evolution of the Baltic Sea, 1952-2005: A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment. 2008. pp. 265-309.
4. Mohrholz, V., Naumann M., Nausch G.; Krüger S., Gräwe, U. Fresh oxygen for the Baltic Sea — An exceptional saline inflow after a decade of stagnation //Journal of Marine Systems. 2015. V.148. pp.152-166.
5. Arcona station data (MARNET) URL:<http://www.bsh.de/de/>
6. Climate prediction center of NOAA <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>
7. Baltic Marine Environment Protection Commission - Helsinki Commission <http://www.helcom.org>
8. Leibniz Institute for Baltic sea Research Warnemünde <http://www.io-warnemuende.de>
9. National Oceanographic Data Center <http://www.nodc.noaa.gov>



# ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ СЛУЧАЙНЫХ ВОЛН НА МЕЛКОЙ ВОДЕ

Е. Г. Диденкулова (Шургалина)<sup>1, 2</sup>, А. В. Кокорина<sup>1</sup>, А. В. Слюняев<sup>1</sup>, О. И. Диденкулов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

<sup>2</sup>Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород

## STUDY OF NONLINEAR DYNAMICS OF RANDOM WAVES IN SHALLOW WATER

E. G. Didenkulova (Shurgalina)<sup>1,2</sup>, A. V. Kokorina<sup>1</sup>, A. V. Slunyaev<sup>1</sup>, O. I. Didenkulov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal Research Center Institute of Applied Physics of the RAS, Nizhny Novgorod

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

*eshurgalina@mail.ru*

Ключевые слова: *прибрежная зона, нелинейные волны, уравнение Кортевега - де Вриза, статистические моменты, функции распределения, спектры волн.*

Keywords: *coastal zone, nonlinear waves, Korteweg - de Vries equation, statistical moments, distribution functions, wave spectra.*

Уравнение Кортевега - де Вриза является одной из основных моделей нелинейных волн в слабо дисперсионных средах. Первоначально оно было получено для поверхностных волн на мелководье, а затем - для разных волн в несжимаемой и стратифицированной жидкости, магнитной гидродинамике, плазме, линиях электропередач и т. д. [1-3]. Данное уравнение мы используем для изучения нелинейной динамики случайных волн на мелкой воде.

По-видимому, первые результаты исследований статистических характеристик поверхностных волн были получены Лонге-Хиггинсом [4]. Он получил функции распределения высот волн в предположении, что поверхностное волнение в линейном приближении (смещение уровня относительно невозмущенного состояния) в фиксированной точке является гауссовым случайным процессом. Однако значение нелинейного взаимодействия между волновыми компонентами оказывается очень велико, особенно на мелкой воде. Нелинейное взаимодействие нарушает гауссовость процесса, и поэтому достаточно важно исследовать роль нелинейности в формировании вероятностных распределений высот волн. Прямой численный счет является эффективным способом получения статистического материала, а также изучения свойств случайных полей и оценки влияния на них отдельных условий [5, 6].

В данной работе посредством численного моделирования исследуется эволюция случайных волновых полей в рамках уравнения Кортевега - де Вриза. Изучены эволюция спектра, переход к квазиравновесному состоянию, третий и четвертый статистические моменты (асимметрия и эксцесс) случайных волновых полей, функции распределения амплитуд и высот волн. Рассмотрены ситуации как с одним выраженным пиком спектра, так и ситуация двухпикового спектра.

Учитывались различные значения параметров волновых полей, в том числе различные значения параметра Урселла (от 0.07 до 0.95). Этот параметр характеризует роль нелинейности и дисперсии: его малые значения соответствуют линейной задаче, а большие - нелинейной. Было показано, что чем больше параметр Урселла, тем больше максимумы волновых полей. В результате эволюции таких волновых полей могут возникать аномально большие волны (волны-убийцы), что также было отмечено в работах [7-10].

В результате нелинейного взаимодействия волн статистические моменты будут меняться со временем. Для всех реализаций эксцесс принимает положительные значения, это означает, что положительные волны (гребни) имеют большую амплитуду, чем отрицательные волны (впадины); причем большим значениям параметра Урселла соответствуют большие значения четвертого статистического момента. Стоит отметить, что для волн на глубокой воде в рамках нелинейного уравнения Шредингера и его обобщения (уравнения Дэсте) было показано, что нелинейность также приводит к росту

третьего статистического момента волнового поля и увеличению вероятности возникновения аномально высоких волн [11, 12].

Функции распределения амплитуд и высот волн демонстрируют роль нелинейности в процессе формирования аномально больших волн. В случае положительных амплитуд, сосчитанных как максимум между двумя нулями, функции распределения лежат выше теоретического распределения Рэля при больших значениях параметра Урселла. В случае же отрицательных волн - наоборот, ниже, так как в результате нелинейного взаимодействия амплитуды отрицательных волн уменьшаются.

Изначально симметричный волновой спектр гауссовой формы расширяется в результате волнового взаимодействия. С течением времени спектр принимает стационарную форму. Параметр Урселла влияет на ширину установившегося спектра: в случае большей нелинейности спектр будет шире, а энергия распределяется почти равномерно в диапазоне длинных волн.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 16-55-52019 и 16-32-60012.*

### Литература

1. Whitham G.B. Linear and Nonlinear Waves. Wiley, 1974.
2. Newell A.C. Solitons in Mathematics and Physics. SIAM, Philadelphia, PA, 1985.
3. Engelbrecht J. Nonlinear Wave Dynamics: Complexity and Simplicity. Kluwer Acad. Publishers, 1997.
4. Лонге-Хиггинс М.С. Статистический анализ случайной движущейся поверхности. В кн.: Ветровые волны (пер. с англ. яз.) М.: Мир, 1962. С. 125-218.
5. Pelinovsky E., Sergeeva (Kokorina) A. Numerical modeling of the KdV random wave field // Europ. J. Mech. B/Fluids. 2006. V. 25. pp. 425-434.
6. Sergeeva A., Pelinovsky E., Talipova, T. Nonlinear random wave field in shallow water: variable Korteweg-de Vries framework // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2011. V. 11. pp. 323-330.
7. Pelinovsky E., Talipova T., Kharif C. Nonlinear dispersive mechanism of the freak wave formation in shallow water // Physica D. 2002. V. 147. pp. 83-94.
8. Kharif C., Pelinovsky E., Talipova T. Formation de vagues géantes en eau peu profonde // C. R. Acad. Sci. Paris. 2000. Ser. IIb 328. pp. 801-807.
9. Kharif C., Pelinovsky E. Physical mechanisms of the rogue wave phenomenon // Eur. J. Mech. B Fluids. 2003. V. 22. pp. 603-634.
10. Пелиновский Е.Н., Слюняев А.В. Волны-убийцы // Физика. 2006. №4.
11. Tanaka M. A method of studying of nonlinear random field // Fluid Dyn. Res. 2001. V. 28. pp. 41-60.
12. Onorato M., Osborne A.R., Serio M., Bertone S. Freak wave in random oceanic sea states // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 86. pp. 5831-5834.

## ОПУСКАНИЕ ВОД В ЭКМАНОВСКОМ СЛОЕ, НАД НАКЛОННЫМ ДНОМ

Д. Н. Елкин, А. Г. Зацепин  
Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва

## SINKING OF WATER IN THE EKMAN LAYER AT THE INCLINED BOTTOM, AND ITS ROLE IN BLACK SEA

D. N. Elkin, A. G. Zatsepin  
P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*dnelkin@mail.ru*

Ключевые слова: *Даунвеллинг-овые прибрежные течения, лабораторное моделирование, наклонное дно, стратификация вод, вращающаяся платформа, экмановский придонный слой, конвективная неустойчивость, перемешивание.*

Keywords: *downwelling coastal currents, laboratory modeling, inclined bottom, water stratification, rotating platform, Ekman bottom layer, convective instability, mixing.*

При наличии прибрежного морского течения, достигающего дна, образуется придонный экмановский слой (ПЭС), интегральный перенос воды в котором происходит перпендикулярно направлению течения и влево от него (в Северном полушарии). В случае циклонического течения вдоль берега моря, или же антициклонической циркуляции вокруг острова, в ПЭС происходит перенос воды от берега, сопровождающийся в области шельфа и континентального склона ее опусканием по наклонному дну [2]. Устойчивая плотностная стратификация водной среды ограничивает глубину опускания вод в ПЭС. Достигая определенной глубины погружения, вода в ПЭС должна останавливаться и конвективным образом перемешиваться с вышележащими водами.

Цель данной работы - воспроизведение динамики ПЭС с опусканием стратифицированных вод на наклонном дне в лабораторных условиях и выполнение оценки глубины опускания применительно к черноморским условиям.

Лабораторные эксперименты проводились в цилиндрическом бассейне с диаметром 60 см и высотой 27 см сделанном из оргстекла, расположенном на вращающейся платформе. В центре бассейна установлен усеченный конус с нижнем основанием на дне бассейна. Угол наклона конической поверхности к горизонтали составляет  $\alpha = 30^\circ$ . Высота конуса равна 14 см. В центре верхнего основания конуса сделано отверстие, соединенное шлангом с сосудом Мариотта. Над этим отверстием осесимметрично расположен пустотелый цилиндр с диаметром 16 см и высотой 3 см. В верхней части цилиндра имеется щель, служащая кольцевым источником, через который из сосуда Мариотта в бассейн подается с постоянным расходом вода плотности  $r_1$ : такой же, или меньшей, чем плотность  $r_0$  воды в бассейне. Перед началом опыта бассейн заполнялся водой до уровня верхнего края кольцевого источника. Сосуд Мариотта заполнялся водой, подкрашенной тимоловым красителем. Поступающая в бассейн вода образует «прибрежное» (прижатое к боковой поверхности цилиндра) фронтальное течение, вид которого сверху и сбоку с помощью видеокамер. Для определения скорости течения на поверхность воды помещались бумажные пелетки.

Было проведено две серии лабораторных экспериментов. В опытах первой серии ставилась задача определения закономерностей распространения ПЭС вниз по поверхности гладкого конуса в баротропном случае ( $r_1 \approx r_0$ ). Лабораторные эксперименты проводились с различными значениями скорости вращения платформы (период вращения  $T = 5, 10$  и  $20$  с), и с различными значениями расхода воды ( $Q = 2, 48$  см<sup>3</sup>/с). Вода, поступающая из источника на поверхность конуса, изначально образовывала антициклоническое осесимметричное прибрежное течение, расширявшееся радиально. Через некоторое время ширина слоя подкрашенной жидкости и связанного с ним прибрежного течения практически переставала расти, несмотря на продолжавшийся приток из источника. Стабилизация положения фронта подкрашенной жидкости была обусловлена с формированием в вязком ПЭС потока вниз по склону, выходящего со временем далеко за пределы фронтальной зоны слоя подкрашенной жидкости.

Во второй серии ставилась задача определения закономерностей распространения ПЭС вниз по поверхности гладкого конуса в бароклинном случае ( $r_1 < r_0$ ). Эксперименты проводились с различными значениями  $Dr = r_1 - r_0$ , разницы плотности. Использовался размерный параметр: редуцированное ускорение силы тяжести  $g' = gDr/r$ , где  $g$  – ускорение силы тяжести. Другими размерными параметрами являются параметр Кориолиса  $f$ , кинематическая вязкость  $\nu$ , которая была приблизительно постоянной. В этом случае, реализовывались два различных сценария эволюции фронтального течения.

В первом сценарии, при сравнительно небольшом  $Dr$ , наклонный фронт течения достигал поверхности конуса и формировался ПЭС, в котором происходило опускание более легкой воды вниз по склону. Со временем, ПЭС испытывал конвективную неустойчивость: в нем формировались валиковые структуры, вытянутые в азимутальном направлении. Затем они распадались на трехмерные вихревые структуры, в которых подкрашенная вода ПЭС медленно поднималась в вверх, вплоть до свободной поверхности жидкости.

Во втором сценарии, при достаточно большом  $Dr$ , наклонный фронт течения не достигал поверхности конуса и явления опускания более легкой жидкости в ПЭС не наблюдалось. При работающем источнике жидкость, заключенная внутри области прибрежного течения, росла непрерывно и распространялась радиально. Установлены критерии перехода от первого сценария ко второму [1].

Описанные выше опыты хорошо показывают механизм опускания более легкой жидкости в придонном экмановском слое. Этот механизм, по-видимому, часто «работает» в области бровки шельфа, и верхней части черноморского континентального склона. Условием, для его развития является прижатое к берегу Основное черноморское течение (ОЧТ). Сильное северо-западное вдольбереговое течение, формирует вблизи дна ПЭС, в котором кислородосодержащая вода опускается на определенную глубину. Расчеты с использованием теоретических представлений и данных натурных измерений позволяют оценить характерную глубину опускания вод в черноморском ПЭС.

*Финансирование: грант РФФИ № 17-05-00381.*

### Литература

1. Елкин Д.Н., Зацепин А.Г. Опускание вод в экмановском слое, образованном прибрежным даунвеллинговым течением над наклонным дном // Океанология. 2017. № 4. С. 531-537.
2. Журбас В.М., Ох И.С., Парк Т. Роль бета-эффекта в угасании вдольбереговой бароклинной струи, связанной с переходящим прибрежным ап- и даунвеллингом: численные эксперименты // Океанология. 2006. Т. 46. № 2. С. 189-196.

# О ВЕРТИКАЛЬНОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ ФРОНТОВ В ГЛУБИННОМ СЛОЕ ЕВРАЗИЙСКОГО БАСЕЙНА (АРКТИКА)

Н. В. Журбас

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

ON VERTICAL AND HORIZONTAL STRUCTURE OF FRONTS OF DEEP POLAR WATER OF EURASIAN BASIN (ARCTIC)

N. V. Zhurbas

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

*nvzhurbas@gmail.com*

Ключевые слова: *интрузионное расслоение на фронтах Глубинной Полярной воды, программа NABOS, Евразийский бассейн (Арктика).*

Keywords: *intrusive layering on the fronts of Deep Polar Water, NABOS, Eurasian Basin (Arctic).*

Анализируется термохалинная структура фронтов в верхней части слоя Глубинной Полярной воды на основе STD-разрезов, полученных в экспедициях «Polarstern»-96, «Oden»-91 и «Капитан Драницын» (программа NABOS - Nansen and Amundsen Basins Observing System; использованные данные за период 2002-2015 гг. находятся в свободном доступе, загрузка возможна на сайте программы <http://nabos.iarc.uaf.edu/>).

Оцениваются локальные гидрологические параметры, такие как горизонтальные (поперечные фронты) градиенты температуры, солености и плотности, наклоны изопикнических поверхностей в зонах фронтов, частоты Вайсяля-Брента, вертикальные плотностные соотношения. В некоторых случаях (когда может быть получена достоверная оценка) оцениваются значения геострофической скорости течения на разрезах вблизи пролива Фрама и вблизи желоба святой Анны. Проводится сравнение особенностей фронтов Глубинной Полярной воды и фронтов промежуточного слоя (диапазон глубин: 100-700 м) с использованием результатов, полученных в работах [1-3]. Так, например, анализ эмпирических данных показал, что в области Атлантических вод вблизи пролива Фрама на глубинах 100-300 метров могут наблюдаться очень резкие локальные термохалинные фронтальные разделы, практически скомпенсированные по плотности, в то время как на глубинах 300-700 метров фронты имеют более сглаженные градиенты температуры и солености, но характеризуются существенной бароклинностью.

Анализируется также тонкая термохалинная структура в зонах фронтов. Оцениваются характерные вертикальные масштабы интрузий, интенсивность аномалий на вертикальных профилях температуры и солености, а также наклоны интрузий к изопикническим поверхностям. Особое внимание уделяется описанию различий в структуре интрузий, наблюдающихся на фронтах Глубинной Полярной воды вблизи желоба Св. Анны (интрузии Баренцевоморской ветви АВ) и в диаметрально противоположной области Евразийского бассейна. Представлена дискуссия, посвященная вопросам генерации и эволюции наблюдаемых интрузий.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-10080).*

## Литература

1. Rudels B., Björk G., Muench R.D., Schauer U. Double-diffusive layering in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean // J. Marine Sys. 1999. V. 21. № 1-4. pp. 3-27.
2. Rudels B., Kuzmina N., Schauer U., Stipa T., Zhurbas V. Double-Diffusive Convection and Interleaving in the Arctic Ocean – Distribution and Importance // Geophysika. 2009. V. 45. pp. 199-213.
3. Kuzmina N., Rudels B., Zhurbas V., Stipa T. On the structure and dynamical features of intrusive layering in the Eurasian Basin in the Arctic Ocean // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. № C8. doi: 10.1029/2010JC006920.

# ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ РАСЧЕТА СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ В МОДЕЛЬНОЙ ЗАДАЧЕ ОПИСАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИНТРУЗИЙ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ

Н. В. Журбас

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

ONE METHOD OF THE EIGENVALUE SPECTRA CALCULATION FOR A MODEL PROBLEM  
DESCRIBING FORMATION OF THE LARGE-SCALE INTRUSIONS IN THE ARCTIC BASIN

N. V. Zhurbas

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

*nvzhurbas@gmail.com*

Ключевые слова: *неустойчивость фронтальных разделов, интрузионное расслоение, Арктический бассейн.*

Keywords: *instability of fronts, intrusive layering, Arctic Basin.*

Исследование механизмов образования интрузий в океане необходимо для решения ряда задач, ключевых для понимания происходящих в Арктическом регионе климатических изменений. Среди них параметризация процессов обмена и перемешивания, оценка изменчивости тепло- и солесодержания различных водных масс, прогноз влияния климатических изменений на структурные особенности вод на различных глубинах океана (см., например, [1-3]) и другие. Учитывая, что интрузии в Арктическом бассейне встречаются практически повсеместно и могут наблюдаться на разных пространственных и временных масштабах [4, 5], особую важность для решения прикладных задач приобретает описание процесса генерации интрузий на основе математических моделей, которые дают возможность определять физические причины неустойчивости течений или фронтальных разделов.

В работах [6, 7] на основе аналитических рассуждений был получен вывод о существовании нового типа неустойчивости длинноволновых возмущений, который был подтвержден в [8, 11] при решении модельной задачи исследования устойчивых и неустойчивых возмущений геострофического течения в ограниченном по вертикали слое с учетом малых, но конечных вертикальных циркуляций, возникающих из-за влияния трения,  $\beta$ -эффекта и временной изменчивости относительной завихренности. Задача решалась численно на основе метода, предложенного в работах [9, 10] для расчета спектров задачи Орра-Зоммерфельда, модифицированного с учетом характерных для океана граничных условий.

Так как неустойчивость длинноволновых возмущений геострофического течения с линейным вертикальным сдвигом скорости является принципиально новым эффектом, представляется целесообразным поиск дополнительных наглядных подтверждений достоверности численных расчетов [8, 11]. Настоящая работа посвящена: а) решению модельной задачи, эквивалентной задаче [8], с помощью простого метода, альтернативного методу [8-11], и сравнению величин собственных значений, полученных различными методами; б) анализу спектров собственных значений применительно к описанию устойчивых и неустойчивых возмущений в Арктическом бассейне.

В работе предложен простой метод расчета собственных значений модельной задачи для исследования неустойчивости геострофического течения с линейным вертикальным сдвигом скорости в ограниченном по вертикали слое. Рассмотренный метод оказался эффективен и подтвердил расчеты, проведенные в работах [8, 11].

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-10080).*

## Литература

1. Журбас В. М., Кузьмина Н. П., Кульша О. Б. Численное моделирование ступенчатого расслоения главного термоклина океана при вырождении термохалинных интрузий солевыми пальцами (численный эксперимент) // Океанология. 1987. Т. 27. № 3. С. 377–383.

2. Журбас В. М., Кузьмина Н. П., Озмидов Р. В., Голенко Н. Н., Пака В. Т. О проявлении процесса субдукции в термохалинных полях вертикальной тонкой структуры и горизонтальной мезоструктуры во фронтальной зоне Азорского течения // *Океанология*. 1993. Т. 33. № 3. С. 321–326.
3. Walsh D., Polyakov I., Timokhov L., Carmack E. Thermohaline structure and variability in the eastern Nansen Basin as seen from historical data // *Journal of Marine Research*. 2007. V. 65. № 5. P. 685–714.
4. Rudels B., Bjork G., Muench R. D., Schauer U. Double-diffusive layering in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean // *J. Mar. Syst.* 1999. V. 21. № 1–4. pp. 3–27.
5. Kuzmina N., Rudels B., Zhurbas V., Stipa T. On the structure and dynamical features of intrusive layering in the Eurasian Basin in the Arctic Ocean // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116. C00D11. DOI:10.1029/2010JC006920.
6. Кузьмина Н. П. Об одной гипотезе образования крупномасштабных интрузий в Арктическом бассейне // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2016. Т. 9. № 2. С. 15–26.
7. Kuzmina N. P. Generation of large-scale intrusions at baroclinic fronts: an analytical consideration with a reference to the Arctic Ocean // *Ocean Science*. 2016. V. 12. pp. 1269–1277. DOI: 10.5194/05-12-1269-2016.
8. Кузьмина Н. П., Скороходов С. Л., Журбас Н. В., Лыжков Д. А. О неустойчивости геострофического течения с линейным вертикальным сдвигом скорости в масштабах интрузионного расслоения // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2018. Т. 54. № 1. С. 54–63.
9. Скороходов С. Л. Численный анализ спектра задачи Орра-Зоммерфельда // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2007. Т. 47. № 10. С. 1672–1691.
10. Скороходов С. Л. Точки ветвления собственных значений оператора Орра-Зоммерфельда // *Доклады Академии Наук*. 2007. Т. 416. № 5. С. 600–605.
11. Скороходов С. Л., Кузьмина Н. П. Эффективный метод решения модифицированной задачи Орра-Зоммерфельда для анализа неустойчивости течений в Арктическом бассейне // *Таврический вестник информатики и математики*. 2016. № 3. С. 88–97.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СТРУКТУРЫ ВОД В ЕВРАЗИЙСКОМ БАССЕЙНЕ (АРКТИКА) НА ОСНОВЕ STD-ДАННЫХ NABOS

Н. В. Журбас  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

STUDY OF SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF WATER STRUCTURE IN EURASIAN BASIN (ARCTIC) BASED ON NABOS STD-DATA

N. V. Zhurbas  
Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

*nvzhurbas@gmail.com*

Ключевые слова: *неустойчивость фронтальных разделов, интрузионное расслоение, программа NABOS, Евразийский бассейн (Арктика).*

Keywords: *instability of fronts, intrusive layering, NABOS, Arctic Basin.*

В данной работе анализируются STD-данные, полученные на разрезах Евразийского бассейна (Арктика) в диапазоне 31-159° в.д., которые были сделаны в 2002-2015 годах в рамках программы NABOS (Nansen and Amundsen Basins Observing System). Всего рассматриваются 35 разрезов, большинство из которых поперечны континентальному склону и сгруппированы на 31, 60, 90, 92, 94, 96, 98, 103, 126, 142 и 159° в.д. 4 разреза пересекают желоб Св. Анны (на 81, 81.33, 81.42 и 82° с.ш.) - этот район интересен тем, что здесь в Евразийский бассейн поступает часть водных масс Атлантического океана. Используемые данные находятся в свободном доступе, загрузка возможна на сайте программы NABOS (<http://nabos.iarc.uaf.edu/>).

По данным зондирования строятся T,S-диаграммы, на основе анализа которых изучается трансформация Атлантических вод (разбросы T,S-индексов) по мере ее продвижения вдоль границ бассейна. Рассматриваются две ветви Атлантических вод (А): АВ, поступающая в Евразийский бассейн через пролив Фрама (так называемая Фрамовская ветвь АВ), и АВ, поступающая в бассейн Нансена в районе желоба Св. Анны (так называемая Баренцевоморская ветвь АВ). Исследуется взаимодействие Фрамовской и Баренцевоморской ветвей АВ в месте их встречи (желоб Св. Анны), а также дальнейшее распространение комбинированной атлантической водной массы вдоль континентального склона Евразийского бассейна на восток. Оцениваются разбросы T,S-индексов и гидрологические параметры на различных разрезах в поперечном направлении к течению в разные годы измерений. На основе полученных оценок анализируется временная и пространственная изменчивость термохалинного поля в слое АВ. На базе имеющегося эмпирического материала выделяются типичные T,S-кривые в зонах фронтальных разделов АВ, и оценивается изменчивость выбранных T,S-кривых, построенных для разных годов измерений. Полученные оценки важны для изучения влияния климатического сигнала на термохалинную структуру слоя АВ.

Особое внимание уделяется исследованию структуры интрузионного расслоения. Показывается, что структур интрузий промежуточного слоя (в области распространения АВ) вблизи пролива Фрама имеет ярко выраженный нерегулярный характер. По мере удаления от пролива Фрама интрузионная структура становится регулярной, а именно: наблюдаются упорядоченные интрузии, с высокой когерентностью в поперечном к течению направлении. Дано обсуждение механизмов, обуславливающих наблюдаемые структурные особенности интрузионного расслоения. Полученные результаты анализа изменчивости структуры АВ сравниваются с результатами исследований структуры вод Евразийского бассейна, представленными в работах [1-3].

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-10080).*



**Литература**

1. Rudels B., Björk G., Muench R.D., Schauer U. Double-diffusive layering in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean // *J. Marine Sys.* 1999. V. 21. № 1–4. pp. 3–27.
2. Pnyushkov A., Polyakov I., Ivanov V. et al. Structure and variability of the boundary current in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean // *Deep Sea Research-I.* 2015. V. 101. pp. 80–97. doi:10.1016/j.dsr.2015.03.001.
3. Kuzmina N., Rudels B., Zhurbas V., Stipa T. On the structure and dynamical features of intrusive layering in the Eurasian Basin in the Arctic Ocean // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116. № C8. doi: 10.1029/2010JC006920.

# ОЦЕНКА ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЗАТОКА АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В БАРЕНЦЕВО МОРЕ ПО ТЕРМОХАЛИННЫМ ДАННЫМ РАЗРЕЗА «КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН»: С 1970 Г. ДО НАШИХ ДНЕЙ

И. Ф. Запорожцев<sup>1,2</sup>, Д. В. Моисеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, Мурманск

<sup>2</sup>Мурманский арктический государственный университет, Мурманск

ESTIMATION OF THE TEMPORAL VARIABILITY OF ATLANTIC WATERS FLOOD IN THE BARENTS SEA ACCORDING TO THE THERMOHALINE DATA OF THE KOLA MERIDIAN SECTION (FROM 1970 TO THE PRESENT DAY)

I. F. Zaporozhtsev<sup>1,2</sup>, D. V. Moiseev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Murmansk Marine Biological Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, Murmansk

<sup>2</sup>Murmansk Arctic State University, Murmansk

*zaporozhtsev.if@gmail.com*

Ключевые слова: *анализ изменчивости термохалинных полей, Баренцево море, затоки атлантических вод, разрез «Кольский меридиан».*

Keywords: *thermohaline fields variability analysis, the Barents Sea, Atlantic waters flood, Kola Meridian section.*

Воды Атлантики вносят существенный вклад в изменение климата Баренц-региона. Морской экосистемный мониторинг, проводимый отечественными и зарубежными учёными, позволяет оценивать влияние этих вод на различные компоненты биоты [1]. Сбор гидрологических данных на разрезе «Кольский меридиан», проходящем по 33° 30' в.д., проводится уже более ста лет: с 1900 г., с перерывами 1907-1920 гг. и 1942-1944 гг. [2]. Ранее по данным нескольких экспедиций сотрудники Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН (ММБИ КНЦ РАН) уже проводили оценку мощности затока атлантических вод на этом разрезе при помощи расчета площади сечения, ограниченного выбранной изотермой/изохалиной [3].

Предлагаемая технология автоматизированной обработки данных для вычисления модельной площади включает решение следующих задач: (1) получить файл батиметрии, сформировать точки вертикального профиля дна; (2) построить файл формата BLN, содержащий бланкирующий полигон (замкнутый профиль дна), используемый при восстановлении значений в узлах равномерной сетки; (3) получить архивные данные об экспедициях в формате CSV в окрестности разреза; (4) сгруппировать записи по годам и сезонам из CSV в виде файлов TXT, сделать визуализацию обеспеченности данными по сезонам, годам и глубинам; дальнейшие действия выполняются отдельно для каждого сезона и года: (5) сформировать файл XLS с записями только о географических координатах, глубине и значении термохалинной характеристики (температуры и солёности) из построенного TXT; (6) создать грид-файл с результатами интерполяции в узлах равномерной сетки по данным из файла XLS с учётом бланкирующего многоугольника из BLN; (7) вычислить суммарную площадь фигур, ограниченных выбранной изолинией, профилем дна и поверхностью по данным из GRD. Для решения перечисленных задач используются следующие средства программирования: среда Matlab (1-2), язык Java и среда Eclipse (4-5), язык VBA и среда Surfer Scriptor (6-7). Выходные данные представляют собой изображения, иллюстрирующие обеспеченность данными по сезонам/годам/глубине, и гитграммы, показывающие распределение целевой характеристики (площади сечения, ограниченного выбранной изотермой/изохалиной) в зависимости от года и сезона.

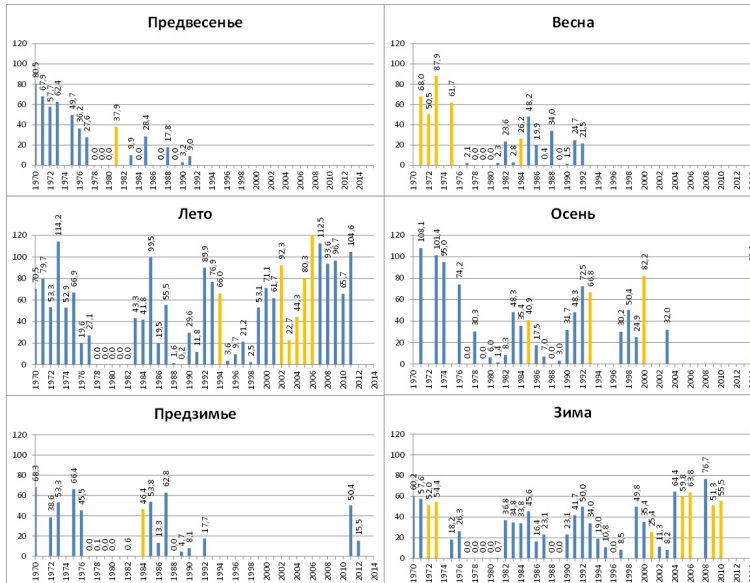
В качестве результата применения разработанной технологии можно предъявить массив значений, изображённых на рис. 5.7. Столбцовые диаграммы показывают оценки площади (в кв. км) сечения затока на разрезе в зависимости от сезона и года (1970-2014 гг.). Столбец синего цвета означает, что

данные достаточно надёжные, оранжевого - менее надёжные, отсутствие столбца показывает, что данных нет или слишком мало. Надёжность массива данных измерений, по которым строится оценка площади, выполнялась экспертно по информации об обеспеченность данными по сезонам, годам и точкам вертикального профиля разреза. По диаграммам для осени, зимы и лета идентифицируется квазипериодический процесс с циклами длинй примерно 7 лет (выражены локальные максимумы оценки затока 1985, 1992, 1999/2000, 2007 гг.).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-14-01268 «Биология арктического планктона в зоне полярного фронта»)*

## Литература

1. Матишов Г.Г., Волков В.А., Денисов В.В. О структуре циркуляции теплых атлантических вод в северной части Баренцева моря // Докл. РАН. 1998. Т. 362, № 4. С. 553–556.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Под ред. Ф.С. Терзиева [и др.]. Л.: Гидрометеониздат, 1990. 280 с.
3. Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V. Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along glacial troughs // Oceanology. 2009. V. 51, № 3. pp. 321–340.



**Рис. 5.7:** Оценки площади сечения затока на разрезе «Кольский меридиан» (в кв. км) по годам и сезонам

# ОБЩАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН В МОРЯХ И ОКЕАНАХ

А. Е. Зверева, В. Р. Фукс  
Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург  
GENERAL CLASSIFICATION OF THE OCEANIC LOW-FREQUENCY WAVES

A. E. Zvereva, V. R. Foux  
Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

*anastasia.eug.zvereva@gmail.com*

Ключевые слова: *уровень мирового океана, низкочастотные волны, волны Россби.*

Keywords: *sealevel, low-frequency waves, Rossby waves.*

Данные спутниковой альтиметрии позволяют более подробно оценить вклад низкочастотных волновых возмущений в изменчивость режима вод океанов и морей. Такие возмущения оказывают влияние не только на динамику и термодинамику вод, но и на их биотическое и экологическое состояние. Мы предлагаем общую классификацию низкочастотных волновых движений в океанах и морях, исходя из того, что их частота меньше частоты инерционных колебаний, а проявление в поле уровня обусловлено дивергенцией и конвергенцией полных потоков, согласно результатам интегрирования уравнения неразрывности по глубине.

Новая систематизация необходима, поскольку:

- Нет устоявшегося мнения, считать ли низкочастотные возмущения в океане собственно волнами или вихревыми структурами;
- Нет представления, насколько справедливы приближения полуэмпирической теории турбулентности для этих масштабов; возможна ли подпитка волн энергией синоптических вихрей в результате отрицательной вязкости;
- Неизвестно, возможно ли динамическое и параметрическое резонансное возбуждение низкочастотных волн в океанах и какие внешние силы могут его обуславливать;
- Не исследованы эффекты нелинейного взаимодействия (в том числе резонансного) между различными типами и видами низкочастотных волн.

Исходя из этого, мы рассматривали причины возникновения колебаний (свободные и вынужденные под действием долгопериодных приливообразующих и анемобарических сил), виды элементарных волн (гармонические и затухающие или возрастающие экспоненциальные волны), их кинематику (поступательные, поступательно-стоячие колебания), горизонтальные и вертикальные модовые структуры (баротропные и бароклинные волны), энергоснабжение (начальное воздействие внешней силы, резонанс собственных колебаний уровня океана с внешними силами, параметрический резонанс, трехволновый резонанс, нелинейный поток энергии между частотными диапазонами), захват энергии (морфометрический, динамический и экваториальный), а также возвращающие силы/затухание (градиент планетарной завихренности, градиент глубины моря, градиент скорости течения и градиент плотности). Помимо колебаний уровня моря, классификация учитывает низкочастотные колебания в поле полных потоков, определяемые как произведение средней по глубине скорости течений на глубину водоема.

Перечисленные параметры ранее не рассматривали в едином контексте, возможные механизмы энергоснабжения не формулировали, не учитывали поступательно-стоячие волны [1,2,3]. Поэтому, представляется актуальным обсуждение этих параметров в рамках проблемы «волны или вихри?» и справедливости полуэмпирической теории турбулентности [4].

*Исследования проводились при поддержке гранта РФФИ №12-05-00009-а «Стояч-поступательные градиентно-вихревые волны в Тихом океане» (2012-2014 гг.), гранта СПбГУ «Исследование механизмов современных изменений гидрологических процессов в открытой Балтике и Финском заливе на основе контактных, спутниковых измерений и численных экспериментов на гидродинамической модели» №18.37.140.2014.*

**Литература**

1. Белоненко Т.В., Захарчук Е.А., Фукс В.Р. Градиентно-вихревые волны в океане. Изд. СПбГУ, 2004. 215 с.
2. Фукс В.Р. «Введение в теорию волновых движений в океане», ЛГУ, Ленинград, 1982 г.
3. Ефимов В.В., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Файн И.В. Волны в пограничных областях океана. Л., 1985. 280 с.
4. Каменкович В.М., Кошляков М.Н., Монин А.С. «Синоптические вихри в океане», Л., 1982. 264 с.

# СРАВНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИ FESOM-C ДЛЯ РАСЧЕТА ПРИБРЕЖНОЙ БАРОТРОПНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЕТОК

В. А. Зинченко<sup>1</sup>, Д. А. Романенков<sup>2</sup>, А. А. Андросов<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

<sup>3</sup>Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, Бремерхафен (Германия)

## COMPARISON OF COMPUTATIONAL EFFICIENCY OF FESOM-C MODEL FOR CALCULATION OF COASTAL BAROTROPIC HYDRODYNAMICS USING DIFFERENT NON-STRUCTURED MESHES

V. A. Zinchenko<sup>1</sup>, D. A. Romanenkov<sup>2</sup>, A. A. Androsov<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

<sup>2</sup>P.P.Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>3</sup>Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven (Germany)

*vdmzinchenko@gmail.com*

Ключевые слова: *прибрежная гидродинамика, прилив, моделирование, неструктурированная сетка, залив Зильт-Ромо.*

Keywords: *coastal hydrodynamics, tide, numerical modeling, unstructured mesh, Sylt-Romo Bay.*

Модели циркуляции и динамики океана и его частей являются важным инструментом научных и прикладных исследований. Современные глобальные модели часто используют в расчетах горизонтально-неструктурированные сетки, позволяющие детализировать процессы в районах особого интереса. Однако эти модели традиционно имеют ограничения в прибрежных областях, где необходимо разрешать пограничные слои, учитывать колебания уровня с величинами, сравнимыми с глубиной моря (и, следовательно, описывать зоны осушки-затопления), процессы взмучивания, седиментации и переноса взвесей и др. В данной работе приводится сравнительный анализ применения неструктурированных сеток различной геометрии для расчета трехмерной гидродинамики в заливе Северного моря с использованием новой модели FESOM-C, которая является развитием модели FESOM2 [1, 2]. Модель FESOM-C основана на дискретизации исходных уравнений методом конечного объема и работает на горизонтальных смешанных неструктурированных сетках, состоящих из треугольников и четырехугольников. Хотя треугольные сетки наиболее гибки геометрически, четырехугольные более эффективны в вычислительном плане и в значительной степени свободны от ложных инерционных мод, возникающих при триангуляции области [3]. В частности, переходные зоны из треугольников могут использоваться для объединения четырехсторонних сеток различной разрешающей способности. Модель решает трехмерные примитивные уравнения для составляющих импульса, неразрывности и составляющих плотности и использует по вертикали модифицированный вариант  $\sigma$ -преобразования. Блок турбулентности модели GOTM [4] используется для описания вертикального перемешивания. Модель также оснащена несколькими схемами адвекции для уравнений сохранения с импульса и трассеров, характеризующимися низкой численной диссипацией, включает модули расчета приливов, осушки и седиментации.

Численные эксперименты выполнялись в заливе Зильт-Ромо, мелкой прибрежной области Северного моря, ограниченной цепью Фризских островов. Средняя и максимальная глубины здесь составляют около 4.2 и 30 м во время отлива соответственно, в то время как диапазон приливов составляет в среднем 2 м. Зона приливной осушки – около 135 км<sup>2</sup> и занимает более трети площади моря. Пренебрегая изменчивостью температуры и солености, рассматривается трехмерная динамика с приливным

воздействием, заданным в виде колебаний уровня основной гармоники M2 с периодом 12.42 ч на открытой границе вычислительной области. Для этого использованы три разные сетки, первая из них представляет собой правильную равномерную (регулярную) с квадратными ячейками, дополненную треугольниками, которые выпрямляют береговую линию (MESH-1 с пространственным разрешением 200 м). Вторая сетка MESH-2 состоит из треугольников с разрешением от 820 до 90 м. Третья сетка MESH-3 включает 34820 четырехугольников и 31 треугольник с минимальным пространственным разрешением около 30 м и максимальным разрешением 260 м. Все ячейки имеют 21 неравномерный сигма-слой в вертикальном направлении. По результатам расчетов сравнивались энергетические характеристики приливной динамики, максимальные и минимальные значения уровня и течений в приливном цикле. Дополнительно было выполнено моделирование без учета горизонтальной адвекции для уточнения различий в численных результатах.

Анализ результатов показал, что наименьший уровень приливной энергии приходится на модель с треугольной сеткой, что объясняется большей эффективной диссипацией, присущей такой сеточной структуре [3]. Имеются различия и для сеток с четырехугольной структурой, которые в основном связаны с горизонтальным разрешением в областях приливной осушки. В частности, разность значений максимальной скорости течений в вариантах MESH-3 и MESH-2 в отдельных зонах достигает 0.2 м/с при модуле скорости до 1.3 м/с, а аналогичная разность в вариантах MESH-3 и MESH-1 - почти повсеместно около 0.2 м/с и достигает 0.3 м/с. Интересно, что влияние адвекции сказывается значительно в районах пролива и вблизи зон осушки: исключение адвективных членов из расчета на нерегулярной сетке MESH-3 приводит к отклонению максимальной скорости до 0.3 м/с, что составляет четверть ее абсолютных значений. С учетом того, что относительные вычислительные затраты на разных сетках сопоставимы, модель, использующая смешанную сетку, оказывается более приспособленной для расчета мелкомасштабных и нелинейных эффектов. Дальнейший анализ влияния сеточной геометрии на особенности баротропной динамики будет основываться на сравнении результатов расчетов с данными наблюдений.

*Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-05-00965\_A).*

#### Литература

1. Androsov A., Fofonova V., Danilov S., Rakowsky N., Kuznetsov I., Hiller W., Wiltshire K.H. 2016: FESOM-coastal, Küstenmodellierung, 16 February 2016 - 16 February 2016. (<http://epic.awi.de/40705>).
2. Danilov S., Sidorenko D., Wang Q., Jung T. The Finite-volume Sea ice–Ocean Model (FESOM2) // Geosci. Model Dev. 2017. 10. pp. 765-789.
3. Danilov S., Androsov A. Cell-vertex discretization of shallow water equations on mixed unstructured meshes // Ocean Dynamics. 2015. 65 (1). pp. 33-47.
4. Burchard H., K. Bolding, M. R. Villarreal A General Ocean Turbulence Model. Theory, Implementation and Test Case. EUR 18745 (European Communities, Italy, 1999).

# ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В КАНАДСКОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Е. В. Зубкова<sup>1</sup>, И. Е. Козлов<sup>1,2</sup>, В. Н. Кудрявцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

CHARACTERISTICS OF SHORT-PERIOD INTERNAL WAVES IN THE CANADIAN SECTOR OF THE ARCTIC BASED ON SPACEBORNE SYNTHETIC APERTURE RADARS MEASUREMENTS

E. V. Zubkova<sup>1</sup>, I. E. Kozlov<sup>1,2</sup>, V. N. Kudryavtsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

<sup>2</sup>Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol

*shigatsii\_akima@mail.ru*

Ключевые слова: *короткопериодные внутренние волны, спутниковые радиолокационные изображения, Арктические моря.*

Keywords: *short-period internal waves, satellite radar images, Arctic seas.*

Короткопериодные внутренние волны (КВВ) являются малоизученным звеном передачи энергии от приливов к турбулентному перемешиванию и влияют на его «среднее» состояние путем вертикального перемешивания, горизонтального и вертикального переноса импульса и энергии [1]. Кроме того, ВВ являются одним из ключевых процессов, определяющих пространственно-временные характеристики поля скорости звука в океане [1]. Известно, что в Арктике ВВ могут также оказывать влияние на морской лед и формирование заприпайных полынней [2, 3].

Вблизи критической широты в Арктике (74.5° N) внутренние приливные волны являются вынужденными и не могут свободно распространяться из районов их генерации, что приводит к их разрушению и генерации пакетов КВВ, способных свободно распространяться в высоких широтах и далее переносить энергию приливов [4, 5]. Доступные на сегодняшний день научные результаты, как правило, посвящены исследованию поверхностных и внутренних (бароклинных) приливов в арктическом бассейне, и содержат очень ограниченные сведения о районах генерации и динамике короткопериодных внутренних волн.

Для анализа пространственной изменчивости поля короткопериодных внутренних волн в канадском секторе Арктики, включающем область Канадского Арктического архипелага, акватории моря Баффина, Девисова пролива и Гудзонова залива, использовались изображения спутникового радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) Envisat ASAR за летне-осенний период 2007, 2011 г и Sentinel-1 A, B за 2016-17 гг. Выполнен анализ более 1400 РСА изображений, в результате которого идентифицировано около 1500 пакетов КВВ. Определены основные районы наблюдения КВВ и построены карты их пространственных характеристик. Проявления КВВ в канадском секторе Арктики в основном приходятся на море Баффина в области свала глубин вдоль западного побережья Гренландии (залив Мелвилл, вдоль западного побережья п-ова Хейс, о. Диска, в области Гренландско-Канадского порога), а также вблизи м. Корнгенхольм (о. Баффинова Земля), в пр. Джонс и на выходе из пр. Кардиган. Единичные случаи регистрации КВВ приходятся на проливы Коронейшн, Веллингтон, Мак-Клур, Смит, Кеннеди и Ноуриджен Бэй. Выделенные районы хорошо согласуются с районами, где на основе численного моделирования наблюдаются максимальные значения уровня диссипации баротропной приливной энергии [8].

Результаты работы значительно дополняют результаты авторов, полученные ранее для Евразийского сектора Арктики [7-11], и позволят в скором времени получить полную климатологию поля короткопериодных внутренних волн для всей безледной акватории Северного Ледовитого океана.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-77-30019, гранта РФФИ №16-35-60072 мол\_а\_дк, а также в рамках государственного задания ФАНО России по тем № 0827-2018-0002.*



**Литература**

1. Коняев К.В., К.Д. Сабинин Волны внутри океана. СПб: Гидрометеиздат, 1992. 272 с.
2. Морозов Е.Г., С.В. Писарев Внутренние волны и образование полыней в море Лаптевых // Доклады академии наук. 2004. № 3. Т. 397. С. 4-7.
3. Czipott P.V., M.D. Levine, C.A. Paulson, D. Menemenlis, D.M. Farmer, R.G. Williams Ice flexure forced by internal wave packets in the Arctic Ocean // Science. 1991. Nov 8. 254(5033):832-5.
4. Vlasenko V., N. Stashchuk, K. Hutter, K. Sabinin Nonlinear internal waves forced by tides near the critical latitude // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2003. № 3 (50). pp. 317-338.
5. Morozov E.G., V.T. Paka Internal waves in a high-latitude region // Oceanology. V. 50(5). pp. 668-674.
6. Kagan B.A., E.V. Sofina Spatial Structure of the M2 Tidal Wave in the Canadian Arctic Archipelago // Izv. Atm. Ocean. Phys. 2012. V. 48. No. 2. pp. 241-253. DOI: 10.1134/S0001433811060077.
7. Козлов И.Е., В.Н. Кудрявцев, Е.В. Зубкова, А.В. Зимин, Б. Шапрон Характеристики поля короткопериодных внутренних волн в Карском море по данным спутниковых радиолокационных измерений // Исследование Земли из космоса. 2015. № 4. С. 1-16.
8. Зубкова Е.В., И.Е. Козлов, В.Н. Кудрявцев Наблюдение короткопериодных внутренних волн в море Лаптевых на основе спутниковых радиолокационных измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 6. С. 99-109.
9. Kozlov I.E., E.V. Zubkova, V.N. Kudryavtsev Internal solitary waves in the Laptev Sea: first results of spaceborne SAR observations // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2017. V. 14. 11. pp. 2047-2051.
10. Козлов И.Е., В.Н. Кудрявцев, Е.В. Зубкова, О.А. Атаджанова, А.В. Зимин, Д.А. Романенков, . Шапрон, А.Г. Мясоедов Районы генерации нелинейных внутренних волн в Баренцевом, Карском и Белом морях по данным спутниковых РСА измерений // Совр. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса. 2014. Т. 11. №4. С. 338-345.
11. Kozlov I., V. Kudryavtsev, E. Zubkova, O. Atadzhanova, A. Zimin, A. Myasoedov, B. Chapron, D. Romanenkov SAR observations of internal waves in the Russian Arctic seas // В сб.: Int. Geosci. Remote Sensing Symp. (IGARSS) Remote Sensing: Understanding the Earth for a Safer World (IGARSS). 2015. Proceedings. pp. 947-949.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ IN SITU ВЛИЯНИЯ ПУЗЫРЬКОВОГО ФАКЕЛА НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ СТРАТИФИКАЦИЮ ВОДНОЙ ТОЛЩИ

И. Н. Иванова<sup>1</sup>, А. А. Будников<sup>1</sup>, Т. В. Малахова<sup>2</sup>, Д. Б. Евтушенко<sup>2</sup>, Е. М. Быков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва

<sup>2</sup>Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь

<sup>3</sup>Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

## INVESTIGATION OF BUBBLE FLAME INFLUENCE ON TEMPERATURE STRATIFICATION OF THE WATER COLUMN BY IN SITU EXPERIMENT

I. N. Ivanova<sup>1</sup>, A. A. Budnikov<sup>1</sup>, T. V. Malakhova<sup>2</sup>, D. B. Yevtushenko<sup>2</sup>, Ye. M. Bykov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Moscow

<sup>2</sup>A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS, Sevastopol

<sup>3</sup>Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*T.malakhova@imbr-ras.ru*

Ключевые слова: *температурная стратификация, пузырьковые газовыделения, сипы, термокоса*

Keywords: *temperature stratification, bubble gassing, seep, temperature sensors*

Северо-западный шельф Черного моря характеризуется широким распространением струйных газовыделений метана, по геологической классификации относящихся к холодным метановым сипам [1]. За последнее десятилетие в прибрежном районе Гераклеийского полуострова было обнаружено несколько площадок струйных газовыделений различной природы и изучен вклад микробного сообщества в процессы образования и окисления пузырькового метана [2]. Особый интерес представляют исследования влияния метановых сипов на окружающую среду, и в частности воздействие потока пузырьковых газовыделений на стратификацию вышележащих слоев воды.

Целью данной работы были разработка и испытание экспериментальной установки, моделирующей струйные газовые выделения на морском дне и исследование с ее помощью воздействия поднимающихся со дна пузырьков воздуха на вертикальное распределение температуры воды вблизи газового факела в естественных условиях.

Полевые исследования проводили 14-15.08.2017 г. на стационарной океанографической платформе (пос. Кацивели) Экспериментального отделения Морского гидрофизического института. Измерения проводились с помощью мультипараметрического зонда RCM 9 LW (Aanderaa) в режиме зондирования от поверхности до дна и с помощью 29-метровой термокосы iceTC60/40 с закрепленными на ней 19 датчиками измерения температуры. От поверхности до глубины 11 м датчики располагались через 1 м, далее через 2 м. Для имитации работы газовых выделений использовалась рамная конструкция в форме квадрата со встроенными распылителями, в которую через шланг компрессором подавался атмосферный воздух. Измерения температуры производились обоими приборами одновременно в непосредственной близости от поднимающегося пузырькового факела.

В течение двух дней наблюдений было зафиксировано изменение вертикальной термохалинной структуры: в 02 часа 15 августа на глубине 24 м датчиками термокосы регистрировался термоклин, который наблюдался до конца измерений. В период существования холодного термоклина несколько раз включалась и выключалась установка, моделирующая струйные выделения газа. Моменты включения и выключения установки фиксировались с целью отслеживания влияния поднимающихся со дна воздушных пузырей на изменение температуры в районе пузырькового факела.

Структура поля модуля скорости достаточно сложна и включает в себя на разных глубинах приповерхностное, придонное и промежуточное течения. Как показали измерения, толщина придонного

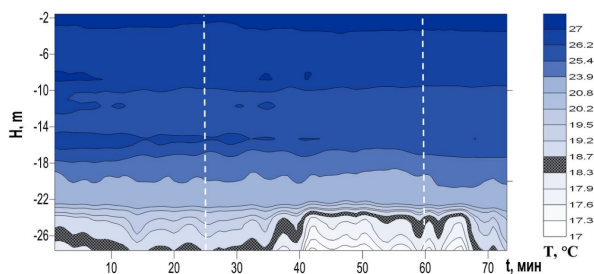
течения составляла 7-8 м, его направление почти на  $90^\circ$  отличается от промежуточного и приповерхностного, направленных на северо-запад. Придонный «холодный слой» сосредоточен в 6-8 м от дна.

Исходя из наблюдаемого температурного распределения, можно предположить что, поднимающиеся со дна пузыри увлекают за собой более холодную воду, что ведет к понижению температуры в вышележащих слоях (рис. 5.8). Эффект наблюдается в слое около 3-5 м от дна. На слой воды выше термоклина поднимающиеся пузыри не оказывают влияния. Это может быть связано с тем, что поток пузырей сносится в северо-западном направлении от косы внутренним течением.

Обнаруженный эффект представляет несомненный интерес для исследований. В дальнейшем планируется установить временной и пространственный масштаб влияния на температурную стратификацию различных по интенсивности пузырьковых потоков.

### Литература

1. Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Метановые сипы в Черном море средообразующая и экологическая роль. Под ред. Г.Г. Поликарпова. Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 405 с.
2. Малахова Т.В., Канапацкий Т.А., Егоров В.Н., Малахова Л.В., Артёмов Ю.Г., Евтушенко Д.Б., Гулин С.Б., Пименов Н.В. Микробные процессы и генезис струйных метановых газовыделений прибрежных районов Крымского полуострова // Микробиология. 2015. Т. 84. № 6. С. 743-752.



**Рис. 5.8:** Изменение во времени температуры воды над пузырьковыми газовыделениями. Начало временной шкалы соответствует 11 часам 15.08.2017 г. Пунктирными линиями отмечено включение компрессора (25-я минута) и выключение (60-я минута)

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОБЪЕМА ВОД МАЛОГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ

А. С. Ижицкий<sup>1</sup>, Г. В. Айзель<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Институт водных проблем РАН, Москва

INVESTIGATION OF THE INTERANNUAL VARIABILITY OF THE SMALL ARAL SEA VOLUME BASING ON THE OPEN DATA SOURCES

A. S. Izhitskiy<sup>1</sup>, G. V. Ayzel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

<sup>2</sup>Institute of water problems of the RAS, Moscow

*izh@ocean.ru*

Ключевые слова: *водный баланс, Аральское море, Малый Арал, речной сток, моделирование.*

Keywords: *water balance, Aral Sea, Small Aral, river discharge, modelling.*

Аральское море, бессточное озеро в западной части Средней Азии, к середине XX столетия занимало четвертое место по площади среди всех озер мира. Однако, в 1960-х гг. объем водоема начал резко сокращаться в связи с серьезнейшими изменениями в его водном балансе. В процессе высыхания Аральское море разделилось на несколько остаточных водоемов, имеющих общее происхождение, но различные физические, химические и биологические особенности, а также характеристики составляющих водного баланса. Так, уровень поверхности северной части бывшего Аральского моря (Малого Арала) относительно стабилен и колеблется в районе отметки 42,5 м абс. вследствие ввода в эксплуатацию Кокаральской плотины в 2005 г. Стабилизация уровня Малого Арала сопровождалась значительным понижением солености, в результате чего состояние экосистемы водоема в настоящий момент наиболее близко к «условно-естественному», наблюдавшемуся ещё до начала высыхания [1].

Цель данной работы - изучение динамики компонент водного баланса Малого Аральского и межгодовой изменчивости объема его вод. Данный вопрос является крайне актуальным для аридных областей с крайне высокой степенью антропогенной нагрузки на ресурсы пресноводного стока, а именно такой областью является бассейн Малого Арала.

Учитывая недостаток данных прямых наблюдений характеристик компонент водного баланса в регионе, в работе сделан акцент на использование данных открытых источников, а именно сеточного климатического реанализа ERA-40 и ERA-Interim (Рединг, Великобритания), и архива наблюдений за расходами воды Международного центра данных (Кобленц, Германия). Модель пресноводного притока к Малому Аральскому морю была разработана на основе двух взаимодействующих компонентов: ансамбля физически обоснованных моделей формирования стока в горных областях бассейна и каскада ансамблей моделей машинного обучения, описывающих линейную трансформацию стока [2]. В результате проведенного исследования была создана модель водного баланса Малого Аральского моря, получены расчеты месячных значений приращения объема вод на основе подготовленных баз входных данных и с использованием различных сценариев изменчивости величин испарения. Валидация рассчитанных значений была осуществлена на основе данных дистанционного зондирования уровня поверхности водоема и детальной батиметрической карты, позволивших получить гипсометрическое отношение для Малого Аральского моря и отследить реальные колебания уровня и объема водоема.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 17-05-01175 А.*

## Литература

1. Izhitskiy A.S., Zavalov P.O., Sapozhnikov P.V. et al. Present state of the Aral Sea: diverging physical and biological characteristics of the residual basins // Scientific Reports. 2016. V. 6. 23906.
2. Ayzel G.V., Izhitskiy A.S. Coupling physically based and data-driven models for assessing freshwater inflow into the Small Aral Sea // Proc. of Int. Ass. of Hydrological Sci. (PIAHS) 2018. (in press)

# ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД ЧЁРНЫМ МОРЕМ ЗА ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2017 ГОДА

Д. В. Калинская, А. С. Папкина  
ФГБУН Морской Гидрофизический Институт РАН, Севастополь

VARIABILITY OF OPTICAL CHARACTERISTICS OF ATMOSPHERIC AEROSOL OVER THE  
BLACK SEA FOR THE AUTUMN PERIOD OF 2017 YEAR

D. V. Kalinskaya, A. S. Papkova  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*kalinskaya\_d\_v@mail.ru*

Ключевые слова: *AERONET, обратные траектории, Черное море.*

Keywords: *AERONET, back trajectories, the Black Sea.*

Актуальность исследований атмосферных аэрозолей обусловлена тем, что в приземном слое аэрозольные частицы являются загрязнителями атмосферы, а в глобальном масштабе - это один из важных факторов, который влияет на климат [1,2]. С 19 по 23 сентября 2017 года над Азией зависло массивное аэрозольное облако, которое было сформировано загрязняющими веществами природного и антропогенного характера с преобладающим присутствием нитратов. Измерения, проведенные командой ученых из NASA (National Aeronautics and Space Administration) и ISRO (Indian Space Research Organisation) [<https://www.isro.gov.in>], подтвердили резкое увеличение концентрации аэрозоля на расстоянии около 16,5-18,5 км от поверхности Земли. Известно, что данный слой состоит из частиц, которые по размерам отличаются от естественных минеральных дисперсий атмосферного аэрозоля, их размер менее 0,25 мкм, 90% составляют летучие фракции.

Цель и задачи данной работы:

1. Мониторинг передвижения облака антропогенного происхождения в сторону Черноморского региона, посредством данных моделей AERONET (Aerosol Robotic Network) и HYSPLIT (The Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory);
2. оценка изменчивости основных оптических характеристик атмосферного аэрозоля над черноморским регионом при наличии переносов со стороны Азии за период существования антропогенного облака.

В измерениях над Севастополем (44.616 с.ш., 33.517 з.д.) использовался портативный солнечный фотометр SPM [2], работающий в диапазоне спектр 0,34-2,14 мкм. По данным спектральных измерений определялись АОТ (Aerosol Optical Thickness)  $t^a$  (1), влагосодержание атмосферы  $W$ , параметры Ангстрема  $a$  и  $b$ , а также две составляющие АОТ, обусловленные ослаблением радиации грубо-  $t^c$  и мелкодисперсным  $t^f$  аэрозолем [3, 4]. На других двух станциях Eforie (44.075 с.ш., 28.632 з.д.) и Gloria (44.600 с.ш., 29.360 з.д.) использовались измерения, полученные посредством фотометров CIMEL (Sun Sky Multiband Photometer) международной сети AERONET. Эти измерения имеют хорошую корреляцию. [5]

Для Черноморского региона преимущественно характерен западный или юго-западный перенос, случаи переноса аэрозоля со стороны севера-востока имеют меньшую частоту [6]. Используя метод обратных траекторий за период с 19 сентября - 8 октября 2017 года, был проведен статистический анализ переноса аэрозоля со стороны Азии по данным трёх черноморских станций: Sevastopol, Eforie и Gloria. По данным моделирования обратных семидневных траекторий был определен ряд дат переносов аэрозоля со стороны Азии над Черноморским регионом в период с 19 сентября - 8 октября 2017 года. Проведение анализа основных оптических характеристик за соответствующие дни показал завышенные значения АОТ на всех черноморских станциях, однако наиболее высокие средние значения АОТ и минимальные значения параметра Ангстрема ( $\alpha$ ) были получены за 25 и 26 сентября 2017 года:  $\text{AOT}(500)=0,48$  и  $\text{AOT}(500)=0,45$  (при среднегодовых значениях  $\text{AOT}(500)=0,22$  и  $\alpha=1,3$ ),

$\alpha=0,23$  и  $\alpha=0,15$  соответственно. Анализ микрофизических характеристик, таких как распределение частиц по размерам за исследуемый период за 25.09.2017 и 26.09.2017 показал преимущество крупных (от 1 до 10 мкм) частиц на всех исследуемых станциях. В остальные даты исследуемого периода наблюдался аномальный северный перенос воздушных масс и сильные колебания основных оптических характеристик от низких (в 2 раза меньше среднегодового значения), до высоких (превышающих более, чем в 2 раза) значений.

Из анализа приведенных данных можно сделать вывод, что завышенные значения АОТ имеют корреляцию с датами переносов с северо-восточной стороны. В дальнейшем планируется провести комплексное исследование основных оптических характеристик и геохимических проб осадков за даты периода переноса аэрозольного облака.

*Автор благодарит Сакерина С.М. и Кабанова Д.М. за предоставление фотометра SPM, Тома Кушера (Tom Kuisera), Брента Холбена (Brent Holben) и группу Жене Фельдмана (Gene Feldman) из NASA за расчеты данных ВТА, обработку измерений, полученных на севастопольской станции AERONET.*

*Работа выполнена при поддержке темы госзадания «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений» (№ 0827-2018-0002), раздел темы государственного задания ФГБУН МГИ. "Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика (инфраструктура пространственных данных и ГИСТехнологии)".*

### Литература

1. Kaufman Y.J., Holben B.N., Tanre D., et all. Will aerosol measurements from Terra and Aqua polar orbiting satellites represent the daily aerosol abundance and properties // Geophys. Res. Lett. 2000. V. 27. pp. 3861-3864.
2. Сакерин С.М., Козлович В.И. О влиянии типа воздушных масс на аэрозольную оптическую толщину атмосферы Северной Атлантики // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 8. С. 687-690.
3. Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России. Под общей ред. С.М. Сакерина. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2012. 484 с.
4. Сакерин С.М., Кабанов Д.М. Мелко- и грубодисперсные компоненты аэрозольной оптической толщи атмосферы в морских и полярных районах // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28. № 8. С. 690-697.
5. Калининская Д.В., Кабанов Д.М., Латушкин А.А., Сакерин С.М. Результаты измерений аэрозольной оптической толщи атмосферы в черноморском регионе (2015-2016) // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30. №6. С. 489-496.
6. Калининская Д.В. Исследование особенностей оптических характеристик пылевого аэрозоля над Чёрным морем // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2012. Вып. 26(2). С. 151-162

## ЛЕДООБМЕН АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА С ГРЕНЛАНДСКИМ МОРЕМ ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ ФРАМА

В. П. Карклин, А. В. Юлин, М. В. Шаратунова, В. В. Иванов  
Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

ICE EXCHANGE OF THE ARCTIC BASIN WITH THE GREENLAND SEA THROUGH THE FRAM  
STRAIT

V. P. Karklin, A. V. Yulin, M. V. Sharatunova, V. V. Ivanov  
Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg

*mvsh@aari.ru*

Ключевые слова: *ледообмен, пролив Фрама, вынос, сезонная, межгодовая изменчивость, ледовитость.*

Keywords: *ice exchange, Fram strait, the removal of the ice, seasonal, interannual variability, ice cover.*

Вынос льдов из Арктического бассейна в Гренландское море через пролив Фрама является важным показателем состояния ледяного покрова и климатических изменений ледового режима в Северном Ледовитом океане.

Оценка ледобмена через пролив Фрама позволяет установить величину разгрузки Северного Ледовитого океана ото льдов в результате их дрейфа и выноса. В свою очередь, после оценки вклада ледообмена в ледовом балансе океана можно более точно оценить вклад тепловых процессов.

Начиная с 30-х годов прошлого столетия, с началом интенсивного освоения Арктики, гидрометеорологическая информация в районе, прилегающем к проливу Фрама, становится более обеспеченной и достоверной.

Данные о среднемесячной скорости выноса льдов в Гренландское море через пролив Фрама рассчитаны за период с 1930 года по 2017 гг. по методике расчета изобарического дрейфа, предложенной в работе [1]. Для расчета барических градиентов использовался архив карт среднемесячного атмосферного давления, имеющийся в ААНИИ.

Анализ полученных данных по ледообмену показывает, что в среднем за год из Арктического бассейна через пролив Фрама выносятся около 620 тыс. км<sup>2</sup> льда, что составляет около 6% от всей площади льда Северного Ледовитого океана. В среднем за месяц через пролив Фрама выносятся около 52 тыс. км<sup>2</sup> льда.

В докладе рассмотрены основные особенности сезонной и межгодовой изменчивости ледообмена через пролив Фрама. Интенсивность выноса льда в течение года непостоянна и испытывает существенные сезонные колебания, увеличиваясь в зимний период года и уменьшаясь в летний. В среднем около 2/3 годового выноса льда происходит в осенне-зимний период (с октября по апрель) и только 1/3 - в летний период (с мая по сентябрь).

Межгодовые колебания количества выносимого льда также испытывают значительные изменения. Анализ межгодовой изменчивости ледообмена показывает, что эти колебания не имеют выраженного линейного тренда, хотя прослеживается их квазипериодический (циклический) характер. Рассмотрена связь интенсивности ледообмена через пролив Фрама с особенностями атмосферной циркуляции над Северным Ледовитым океаном [2]. Приводится попытка установить связь между чередованием циклов колебаний интенсивности ледообмена и изменением общей ледовитости Северного Ледовитого океана.

### Литература

1. Гудкович З.М., Николаева А.Я. Дрейф льдов в Арктическом бассейне и его связь с ледовитостью арктических морей // Труды ААНИИ. 1963. Т. 104. 212 с.
2. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М. Научные исследования в Арктике. Т.2. Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа. СПб.: Наука, 2007. 158 с.

## СРАВНЕНИЕ ОЦЕНОК СТЕРИЧЕСКОГО УРОВНЯ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

А. В. Колдунов<sup>1</sup>, И. Л. Башмачников<sup>1,2</sup>, А. М. Фёдоров<sup>1</sup>, Т. В. Белоненко<sup>1</sup><sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург<sup>2</sup>Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена, Санкт-Петербург

## COMPARISON OF STERIC SEA LEVEL ESTIMATES IN THE NORTH ATLANTIC

A. V. Koldunov<sup>1</sup>, I. L. Bashmachnikov<sup>1,2</sup>, A. M. Fedorov<sup>1</sup>, T. V. Belonenko<sup>1</sup><sup>1</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg<sup>2</sup>Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, St. Petersburg*koldunovaleksey@gmail.com*

Ключевые слова: *уровень океана, стерические колебания, Атлантический океан, спутниковая альтиметрия, GRACE, SODA, EN4, ARMOR.*

Keywords: *sea level, steric, Atlantic Ocean, satellite altimetry, GRACE, SODA, EN4, ARMOR.*

Стерические колебания уровня океана, обусловленные вертикальным расширением или сжатием воды из-за изменения её плотности (без изменения массы воды), являются важным фактором, влияющим на рост уровня Мирового океана. Особое внимание исследователей сосредоточено на изменениях, происходящих в высоких широтах, где процессы, связанные с таянием ледников оказывают сильное воздействие на изменчивость уровня, в том числе в связи с опреснением морской воды. В этой связи важной задачей становится получение репрезентативных данных о стерической составляющей уровня, в том числе с привлечением спутниковых данных, а также сравнение различных алгоритмов расчёта с применением разных массивов данных.

В работе проводится сравнение оценок изменчивости стерического уровня в Северной части Атлантического океана в период 2003-2015 гг., полученных с использованием пяти наборов данных. Для расчёта стерического уровня использовались два метода. Первый метод базируется на комплексном использовании комбинированных данных спутниковых альтиметрических (AVISO) и гравиметрических измерений (GRACE).

Суть метода изложена в работах [1-3], а апробация представлена в [4] для акватории Баренцева моря, а также в [5] для морей Лабрадор и Ирмингера. Второй метод опирается на интегральную оценку стерических колебаний по изменениям объема жидкости за счет изменения её плотности. Расчёты проводились по данным реанализов SODA, EN4 и ARMOR с применением интегральной формулы, описанной в [6].

Сравнение карт с распределением оценок изменчивости стерического уровня в Северной Атлантике показывает, что основные особенности изменчивости схожи для различных наборов данных. Временные ряды, полученные осреднением по отдельным участкам акватории, демонстрируют хорошее соответствие, особенно в центральной части рассматриваемой акватории. Здесь наилучшая корреляция наблюдается между данными SODA и ARMOR, достигая 0.9, и в целом данные всех трёх реанализов показывают хорошее соответствие (коэффициент корреляции - не менее 0.8).

Стерический уровень, рассчитанный по алгоритму, использующему исключительно спутниковые данные, имеет наибольшее соответствие с уровнем, рассчитанным по данным ARMOR (коэффициент корреляции 0.68), а наихудшее с уровнем, рассчитанным по данным EN4. Кроме того, существует множество различий в распределении стерических составляющих уровня с некоторыми экстремумами, проявляющимися в данных реанализов SODA и EN4, но отсутствующих на картах, построенных по данным спутников и ARMOR.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №17-17-01151), а также Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №17-05-00034 и 16-05-00452).*



**Литература**

1. Chambers Don P. Observing seasonal steric sea level variations with GRACE and satellite altimetry // J. Geophys. Res. 2006. С3. V. 111. pp. C03010. - 10.1029/2005JC002914.
2. Lombard A., et al. Estimation of steric sea level variations from combined GRACE and Jason-1 data // Earth and Planetary Sci. Let. 2007. 1-2. V. 254. pp. 194-202. 10.1016/J.EPSL.2006.11.035.
3. García D., et al. Steric Sea-level Variations Inferred from Combined Topex/Poseidon Altimetry and GRACE Gravimetry // Pure and Applied Geophysics. 2007. V. 164. pp. 721-731. 10.1007/s00024-007-0182-y.
4. Volkov D.L., Landerer F.W., Kirillov S.A. The genesis of sea level variability in the Barents Sea // Continental Shelf Res. 2013. V. 66. pp. 92-104. 10.1016/J.CSR.2013.07.007.
5. Белоненко Т.В., Федоров А.М. Стерические колебания уровня и глубокая конвекция в Лабрадорском море и море Ирмингера // Исследования Земли из космоса. 2018. Т. 3. (в печати).
6. Han Guoqi, et al. Interannual and Decadal Sea Surface Height Variability Over the Northwest Atlantic Slope // IEEE J. Sel. Topics in Appl. Earth Observ. Remote Sensing. 2016. 11. V. 9. pp. 5071-5078. 10.1109/JSTARS.2016.2584778.

## ФРОНТАЛЬНЫЕ ЗОНЫ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ

А. А. Коник, О. А. Атаджанова, А. В. Зимин  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

## FRONTAL ZONES OF THE BARENTS AND KARA SEAS

A. A. Konik, O. A. Atajanova, A. V. Zimin  
P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*konikrshu@gmail.com*

Ключевые слова: *Температура поверхности моря, градиент температуры, фронтальные зоны, фронтальный раздел, Баренцево море, Карское море*

Keywords: *Sea surface temperature, temperature gradient, front zones, front section, Barents sea, Kara sea*

В настоящее время в Арктике происходят значительные климатические изменения, которые выражаются в сокращении многолетнего ледяного покрова, положительных аномалиях температуры воды и воздуха [1]. Изменения в состоянии поверхности океана с неизбежностью должны сказаться на динамической и термохалинной структуре его вод, а в частности на положении и характеристиках фронтальных зон в арктических морях. Существующие же сейчас представления о положении фронтальных зон сформированы ранее, в более холодные годы. В связи с этим, весьма актуально оценить их новое положение и динамику.

Цель данной работы является: изучение внутрисезонной и синоптической изменчивости положения и количественных характеристик основных фронтальных зон Баренцева и Карского моря в теплые сезоны 2007 и 2011 гг. на основе анализа данных по температуре поверхности моря (ТПМ).

В качестве исходных данных используется температура из модели GHRSSST OSTIA Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis с июля по сентябрь 2007 и 2011 гг.

В данной работе рассматриваются основные фронтальные зоны Карского и Баренцева моря. В Баренцевом море рассматриваются две основные фронтальные зоны, имеющие различную природу формирования: Прикромочная и Полярная. Прикромочная фронтальная зона находится в северной части моря и проходит с запада (о. Шпицберген) в районе  $76^{\circ}$  с.ш. на восток (о. Франца Иосифа) до  $77^{\circ}$  с.ш. Данная зона является нестационарной и формируется за счет прикромочной конвекции около прикромочной ледовой зоны. Полярная фронтальная зона проходит в центральной части моря с запада (о. Медвежий) в районе  $74^{\circ}$  с.ш., постепенно смещаясь на юго-восток в район (о. Новая Земля)  $75^{\circ}$  с.ш. Данная зона является стационарной и формируется за счет крупномасштабной адвекции теплых и соленых вод Атлантики. В Карском море также рассматриваются две фронтальные зоны: Прикромочная и Стоковая. Прикромочная фронтальная зона прослеживается на севере моря и проходит с запада в районе  $77^{\circ}$  с.ш. (о. Франца Иосифа) на восток до  $78^{\circ}$  с.ш. (о. Северной Земли). Стоковая фронтальная зона формируется не далеко от устьев рек (Обь, Енисей) в районе  $73^{\circ}$  с.ш. и, расширяясь в течение сезона, смещается за счет поверхностных течений и стока пресных теплых речных вод на северо-восток в сторону  $76^{\circ}$  с.ш. (о. Новой Земли).

По полученным данным строились композитные карты температуры поверхности и их градиентов, с помощью которых по интенсивности градиентов определялось положение фронтальных зон. Для оценки количественных характеристик фронтальных разделов проведены три меридиональных разреза в западной, центральной и восточной частях обоих морей. Выделенные максимальные градиенты выбираются за положение основного фронтального раздела внутри фронтальной зоны. По данным трех разрезов также определялось [2]: средняя ширина фронтальной зоны и максимальный градиент ТПО на фронте по месяцам и декадам.

Проведенная оценка количественных характеристик линий фронта показывает, что ширина Прикромочной фронтальной зоны Баренцева моря в 2007 г. изменялась от 44 км до 122 км (среднее 83 км), а в 2011 г. от 44 км до 139 км (среднее 92 км). В 2007 г. отмечается смещение линии Прикромочной фронтальной зоны Баренцева моря от его среднего климатического положения в сторону

о.Шпицбергена и о.Земли Франца Иосифа за июль-август на 350 км. В 2011 г. данный фронт также смещается на север за июль-август на 260 км. Ширина Полярной фронтальной зоны Баренцева моря в 2007 г. изменяется от 44 км до 206 км (среднее 129 км), а в 2011 г. от 53 км до 167 км (среднее 119 км).

Проведенная оценка количественных характеристик линий фронта показывает, что ширина Прикромочной фронтальной зоны Карского моря в 2007 г. изменялась от 50 км до 122 км (среднее 86 км), а в 2011 г. от 49 км до 103 км (среднее 76 км). В 2007 г. отмечается смещение линии Прикромочной фронтальной зоны Карского моря от его среднего климатического положения в сторону о.Земли Франца Иосифа и о. Северная Земля за июль-август на 250 км, а в 2011 г. на 200 км. Ширина Стоковой фронтальной зоны Карского моря в 2007 г. изменялась от 72 км до 161 км (среднее 117 км), а в 2011 г. от 84 км до 146 км (среднее 115 км).

В результате данной работы зафиксировано, что Прикромочная фронтальная зона Баренцева моря хорошо выделяется за счет отмеченных максимальных градиентов (в 2007 г. -  $0,07^{\circ}\text{C}/\text{км}$ , в 2011 г. -  $0,05^{\circ}\text{C}/\text{км}$ ) и имеет значительную динамику, так как смещается относительно своего среднего климатического положения за сезон 2007 г. на 200 км и за сезон 2011 г. на 350 км. Полярная фронтальная зона Баренцева моря хорошо выделяется за счет максимальных градиентов (в 2007 г. -  $0,05^{\circ}\text{C}/\text{км}$ , в 2011 г. -  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{км}$ ), однако является менее динамичной, так как за сезон 2007 г. смещается относительно среднего климатического положения на 150 км, а за сезон 2011 г. на 100 км. Прикромочная фронтальная зона Карского моря смещается относительно своего среднего климатического положения за сезон 2007 г. на 200 км и за сезон 2011 г. на 250 км и имеет незначительные градиенты (не более  $0,03^{\circ}\text{C}/\text{км}$ ). Стоковая фронтальная зона Карского моря является более динамичной, так как за сезон 2007 г. смещается относительно среднего климатического положения на 250 км, а за сезон 2011 г. на 400 км, однако также имеет незначительные градиенты (не более  $0,03^{\circ}\text{C}/\text{км}$ ).

*Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме №0149-2018-0014 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натурных экспериментальных работ».*

### Литература

1. Алексеев Г.В., Радионов В.Ф. Изменение климата Арктики при глобальном потеплении // Пробл. Арктики и Антаркт. 2015. № 1 (103). С. 32-41.
2. Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 296 с.

# ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РУСЛОВОГО И ПОЙМЕННОГО ПОТОКОВ

Е. М. Коринец

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

THE FORMATION OF A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM STRUCTURE ON THE BASIS  
OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INTERACTION BETWEEN THE RIVER BED AND  
FLOODPLAIN FLOWS

E. M. Korinets

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*miffi89@mail.ru*

Ключевые слова: *экспериментальные данные, русло, пойма, донные наносы, транспортирующая способность, база данных, ГИС*

Keywords: *experimental data, river bed, floodplain, bed load, deposit transportation capacity, database, GIS*

На основе данных исследований по оценке формул для расчета расходов донных наносов были сделаны выводы о причинах неудовлетворительных результатов расчетов по ним. Одной из основных причин таких результатов явилось то, что для равнинных пойменных рек не учитывался эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков.

Большинство равнинных рек РФ имеют пойму, которая регулирует не только паводочный сток, но и сток наносов, максимальное количество которых попадает в русла рек во время половодий.

Было установлено, что на транспортирующую способность руслового потока оказывает значительное воздействие пойменный поток, что не учитывается в методиках определения расходов донных наносов [1], в связи с чем была обоснована необходимость экспериментальных исследований эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков, которые проводились более 10 лет на кафедре гидрометрии РГГМУ.

Проведенные экспериментальные исследования по предложенной методике позволили выявить новые закономерности в поведении геосистемы. Впервые экспериментальным путем подтвержден факт резкого увеличения транспортирующей способности русловой составляющей потока в периоды подъема уровней при пропуске паводков и половодий, когда в русло реки поступает наибольшее количество наносов, и ее снижения при спаде уровней, когда в русло реки поступает «осветленный поток» [2].

Графические зависимости транспортирующей способности от глубины и угла между динамическими осями взаимодействующих потоков, полученные по результатам экспериментальных измерений, позволяют качественно оценить влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспорт донных наносов.

При расхождении динамических осей взаимодействующих потоков и наличии шероховатой поймы, транспортирующая способность руслового потока возрастает в десятки раз, тогда как при наличии гладкой поймы она увеличивается в сотни раз по сравнению с изолированным русловым потоком.

В условиях роста объема получаемых данных экспериментов, возникает необходимость в наличии единого онтологического хранилища, в котором экспериментальные данные были бы объединены в единую структуру. Более того, данным и сопутствующей им информации необходимо храниться десятилетиями, а также иметь возможность дополнения и усовершенствования [3]. Без организации связности между экспериментальными данными, описывающими этапы их обработки и анализа, нарушается воспроизводимость научных результатов, что является важнейшим критерием истинности научного знания. Таким образом, была разработана база данных для геоинформационной системы, которая отличается от использованных ранее тем, что данные по речной геосистеме классифицированы, структурированы, и предложены диапазоны их измерений, с учетом новых параметров, использованных в модифицированной методике. Также разработана программа визуализации, которая позволит

воспроизводить в графическом и табличном видах информацию по экспериментальной оценке влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков при различных типах этого взаимодействия.

Основным результатом, полученным по итогам разработки данного программного обеспечения, является обоснование структуры и содержания базы знаний для прогнозирования русловых деформаций, включающие в себя новый методический аппарат и систематизированную базу данных для этого аппарата. Данная база знаний позволит сформировать единое информационное поле научного эксперимента на физической модели, посвященного эффекту взаимодействия руслового и пойменного потоков, а архитектура этой базы может быть адаптирована к множеству еще не рассмотренных условий, которые охватывает данная проблематика.

### Литература

1. Барышников Н.Б., Исаев Д.И. Русловые процессы. СПб.: изд.РГГМУ. 2014. 503 с.
2. Коринец Е.М., Барышников Н.Б. Донные наносы // Ученые записки РГГМУ. 2015. № 39. С. 44-49.
3. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1978. 319 с.

## КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ И ОЧАГИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕШИВАНИЯ В ЕВРАЗИЙСКОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ

И. Е. Козлов<sup>1,2</sup>, Е. В. Зубкова<sup>1</sup>, Т. П. Риппет<sup>3</sup>, М. Грин<sup>3</sup>, В. Линкольн<sup>3</sup>, А. Сундфьорд<sup>4</sup>,  
В. Н. Кудрявцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

<sup>3</sup>Университет г. Бангор, Бангор (Великобритания)

<sup>4</sup>Норвежский полярный институт, Тромсё (Норвегия)

### SHORT-PERIOD INTERNAL WAVES AND VERTICAL MIXING HOT SPOTS IN THE EURASIAN SECTOR OF THE ARCTIC OCEAN

I. E. Kozlov<sup>1, 2</sup>, E. V. Zubkova<sup>1</sup>, T. P. Rippeth<sup>3</sup>, M. Green<sup>3</sup>, V. Lincoln<sup>3</sup>, A. Sundfjord<sup>4</sup>,  
V. N. Kudryavtsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

<sup>2</sup>Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol

<sup>3</sup>Bangor University, Bangor (United Kingdom)

<sup>4</sup>Norwegian Polar Institute, Tromsø (Norway)

*igor.eko@gmail.com*

Ключевые слова: *короткопериодные внутренние волны, спутниковые радиолокационные изображения, Северный Ледовитый океан, вертикальное перешивание, приливы.*

Keywords: *short-period internal waves, satellite radar images, Arctic Ocean, vertical mixing, tides.*

В работе представлены результаты спутниковых наблюдений короткопериодных внутренних волн (КВВ) в евразийском секторе Арктики. Основу для анализа составили измерения спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой Envisat ASAR за летний период 2007 и 2011 гг. и Sentinel-1 A, B за летний период 2017 г. Анализ 4000 радиолокационных изображений позволил выделить около 6000 поверхностных проявлений КВВ в районе исследований, включающем акватории морей Гренландского [1], Норвежского, Баренцева [2, 3], Карского [4], Лаптевых [5, 6], а также область континентального склона севернее 80° с.ш. [7, 8]. Впервые для этого района получено поле частоты встречаемости (ЧВ) КВВ на сетке с шагом 20x20 км, которое дает детальное пространственное описание ключевых районов генерации и распространения КВВ в этом секторе Арктики.

Для оценки механизмов генерации наблюдаемых внутренних волн поле ЧВ было сопоставлено с модельным полем диссипации баротропной приливной энергии (ДПЭ), рассчитанном на основе данных о скорости и амплитуде приливных течений, полученных из глобальной модели приливных течений TRX08 с пространственным разрешением 1/30°. Результаты анализа показали, что около 30% наблюдений КВВ приходится на районы, где диссипация приливной энергии составляет более 0.01 Вт/м<sup>2</sup>. При этом основные районы генерации КВВ наблюдаются вблизи районов, где величина ДПЭ достигает 0.1 Вт/м<sup>2</sup>. Эти районы характеризуются максимальными значениями скорости приливных течений и топографического уклона.

Для ключевых районов наблюдения КВВ выполнен анализ измерений скорости диссипации турбулентной кинетической энергии (СД ТКЭ), полученных на основе микроструктурных измерений в различных районах Арктики. Проанализировано 458 вертикальных профилей СД ТКЭ и условной плотности за разные годы в период 2007 по 2014 гг. Предварительный анализ показал высокую корреляцию между частотой встречаемости внутренних волн и скоростью диссипации турбулентной кинетической энергии в слое сезонного пикноклина. Сделан вывод о том, что КВВ играют важную роль в интенсификации вертикального перешивания в районах их регулярного наблюдения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №16-35-60072 мол\_а\_дж, гранта РНФ № 17-77-30019, а также в рамках государственного задания ФАНО России по теме № 0827-2018-0002.*

**Литература**

1. Зубкова Е.В., И.Е. Козлов, В.Н. Кудрявцев Характеристики короткопериодных внутренних волн в Гренландском море по данным спутниковых радиолокационных наблюдений // Уч. записки РГГМУ. 2016. № 45, С. 81–90.
2. Kozlov I.E. SAR signatures of oceanic internal waves in the Barents Sea // В сб. 'SeaSAR 2008'. 2008. ESA SP-656. The Netherlands: ESA Public. Div. 7 pp.
3. Козлов И.Е., В.Н. Кудрявцев, С. Сандвен Некоторые результаты исследования внутренних волн в Баренцевом море методами радиолокационного зондирования из космоса // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3. 86. С. 60–69.
4. Козлов И.Е., В.Н. Кудрявцев, Е.В. Зубкова, А.В. Зимин, Б. Шапрон Характеристики поля короткопериодных внутренних волн в Карском море по данным спутниковых радиолокационных измерений // Исследование Земли из космоса. 2015. № 4. С. 1–16.
5. Зубкова Е.В., И.Е. Козлов, В.Н. Кудрявцев Наблюдение короткопериодных внутренних волн в море Лаптевых на основе спутниковых радиолокационных измерений // Совр. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 6. С. 99–109.
6. Kozlov I.E., E.V. Zubkova, V.N. Kudryavtsev Internal solitary waves in the Laptev Sea: first results of spaceborne SAR observations // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2017. V. 14. 11. pp. 2047–2051.
7. Козлов И.Е., В.Н. Кудрявцев, Е.В. Зубкова, О.А. Атаджанова, А.В. Зимин, Д.А. Романенков, Б. Шапрон, А.Г. Мясоедов Районы генерации нелинейных внутренних волн в Баренцевом, Карском и Белом морях по данным спутниковых РСА измерений // Совр. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 338–345.
8. Kozlov I., V. Kudryavtsev, E. Zubkova, O. Atadzhanova, A. Zimin, A. Myasoedov, B. Chapron, D. Romanenkov SAR observations of internal waves in the Russian Arctic seas // В сб.: Int. Geosci. and Remote Sensing Symp. (IGARSS) Remote Sensing: Understanding the Earth for a Safer World. Сер. "2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2015 - Proceedings". 2015. С. 947–949.

# ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕЙ В КРУГОВОРОТЕ БОФОРТА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫСОКОГО И НИЗКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

И. Е. Козлов<sup>1,2</sup>, А. В. Артамонова<sup>1</sup>, А. А. Кубряков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

## CHARACTERISTICS OF EDDIES IN THE BEAUFORT GYRE BASED ON SPACEBORNE RADAR MEASUREMENTS OF HIGH AND LOW SPATIAL RESOLUTION

I. E. Kozlov<sup>1,2</sup>, A. V. Artamonova<sup>1</sup>, A. A. Kubryakov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

<sup>2</sup>Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol

*igor.eko@gmail.com*

Ключевые слова: *океанские вихри, субмезомасштабные вихри, синоптические вихри, спутниковые радиолокационные изображения, спутниковая альтиметрия, круговорот Бофорта, море Бофорта, Чукотское море.*

Keywords: *ocean eddies, submesoscale eddies, synoptic eddies, satellite radar images, satellite altimetry, Beaufort Gyre, Beaufort Sea, Chukchi Sea.*

В условиях меняющегося климата Арктики большое внимание уделяется исследованию механизмов перемешивания и переноса тепла в верхнем слое Северного Ледовитого океана (СЛО). Результаты экспериментальных исследований показывают важную роль мезо- и субмезомасштабных вихрей в этих процессах [1-4]. Особый интерес представляет собой район антициклонического круговорота Бофорта (англ. Beaufort Gyre), где наблюдается максимальная для акватории СЛО толщина слоя пресной воды, достигающая 22-25 м. В ряде работ отмечалось, что большой запас доступной потенциальной энергии, обусловленный характерным наклоном изоики в этом районе, является одной из причин высокой встречаемости вихрей в контактных измерениях [2, 5]. До настоящего времени анализ вихревой активности в этом районе был основан преимущественно на результатах немногочисленных контактных измерений [1, 2, 5] и модельных расчетов (например, [4]).

Целью настоящей работы является заполнение пробела в области исследования вихревой динамики в районе круговорота Бофорта на основе использования спутниковых радиолокационных измерений высокого и низкого пространственного разрешения. В качестве основы для анализа использованы данные спутникового радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) Envisat ASAR за летний период 2007 и 2011 гг. Эти данные продемонстрировали свою эффективность при исследовании субмезомасштабной динамики океана в арктических морях России [6-8]. На основе анализа поверхностных проявлений вихревых структур в РСА изображениях определялись районы генерации вихрей, их диаметр, знак вращения, тип проявления и глубина места, соответствующая центру вихря. В ходе анализа выделялись вихри, наблюдаемые на участках чистой воды, в прикромочной зоне льда и в полях разреженного льда. Анализ РСА измерений показал, что около 60% от общего количества вихрей (около 3000 вихрей) являются циклоническими. Примерно половина всех вихрей наблюдалась в районах с глубинами менее 300 м. Диапазон наблюдаемых диаметров вихрей составил от 1 до 50 км, но около 80% всех вихрей имели диаметры менее 10 км. Поскольку радиус деформации Россби для района исследований составляет 10-15 км [9], основная часть наблюдаемых вихрей относится к субмезомасштабу.

С целью получения более полной картины вихревой динамики в районе исследований результаты РСА наблюдений были дополнены анализом альтиметрических измерений из глобального массива картированных аномалий уровня AVISO за период с 1993 по 2016 гг с пространственным разрешением 25 км. Для автоматической идентификации вихревых структур по альтиметрическим измерениям использовался метод "угол намотки" ("winding angle" - англ.), успешно использованный, например, для



анализа вихрей в Черном море [10]. В ходе анализа выделено 153 вихря, большинство из которых наблюдалось в южной части морей Бофорта и Чукотского. Средний (максимальный) размер диаметров наблюдаемых вихрей составил около 50 км (100 км), а продолжительность жизни - 15-30 суток. Максимальные значения орбитальной скорости вихрей находились в диапазоне 10-20 см/с. Результаты совместного анализа показали, что использование спутниковых данных высокого (РСА) и низкого (альтиметрия) разрешения позволяет получить наиболее полную картину о поле вихрей на масштабах 1-100 км в этом районе.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №16-35-60072 мол\_а\_дк, гранта РНФ № 17-77-30019, а также в рамках государственного задания ФАНО России по теме № 0827-2018-0002.*

### Литература

1. D'Asaro, E. Observations of small eddies in the Beaufort Sea // Journal of Geophysical Research. 1988. V. 93. С6. P. 6669-6684.
2. Zhao M., Timmermans M.-L., Cole S., Krishfield R., Proshutinsky A., Toole J. Characterizing the eddy field in the Arctic Ocean halocline // J. Geophys. Res. Oceans. 2014. V. 119. 12. pp. 8800-8817.
3. Hattermann T., Isachsen P.E., von Appen W.-J., Albretsen J., Sundfjord A. Eddy-driven recirculation of Atlantic Water in Fram Strait // Geophys. Res. Lett. 2016. V. 43. 7. pp. 3406-3414.
4. Manucharyan G.E., Spall M.A. Wind-driven freshwater buildup and release in the Beaufort Gyre constrained by mesoscale eddies // Geophys. Res. Lett. 2016. V. 43. pp. 273-282.
5. Timmermans M.-L., Toole J., Proshutinsky A., Krishfield R., Plueddemann A. Eddies in the Canada basin observed from ice-tethered profilers // J. Phys. Oceanogr. 2008. V. 38. 1. pp. 133-145.
6. Зимин А.В., Атаджанова О.А., Романенков Д.А., Козлов И.Е., Шапрон Б. Субмезомасштабные вихри в Белом море по данным спутниковых радиолокационных измерений // Иссл. Земли из космоса. 2016. №1-2. С. 129-135.
7. Атаджанова О.А., Зимин А.В., Романенков Д.А., Козлов И.Е. Наблюдение малых вихрей в Белом, Баренцевом и Карском морях по данным спутниковых радиолокационных измерений // Мор. гидрофиз. ж. 2017. Т. 11. № 2. С. 338-345.
8. Kozlov I.E., Zubkova E.V., Kudryavtsev V.N. Internal solitary waves in the Laptev Sea: first results of spaceborne SAR observations // IEEE Geosci. Rem. Sens. Lett. 2017. V. 14. 11. pp. 2047-2051.
9. Nurser A.J.G., Bacon S. The Rossby radius in the Arctic Ocean // Ocean Sci. 2014. V. 10. pp. 967-975.
10. Kubryakov A.A., Stanichny S.V. Mesoscale eddies in the Black Sea from satellite altimetry data // Oceanology. 2015. V. 55. 1. pp. 56-67.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРЕЙ СИБИРСКОГО ШЕЛЬФА И СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

М. В. Крайнева, Е. Н. Голубева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск

STUDY OF THE INTERACTION BETWEEN THE SIBERIAN SHELF SEAS AND THE ARCTIC OCEAN BASED ON NUMERICAL MODELING

M. V. Kraineva, E. N. Golubeva

The Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of SB of the RAS (ICM&MG SB RAS), Novosibirsk

*kraineva-m@yandex.ru*

Ключевые слова: *Северный Ледовитый океан, море Лаптевых, изменчивость климата, численное моделирование.*

Keywords: *The Arctic Ocean, the Laptev Sea, climate variability, numerical modeling.*

Море Лаптевых, одно из арктических морей Сибирского шельфа, оно расположено между полуостровом Таймыр, островом Северная Земля и Новосибирскими островами. Физические процессы, происходящие в море Лаптевых, оказывают влияние на формирование ледово-гидрологического режима Северного Ледовитого океана (СЛО). Регион находится под влиянием материкового стока сибирских рек, крупнейшей из которых является река Лена. В летний период сток рек, рассредоточенных по побережью моря, оказывает распределяющее действие на обширную акваторию и обеспечивает стабильность стратификации поверхностных вод. Распространяясь в северном направлении к материковому склону, они способствуют формированию холодного галоклина [3], поддерживающего устойчивую стратификацию вод и изолирующего ледовый покров от слоя теплых атлантических вод, поступающих в СЛО через пролив Фрама и Баренцево море и распространяющихся далее вдоль материкового склона [7]. В зимний период характерным является формирование припайного льда, что является одной из причин, приводящих к образованию полыньи моря Лаптевых, в которой происходит интенсивное образование нового льда, включающегося в дальнейшем в трансполярный дрейф [2].

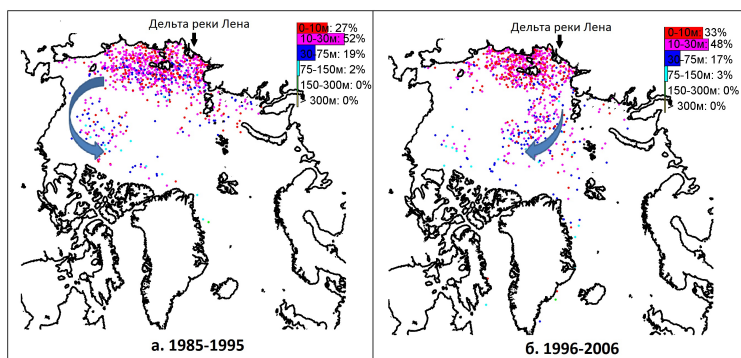
Для исследования траекторий распространения пресных вод реки Лены, поступающих на шельф моря Лаптевых мы использовали трехмерную региональную модель, включающую океаническую численную модель ИВМиМГ СО РАН [1, 4] и модель морского льда CICE-3.14 [5]. Потоки тепла, пресной воды и импульса на поверхности океана рассчитывались на основе данных атмосферного реанализа NCEP/NCAR для временного периода с 1948 г. по настоящее время [6].

Результаты численных экспериментов воспроизводят пространственно-временную изменчивость гидрологических и ледовых полей Северного Ледовитого океана, вызванную изменчивостью состояния атмосферы полярных районов северного полушария. Для анализа траектории распространения пресных речных вод в модели использовался пассивный трассер в виде частиц, поступающих в шельфовую зону моря Лаптевых в соответствии с расходом реки Лены. Результаты расчета показали, что большая часть трассеров в течение нескольких лет остается на шельфе. Распространяясь за пределы материкового склона, трассеры включаются в систему циркуляции Арктического бассейна, определяемую состоянием атмосферы. По результатам наших расчетов, трассеры, поступившие на шельф моря Лаптевых в 1985 г., в течение 10 лет распространялись преимущественно в циклоническом направлении (рис. 5.9 а). Основная их часть оказалась сосредоточена в Восточно-Сибирском море и в море Лаптевых, часть трассеров оказалась в Канадском бассейне. Трассеры, поступившие в 1996 г., в течение последующих 10 лет распространились на шельфе Восточно-Сибирского моря и, выйдя за пределы материкового склона, двигались в антициклоническом направлении (рис. 5.9 б).

Финансирование: РФФИ 17-05-00396, 17-05-00382А.

## Литература

1. Голубева Е.Н. Численное моделирование динамики Атлантических вод в Арктическом бассейне с использованием схемы QUICKEST // Вычисл.технол. 2008. № 5.
2. Захаров В.Ф. Морские льды в климатической системе. СПб.: Гидрометеиздат, 1996. 213 с.
3. Aagaard K., Coachman L.K., Carmack E.C. On the halocline of the Arctic Ocean // Deep Sea Res. 1981. Part A. 28. pp. 529–545.
4. Golubeva E.N., Platov G.A. On improving the simulation of AtlanticWater circulation in the Arctic // Ocean. J. Geophys. Res. 2007. V. 112. C04S05.
5. Hunke E.C., Dukowicz J.K. An elastic-viscous-plastic model for ice dynamics // J. Phys. Oceanogr. 1997. V. 27. № 9. pp. 1849–1867.
6. NOAA Earth System Research Laboratory: Physical Sciences Division: NCEP/NCAR Reanalysis. [ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep\\_reanalysis.dailyavgs](ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep_reanalysis.dailyavgs)
7. Rudels B., Schauer U., Björk G., Korhonen M., Pisarev S., Rabe B., Wisotzki A. Observations of water masses and circulation with focus on the Eurasian Basin of the Arctic Ocean from the 1990s to the late 2000s // Ocean Sci. 2013. V. 9. pp. 147–169.



**Рис. 5.9:** Моделирование распространения трассера из дельты реки Лена. Трассер выпущен в течении а) 1985 г., б) 1996 г. Период моделирования – 10 лет. Разными цветами обозначено положение трассеров, находящихся на разных глубинах: красный – 0–10 м, розовый – 10–30 м, синий – 30–75 м, голубой – 75–150 м. Распределение трассеров по глубинам представлено в процентном соотношении.

# ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА В ЧЕРНОМ МОРЕ, ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ТЕРМОХАЛИННУЮ СТРУКТУРУ И ЭКОСИСТЕМУ БАССЕЙНА

А. А. Кубряков, С. В. Станичный, А. В. Багаев, А. И. Мизюк, О. С. Пузина, М. В. Сендеров,  
В. Н. Белокопытов

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

## EDDY DYNAMICS IN THE BLACK SEA, ITS IMPACT ON THE THERMOHALINE STRUCTURE AND THE ECOSYSTEM OF THE BASIN

A. A. Kubryakov, S. V. Stanichny, A. V. Bagaev, A. I. Miziuk, O. S. Puzina, M. V. Senderov,  
V. N. Belokopytov

Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*arskubr@ya.ru*

*Ключевые слова: синоптические вихри, Черное море, моделирование, вертикальная структура, горизонтальный перенос, автоматическая идентификация, спутниковая альтиметрия.*

*Keywords: mesoscale eddies, the Black Sea, numerical modeling, vertical structure, horizontal transport, automatic identification, satellite altimetry.*

В работе на основе спутниковых альтиметрических данных, гидрологических измерений и результатов модельных расчетов исследованы характеристики вихрей Черного моря, их роль в переносе тепла и соли, влияние на цветения планктона в бассейне. Для исследования синоптической вихревой динамики Черного моря используется метод автоматической идентификации вихревых структур, основанный на определении замкнутых линий тока в поле аномалий скорости течений [1]. На основе данных альтиметров за период с 1993 по 2015 гг. было идентифицировано более 1300 вихрей различного знака с временем жизни более 4 недель и диаметром более 40 км [2]. На основе полученных массивов исследованы районы преимущественного возникновения и исчезновения вихрей, характерные траектории вихрей различного знака. Проведен анализ количества и продолжительности существования вихревых структур, построено пространственное распределение частоты наблюдения вихрей, их радиуса, скорости. Проведено исследование сезонной и межгодовой изменчивости количества, кинетической энергии, и размеров синоптических вихрей Черного моря. Показано, что период ослабления крупномасштабных течений сопровождается увеличением количества антициклонических вихрей, что связано с неустойчивостью Основного Черноморского Течений (ОЧТ) при его ослаблении. Одной из важных причин интенсификации вихрей является возрастание бароклинной энергии, вызванное захватом легких шельфовых во в бассейне, которые во время ослабления циклонической завихренности ветра притекают в центр моря. Адвекция синоптическими вихрями является одним из важнейших механизмов кросс-шельфового обмена биогенами, и их межгодовая изменчивость существенно модулирует цветения фитопланктона в в бассейне [3].

На основе композитного метода исследованы особенности структуры вихрей в поле скорости, уровня, поверхностной температуры. На основе комбинирования данных альтиметрии и исторических гидрологических измерений, в том числе данных буев Арго исследованы особенности термохалинной структуры вихрей Черного моря [4]. Даны оценки связи скорости вихря и его термохалинной структуры. На основе полученных зависимостей исследовано влияние вихрей на транспорт соли и тепла. Основное влияние вихрей заключается в торможении перемещения водных масс по сравнению с быстрым транспортом ОЧТ. Вызываемый вихрями «относительный» транспорт, направленный прогивоположно ОЧТ, в 5-10 раз превышает абсолютный вихревой транспорт. Действие вихрей является одним из факторов, вызывающих западно-восточную асимметрию термохалинных полей Черного моря.

Для подробного исследования особенностей вертикальной структуры вихрей и её эволюции, а также получения информации о вихрях малых масштабах методы автоматической идентификации были

развиты для трехмерных полей скорости, полученных по результатам численных расчетов. Для расчетов трехмерной эволюции полей Черного моря за 2005-2015гг. использовалась конфигурация модели NEMO для Черного моря. В результате проведенного анализа были получены карты пространственного распределения циклонов и антициклонов Черного моря. На основе метода автоматической идентификации были рассчитаны средние распределения нижней границы и толщины вихрей, вертикальное распределение динамических и геометрических параметров в вихре, их эволюция, сезонная изменчивость [5].

*Исследование влияния вихрей на экосистему Черного моря выполнено в рамках научного проекта № 16-35-60036 мол\_а\_дж, исследование термосталинной структуры вихрей выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00264 А, анализ гидрологических измерений и определение кинематических характеристик вихрей выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002, шифр «Оперативная океанология».*

### Литература

1. Chaigneau A., Gizolme A., Grados C., Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns // Progress In Oceanography. 2008. № 79. Issues 2–4. P. 106-119
2. Kubryakov A.A., Stanichny S.V. Mesoscale eddies in the Black Sea from satellite altimetry data // Oceanology. 2015. 55(1). pp. 56-67.
3. Kubryakov A.A., Stanichny S.V., Zatsepin A.G., Kremenetskiy V.V. Long-term variations of the Black Sea dynamics and their impact on the marine ecosystem // J. Marine Sys. 2016. 163. pp. 80-94.
4. Chaigneau A., Le Texier M., Eldin G., Grados C., Pizarro O. Vertical structure of mesoscale eddies in the eastern South Pacific Ocean: A composite analysis from altimetry and Argo profiling floats // J. Geophys. Res.: Oceans. 2011. 116(C11).
5. Кубряков А.А., Мизюк А.И., Пузина О.С., Сендеров М.В. Трехмерная идентификация синоптических вихрей Черного моря по расчетам численной модели NEMO // Морской Гидрофизический Журнал. 2018. №1.

# ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ МАСС МИРОВОГО ОКЕАНА ПОД ВЛИЯНИЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ

В. М. Кукушкин, М. Ю. Маркина  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

WORLD OCEAN WATER MASS TRANSFORMATION UNDER THE INFLUENCE OF  
OCEAN-ATMOSPHERE INTERACTION

V. M. Kukushkin, M. Yu. Markina  
P.P.Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*asevovan@gmail.com*

Ключевые слова: *потоки плотности, взаимодействие океана и атмосферы, трансформация водных масс*

Keywords: *Density fluxes, ocean-atmosphere interaction, water mass transformation*

Трансформация вод на поверхности океана происходит под влиянием процессов тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой. Изменение плотности вод на поверхности океана приводит к формированию конвекции, что в конечном итоге связано с глобальной циркуляцией вод в океане и формированием водных масс в отдельных районах Мирового океана.

В данной работе трансформация вод характеризуется потоком плотности [7] (величиной, обратной потоку плавучести). Согласно уравнению состояния морской воды, плотность вод изначально нелинейно зависит от солёности. Итоговое значение трансформации определяется с помощью производных плотности, а также коэффициентов термического расширения и солёностного сжатия (определяемых с учетом текущей плотности). Таким образом, трансформация вод крайне нелинейно зависит от солёности.

В данной работе сезонная изменчивость трансформации поверхностных вод в Мировом океане под влиянием потоков на границе океан-атмосфера исследуется на основе данных реанализа NCEP CFSv2 [6] на примере 2015 года. Оценки пространственного распределения потоков плотности показывают, что в зимнее время максимальные положительные значения потока плотности составляют около  $4,5 \cdot 10^{-5}$  кг/(м<sup>2</sup>·с) и лежат в областях западных пограничных течений, которые отдают тепло в атмосферу, и потоки явного тепла здесь минимальны. Минимальные значения потока плотности зимой достигают  $-1,7 \cdot 10^{-5}$  кг/(м<sup>2</sup>·с), где они приурочены к тропическим областям южного полушария с максимальными значениями потоков коротковолновой радиации на поверхности океана.

В работе проводится оценка вклада термической (влияние результирующего потока тепла между океаном и атмосферой) и солёностной (разница между осадками и испарением) составляющих в изменение плавучести на поверхности океана. Показано, что в глобальном масштабе величины потоков плотности определяются в основном термической составляющей, в то время как влияние солёностной составляющей носит локальный характер.

В работе проводится оценка влияния пространственного и временного разрешения данных о солёности на общее значение солёностной составляющей потока. Наиболее значимое влияние высокого временного разрешения солёности наблюдается в областях с высоким испарением.

Проводится сравнение данных о солёности из различных источников: реанализа CFSv2, спутниковых данных, миссии ARGO [5], реанализа Gloys [1]. При использовании данных SMOS [2] и Aquarius [5] влияние солёности на итоговое значение потока плотности наиболее заметно и составляет около 5%, наибольшие различия наблюдаются в прибрежных и приполярных акваториях.

*Работа выполнена при поддержке гранта министерства образования и науки № 14.616.21.0075, уникальный идентификатор проекта RFMEFI61617X0075.*

Литература

1. Ferry N. et al. GLORYS2V1 global ocean reanalysis of the altimetric era (1992–2009) at meso scale // Mercator Ocean–Quarterly Newsletter. 2012. V. 44.
2. Font J. et al. SMOS: The challenging sea surface salinity measurement from space // Proc. IEEE. 2010. V. 98. №. 5. pp. 649-665.
3. Gulev S.K. et al. Impact of spatial resolution on simulated surface water mass transformations in the Atlantic // Ocean Modelling. 2007. V. 19. №. 3-4. pp. 138-160.
4. Koblinsky C.J., Smith N.R. (ed.) Observing the Oceans in the 21st Century // Bureau of Meteorology, 2001.
5. Le Vine D.M. et al. Aquarius: An instrument to monitor sea surface salinity from space // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2007. V. 45. №. 7. pp. 2040-2050.
6. Saha S. et al. The NCEP climate forecast system version 2 // J. Climate. 2014. V. 27. №. 6. pp. 2185-2208.
7. Walin G.S. On the relation between sea-surface heat flow and thermal circulation in the ocean // Tellus. 1982. V. 34. №. 2. pp. 187-195.

# ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ОТКРЫТОГО ОКЕАНА ПО ГЛУБОКОВОДНЫМ ДАТЧИКАМ ПРИДОННОГО ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

М. Е. Куликов, И. П. Медведев, Е. А. Куликов  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

STUDY OF PECULIARITIES OF OSCILLATIONS OF THE OPEN OCEAN LEVEL BASED ON THE DEEP-SEA SENSORS OF BOTTOM HYDROSTATIC PRESSURE

M. E. Kulikov, I. P. Medvedev, E. A. Kulikov  
M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

*meksonesk@gmail.com*

Ключевые слова: *придонное гидростатического давление, длинные волны, Тихий океан, приливы.*

Keywords: *Sensors of hydrostatic bottom pressure, long waves, Pacific Ocean, equatorial waves.*

В данном исследовании по глубоководным датчикам придонного гидростатического давления были изучены особенности колебаний уровня открытого океана. Используемые в настоящем исследовании данные представляют собой массив ежечасных измерений придонного гидростатического давления на 10 глубоководных станциях в центральной части Тихого океана, собранные на портале PSMSL. Данные наблюдений по этим станциям - это относительно непрерывные ряды разной продолжительности и качества с периодом временного покрытия с 2001 по 2014 гг.

В широком диапазоне частот колебания гидростатического давления на не обуславливаются преимущественно смещениями свободной поверхности океана с учетом изменений атмосферного давления. Таким образом, регистрируются отклонения уровня от равновесного  $h = z + DP_a / rg$ , где  $z$  - смещение свободной поверхности океана,  $P_a$  - изменение атмосферного давления,  $r$  - плотность воды,  $g$  - ускорение свободного падения. Влияние бароклинности в записях давления (неконтролируемая погрешность измерения колебаний уровня вследствие изменений гидростатического давления, связанных с флуктуациями плотности воды) при этом невелико, по оценке [2],  $10^{-4}$  -  $10^{-5}$ . Можно с большой долей уверенности считать, что колебания придонного гидростатического давления фактически отображают только баротропную составляющую изменений уровня океана.

Первичный статистический анализ данных показал, что приливные колебания составляют до 95-98% от общей энергии (дисперсии) изменчивости уровня открытого океана. При помощи гармонического анализа приливов были оценены основные суточные, полусуточные и долгопериодные приливные гармоники и рассчитаны приливные колебания уровня океана. Основной вклад в дисперию неприливных колебаний уровня океана вносит низкочастотная изменчивость уровня моря, связанная с долгопериодными длинными волнами [1]. Их возбуждение в океане связано с силами, воздействующими на его поверхность - переменным атмосферным давлением и напряжением ветра.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 14-50-00095), ФАНО России (тема № 01492018-0015) и РФФИ (гранты № 17-05-41144, № 18-05-60250).*

## Литература

1. Ефимов В.В., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Файн И.В. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 280 с.
2. Wunsch C. Bermuda sea-level in relation to tides, weather and baroclinic fluctuations // Rev. Geophys. Space Phys. 1972. V. 10. № 1. pp. 1-49.



# МОДЕЛИРОВАНИЕ ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

М. Е. Куликов, В. С. Архипкин, И. П. Медведев, А. Т. Кондрин  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

MODELING STORM SURGES IN THE SEAS OF THE RUSSIAN ARCTIC

M. E. Kulikov, V. S. Arkhipkin, I. P. Medvedev, A. T. Kondrin  
M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

*meksonesk@gmail.com*

Ключевые слова: *штормовые нагоны, модель ADCIRC, реанализ NCEP/CFSR, Арктика, численное моделирование, восточный сектор Арктики.*

Keywords: *Storm surges, the ADCIRC model, NCEP/CFSR reanalysis, the Arctic, numerical modeling, the eastern sector of the Arctic.*

Изучение нагонов на побережье российской Арктики имеет важное научно-практическое значение. Штормовые нагоны, приводящие резким подъемам уровня моря, зачастую становятся препятствием для строительства на шельфе и берегах арктических морей. Также их прогноз важен для судоходства, морской навигации, которая в последние годы усиливается в связи с экономическим освоением арктических акваторий.

В [1] по результатам численного моделирования были исследованы синоптические ситуации, приводящие к возникновению нагонов в Белом и Баренцевом морях и дана оценка сезонной и межгодовой изменчивости их возникновения. Также в этой работе авторами был оценен вклад ветра, атмосферного давления и ветрового волнения в формирование нагона и вычислены экстремальные значения высоты нагонов, возможные раз в сто лет. К сожалению, для морей восточного сектора Арктики [2] подобные оценки отсутствуют и имеются лишь описания отдельных экстремальных нагонов [3]. Данная работа призвана заполнить этот пробел и получить подробную статистику пространственных и временных особенностей штормовых нагонов в акватории морей восточного сектора Арктики.

Вместе с тем показаны условия формирования нагонов на основе атмосферного реанализа, что может быть полезно для их прогнозирования в морях Арктики. Здесь были рассмотрены синоптические ситуации и типичные сценарии при которых формируются штормовые нагоны в том или ином месте. Уделяется внимание и взаимодействию нагонов с ледовым покровом и фазой прилива, которые могут нелинейно изменять его величину. В работе приводится также оценка сезонной и многолетней изменчивости количества нагонов и их характеристик, что может быть также интересно с практической точки зрения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (грант № 14-50-00095), ФАНО России (тема № 01492018-0015) и РФФИ (гранты № 17-05-41144, № 18-05-60250).*

## Литература

1. Кораблина А. Д., Кондрин А. Т., Архипкин В. С. Моделирование нагонов в Белом и Баренцевом морях за период 1979-2015 гг. // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2017. №. 364. С. 144-158.
2. Куликов М.Е., Кондрин А.Т., Куликов Е.А., Медведев И.П. Сезонная и многолетняя изменчивость приливных и сгонно-нагонных колебаний уровня морей российской Арктики // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых. 2017. С. 140-143.
3. Советская Арктика. Моря и острова Северного Ледовитого океана. Под ред. И.П. Герасимова. М.: Наука, 1970. 525 с.
4. Luettich R.A., Westerink J.J. Formulation and numerical implementation of the 2D/3D ADCIRC finite element model version 44. XX. R. Luettich, 2004. pp. 74.

## ОЦЕНКА ЦУНАМИОПАСНОСТИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Е. А. Куликов, А. Ю. Медведева, А. А. Иванова, А. И. Иващенко, И. П. ЁКузин, А. Е. Куликов,  
И. П. Медведев, О. И. Яковенко

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

THE TSUNAMI RISK ASSESMENT ON THE COAST OF THE CASPIAN SEA BASED ON THE  
DETERMINISTIC APPROACH

E. Kulikov, A. Medvedeva, A. Ivanova, A. Ivashchenko, I. Kuzin, A. Kulikov, I. Medvedev, O. Yakovenko  
P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*alisa.bannikova@gmail.com*

Ключевые слова: *цунами, цунамиопасность, сейсмичность, численное моделирование, Каспийское море, сейсмический источник, TUNAMI, детерминистский подход.*

Keywords: *tsunami, tsunami hazard, seismicity, numerical modeling, Caspian Sea, seismic source, TUNAMI, deterministic approach.*

Тяжелые последствия экологических катастроф последних лет, таких как авария в Мексиканском заливе на буровой платформе «Deepwater Horizon» в 2010 г. и разрушение реактора на АЭС «Фукусима» в Японии, вызванное волнами цунами 2011 г., показали необходимость повышения требований по безопасности к строительству объектов морских нефтегазодобывающих комплексов, атомных энергетических установок и др. элементов прибрежной промышленно-инфраструктуры. Каспийское море является бассейном интенсивного промышленного освоения, включая нефтедобычу, рыболовство и транспорт. Учитывая высокую плотность населения морского побережья, а также чувствительность биоты Каспия, представляется актуальным пересмотреть имеющиеся оценки опасности цунами с учетом уроков событий последних лет.

Современные методы оценки цунамиопасности включают два основных подхода «детерминистский» и «вероятностный». Детерминистский метод основан на численном моделировании отдельных событий цунами сейсмического происхождения для выявления «наихудшего» сценария. Вероятностный подход, который получил широкое распространение в XXI веке, вбирает в себя самые разные методологии: разработку сценариев; статистический анализ исторических землетрясений и цунами; численное моделирование виртуальных источников цунами различной природы; байесовский подход к оценке параметров, характеризующих опасность, и т.д. [1]. Этот метод позволяет изучить относительный вклад больших и малых событий в общую оценку цунамиопасности.

Каспийское море относится к региону с умеренной цунамиопасностью [2]. Наиболее вероятной зоной возникновения цунами является район Апшеронского порога, где отмечается максимальный уровень сейсмичности. По оценке [2] высоты волн могут достигать 10 м на различных участках побережья, при этом цунами с высотой до 3 м могут возникнуть в Каспийском море с периодом повторяемости 200 лет. По историческим данным, можно заключить, что цунами имели место в Каспийском море и были сгенерированы как источниками, располагавшимися на суше, так и в море. Таким образом, нельзя исключать их появления и в будущем. Также опасность цунами для региона помимо угрозы жизням людей, заключается в возможных авариях на атомной энергетической установке (АЭУ), расположенной на восточном побережье в районе Актау, а также на нефтедобывающих платформах.

В данной работе в рамках детерминистского подхода были разработаны сценарии «наихудших» событий, приводящих к экстремальным волнам цунами на отдельных участках побережья. Для оценки параметров источника применяется сеймотектоническая модель разрыва конечных размеров, которая в настоящее время широко используется в сейсмологии для определения величины смещений вдоль плоскости разрыва в очаге землетрясения. В свою очередь, эти смещения пересчитываются в смещения дна океана на основе формул, вытекающих из теории дислокаций в однородном изотропном упругом полупространстве [3]. Параметры модели включают в себя сейсмический момент очага землетрясения

и геометрию очага (глубину очага, размеры площадки разрыва в очаге, углы ее простирания и падения, угол скольжения и величина относительной подвижки бортов разлома). Рассчитанные остаточные смещения морского дна переносятся на поверхность воды и определяют начальные условия в задаче Коши.

В настоящей работе использовалась модификация известной численной модели распространения волн цунами в океане TUNAMI [4], в которой была реализована конечно-разностная аппроксимация уравнений мелкой воды [5]. Расчет образования и распространения волн цунами происходит в рамках решения задачи Коши, т.е. предполагается, что в начальный момент  $t = 0$  жидкость находится в состоянии покоя, и задано начальное отклонение свободной поверхности океана. Чтобы исключить в расчетах искусственную численную диссипацию, в модели использовалась линейаризованная версия уравнений мелкой воды, соответствующее конечно-разностное приближение консервативно. Область расчета для численного моделирования распространения цунами была выбрана в виде прямоугольника с разрешением  $507 \times 659$  узлов с шагом  $\Delta x = \Delta y = 1'$ . Шаг по времени при численном моделировании выбирался равным трети величины, задаваемой условием устойчивости Куранта численной схемы. Для аппроксимации батиметрии использовался массив глубин GEBCO с разрешением  $0.5'$ . В качестве источников генерации цунами были выбраны сильнейшие исторические землетрясения за период инструментальных наблюдений (1918–2017 гг.) в Каспийском регионе с магнитудой  $M_w \geq 6.5$  по данным новейшего глобального каталога ISC-GEM, а также наиболее сильные исторические события из литературных источников (см. [2]). В том числе было проведено численное моделирование распространения цунами, вызванного самым сильным известным историческим землетрясением в этом регионе, которое произошло 8 июля 1895 г. вблизи Красноводска и имело магнитуду  $M_w = 8.2$ . По сведениям очевидцев, это землетрясение сопровождалось затоплением берега моря.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 14-50-00095), РФФИ (проект № 18-05-01018) и в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0015).*

### Литература

1. Grezio A., Tonini R., Sandri L., Pierdominici S., Selva J. A methodology for a comprehensive Probabilistic Tsunami Hazard Assessment: Multiple sources and short-term interactions // J. Mar. Sci. Eng. 2015. V. 3. P. 23-51.
2. Куликов Е.А., Кузин И.П., Яковенко О.И. Цунами в центральной части Каспийского моря // Океанология. 2014. Т. 54. № 4. С. 473–483. doi: 10.1134/S0001437014030060.
3. Okada Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // Bull. Seism. Soc. Am. 1985. V. 75. pp. 1135–1154.
4. Imamura F. Review of Tsunami Simulation with a Finite Difference Method // Long-Wave Runup Models / Ed. H. Yeh, P. Liu, C. Synolakis. NY: World Scientific, River Edge, 2004. pp. 43–87.
5. Fine I.V., Kulikov E.A., Cherniawsky J.Y. Japan's 2011 Tsunami: characteristics of wave propagation from observations and numerical modelling // Pure and Appl. Geophys. 2013. V. 170. pp. 1295–1307.

# ВЛИЯНИЕ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ И СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СТРАТИФИКАЦИИ НА ДИНАМИКУ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ОХОТСКОМ МОРЕ

О. Е. Куркина, Е. А. Рувинская, А. А. Куркин, А. Р. Гиниятуллин, М. В. Кокоулина  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород

THE INFLUENCE OF EARTH'S ROTATION AND SEASONAL CHANGES OF DENSITY STRATIFICATION ON THE DYNAMICS OF INTERNAL WAVES IN THE SEA OF OKHOTSK

O. E. Kurkina, E. A. Ruvinskaya, A. A. Kurkin, A. R. Giniyatullin, M. V. Kokoulina  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

*kokoulinamaria97@gmail.com*

Ключевые слова: *уравнение Гарднера-Островского, параметр Кориолиса, атлас нелинейных и кинематических характеристик внутренних волн.*

Keywords: *Gardner-Ostrovsky equation, solitary waves, Sea of Okhotsk.*

В рамках настоящей работы на основании выходных данных модели GDEM для Охотского моря построен атлас параметров для слабонелинейного уравнения Гарднера-Островского, используемого для моделирования динамики длинных короткопериодных внутренних волн в горизонтально неоднородном бассейне с учетом вращения Земли. Проанализированы полученные характеристики для волн первой и второй моды. Целью настоящей работы было решение проблемы пересчета начальных гидрологических данных (температуры, солёности) непосредственно в кинематические и нелинейные характеристики длинных внутренних гравитационных волн, которые в дальнейшем могли бы использоваться для моделирования динамики таких волн в рамках уравнения Гарднера - Островского с переменными коэффициентами (то есть, для горизонтально-неоднородной вращающейся среды). Преданализ полученных параметров позволяет определять полярности внутренних уединенных волн первой и второй моды, а также возможность генерации бризероподобных внутренних волн обеих мод. На основании полученных результатов выполнено исследование дегенерации приливной волны над неоднородным дном в рамках уравнения Гарднера-Островского для условий Охотского моря. Выбранный для моделирования «разрез» расположен в зоне добычи углеводородов на шельфе. Показано, что волновое поле существенно зависит от сезона (зима-лето). Обнаружено, что амплитуда генерируемых одиночных волн варьирует от 10 до 25 м, а иногда в пикноклине формируются кинки с высотой до 70 м. Также обсуждается структура поля придонной скорости, индуцированной внутренними волнами большой амплитуды. Показано, что возникающие скорости способны обеспечить транспорт донных осадков. Оценка расстояния переноса осадка также дается для нескольких участков восточного шельфа о. Сахалин по результатам моделирования генерации и распространения внутренних волн в рамках полных нелинейных негидростатических уравнений невязкого несжимаемой стратифицированной среды.

*Грант Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ (НШ-2685.2018.5) и молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-1124.2018.5).*

# ПОДСТРОЙКА СХЕМЫ НЕЛИНЕЙНОСТИ DISCRETE INTERACTION APPROXIMATION (DIA) МОДЕЛИ WAVEWATCH III К УСЛОВИЯМ ВНУТРЕННЕГО ВОДОЕМА СРЕДНИХ РАЗМЕРОВ

А. М. Кузнецова, А. С. Досаев, Г. А. Байдаков, Г. Н. Баландина, Д. А. Сергеев, Ю. И. Троицкая  
Институт Прикладной Физики РАН, Нижний Новгород

ADJUSTING OF THE DISCRETE INTERACTION APPROXIMATION (DIA) NONLINEAR SOURCE TERM IN WAVEWATCH III MODEL TO THE CONDITIONS OF THE MIDDLE-SIZED RESERVOIR

A. M. Kuznetsova, A. S. Dosaev, G. A. Baydakov, G. N. Balandina, D. A. Sergeev, Yu. I. Troitskaya  
Institute of Applied Physics of the RAS, Nizhny Novgorod

*umnyaginaam@yandex.ru*

Ключевые слова: *WAVEWATCH III, нелинейность, DIA, внутренний водоем.*

Keywords: *WAVEWATCH III, nonlinearity, DIA, reservoir.*

На сегодняшний день метеорологическими службами производится регулярный расчет гидрологической и метеорологической обстановки морей и океанов с использованием моделей численного прогноза. Однако при моделировании ветра и волнения на акватории внутренних водоемов остается ряд проблем, так как условия внутреннего водоема обладают особенностями, которые необходимо учитывать при составлении прогнозов ветра и волнения. В их числе малые разгоны ветра, более интенсивная ветровая накачка, сильная нелинейность и учет влияния берега.

Было предложено адаптировать уже имеющиеся глобальные волновые модели, например, WAVEWATCH III (WW3) [1], ориентированные, прежде всего, на океанские условия, к условиям внутренних водоемов. В предыдущих работах мы описывали адаптацию модели WW3 к условиям внутреннего водоема средних размеров на основе данных натурального эксперимента, в работах [2, 3] была осуществлена подстройка члена, отвечающего за ветроволновое взаимодействие, за счет изменения параметризации коэффициента аэродинамического сопротивления  $C_D$  и был заявлен второй этап подстройки, касающийся подстройки члена, отвечающего за нелинейность.

Для использования WW3 в открытом программном коде было изменено минимальное значение высоты значительных волн  $H_s$ . Моделирование проводилось для условий Горьковского водохранилища. Для описания подстилающей поверхности осуществлено извлечение географических данных GMTED2010 формата GEOTIFF с разрешением 250 м (рис. 5.10). Рассмотрено приближение глубокой воды. По заданным топографическим данным, данным о скорости и направлении ветра, разнице температур вода-воздух моделировалось волнение в водохранилище при заданном Гауссовом начальном возмущении. Для ряда выходных данных (одномерные спектры возвышений, высоты значительных волн, средневзвешенный период волнения) проводилось сравнение с данными серии натуральных экспериментов [4], из которой были отобраны данные за 12 дней измерений, имеющие суммарную продолжительность 47 часов в интервале скоростей ветра  $U_{10} = 0.5 - 12.5$  м/с, параметров волн  $H_s = 0.05 - 0.45$  м,  $T_s = 0.5 - 2.8$  с.

Были апробированы все параметризации расчета нелинейного взаимодействия волн, представленные в модели WW3 v.5.16, в применении к внутреннему водоему средних размеров. Показана неэффективность схем расчета нелинейности. Было предложено подстроить схему нелинейности DIA (Discrete Interaction Approximation) за счет подбора «оптимальных» параметров, определяющих данную параметризацию. Подбор параметров DIA производится отдельно для каждой параметризации ветроволнового взаимодействия, представленной в WW3, например, для параметризации WAM3 [5, 6] эти параметры представлены парой  $C_n l = 2.78 \cdot 10^7$ ,  $\lambda = 0.25$ , для Zieger et al [7, 8] - парой  $C_n l = 3 \cdot 10^7$ ,  $\lambda = 0.25$ . Таким образом, после изменения параметризации ветроволнового взаимодействия [2] необходимо подстроить и схему DIA, подобрав пару параметров, наилучшим образом обеспечивающую соответствие натурным данным. Для поиска комбинации оптимальных параметров схемы нелинейности DIA  $\lambda_n l$  и  $C$  было проведено моделирование при подключении параметризации Zieger et al с

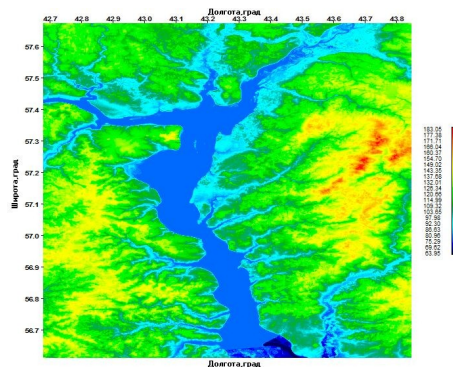
измененным  $C_D$  [3], произведено более 15000 запусков модели WW3. В результате получено распределение среднеквадратичного отклонения расчетных значений параметров волнения  $H_s$  (значительные высоты волн) и  $T_s$  (средние периоды волн) от экспериментальных данных (рис. 5.11). В области пересечения двух областей минимальных значений отклонений на каждом из распределений выбрана точка, отвечающая «оптимальному» набору параметров DIA. Показано улучшение расчета модели в условиях внутреннего водоема.

Полученная подстройка схемы нелинейности DIA представлена подбором «оптимальных» параметров на основе сравнения с данными серии натуральных экспериментов, проводимых на исследуемом водоеме. Для подтверждения универсальности данной подстройки требуется провести расчеты на акватории других водоемов средних размеров. Однако можно ожидать, что поведение модифицированной WW3 будет лучше соответствовать реальному волнению, чем WW3 с встроенными параметризациями, ориентированными на морские или океанские условия, что наблюдалось для условий исследуемого Горьковского водохранилища.

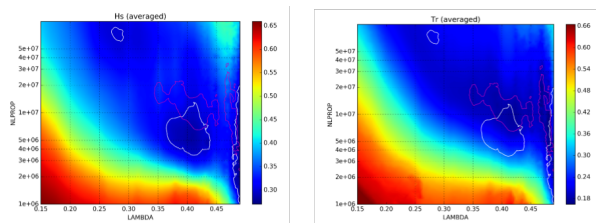
*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проекты 17-05-41117 и 18-05-00292). Натурные измерения проведены при поддержке РФФ (проект 15-17-20009).*

### Литература

1. The WAVEWATCH III Development Group (WW3DG), 2016: Us. man. and sys. doc. of WAVEWATCH III v. 5.16. Tech. Note 329, NOAA/NWS/NCEP/MMAB, USA, 326 pp. + App
2. Kuznetsova A.M. et al. Adjusting of wind input source term in WAVEWATCH III model for the middle-sized water body on the basis of the field experiment // Adv. in Met. V. 1. ID 574602. 2016.
3. Kuznetsova A.M. et al. Натурные исследования и численное моделирование ветра и поверхностных волн на внутренних водоемах средних размеров // Метеорология и гидрология. 2016. №2. с. 85-97.
4. Kuznetsova A.M. et al. Field and numerical study of the wind-wave regime on the Gorky Reservoir // GSE. 2016. V. 9. № 2.
5. Snyder R.L. et al. Array measurements of atmospheric pressure fluctuations above surface gravity waves // J. Fluid Mech. 1981. V. 102. pp. 1-59.
6. Wu J. Wind-stress coefficients over sea surface from breeze to hurricane // J. Geophys. Res. 1982. V. 87. pp. 9704-9706.
7. Babanin, A. V. et al. Wave-follower field measurements of the wind-input spectral function. Part iii: Parameterization of the wind-input enhancement due to wavebreaking // J.Phys. Oceanogr. 2007. V. 37. pp. 2764-2775.
8. Hwang P.A. A note on the ocean surface roughness spectrum // J. Atmos. Oceanic Techn. 2010. V. 28. pp. 436-443.



**Рис. 5.10:** Карта Горьковского водохранилища (данные GMTEd2010).



**Рис. 5.11:** Распределение среднеквадратичного отклонения значений расчетных данных от данных натурального эксперимента для а) значительных высот волн  $H_s$ , б) средних периодов волн  $T_m$ .

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДРЕЙФА ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПО СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

М.А. Липатов

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

DETERMINATION OF THE SEA ICE DRIFT IN ARCTIC OCEAN BY SATELLITE INFORMATION

M.A. Lipatov

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

*maksimeskoo@gmail.com*

Ключевые слова: *Северный Ледовитый океан, дрейф льда, спутниковая информация.*

Keywords: *Arctic Ocean, ice drift, satellite information.*

В работе анализируются основные статистические характеристики дрейфа ледяного покрова в Северном Ледовитом океане на основе спутниковой информации базы данных "Polar Pathfinder" за 1978-2017 гг. [4].

Главная особенность Северного Ледовитого океана состоит в том, что большую часть года в нем наблюдается лед. Многие годы наблюдение за дрейфом ледяного покрова происходило инструментальными методами. Развитие науки и техники позволило в 1957 г. запустить первый искусственный спутник Земли. Спутниковые данные для картирования льдов начали применять с 1970-х гг., когда были запущены первые метеорологические спутники. Спутниковые методики картирования льдов развивались на основе использования авиационных методов, как визуальных, так и инструментальных [2]. Целью данной работы является получение статистических характеристик дрейфа ледяного покрова и дальнейшая верификация данных инструментальных наблюдений на основе спутниковой информации.

В работе использовались спутниковые данные по дрейфу ледяного покрова из базы данных Polar Pathfinder. Она включает информацию с многоканальных микроволновых радиометров SMMR, SSM/I, SSMIS за 1978-2017 гг. Временное разрешение - 1 день. Пространственное разрешение 25 x 25 км. Формат данных - бинарный. Массив содержит горизонтальную (U) и вертикальную (V) компоненты вектора дрейфа ледяного покрова, определенные относительно сетки. Положительная горизонтальная компонента вектора направлена слева-направо, а положительная вертикальная - снизу-вверх.

Дрейф - векторная величина, и поэтому нельзя пользоваться методами для обработки скалярных величин. Для нахождения статистических характеристик дрейфа ледяного покрова за основу был взят метод векторно-алгебраического анализа [1, 3]. Все расчеты, преобразования и визуализация данных были произведены с помощью "MatLab". В работе рассчитаны такие характеристики дрейфа ледяного покрова, как: средний дрейф, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, коэффициенты сплюснутости и вариации по формулам из [1].

Средний дрейф ледяного покрова в морях Арктики соответствует ранее известной картине генерального дрейфа льда в Северном Ледовитом океане (рис. 5.12). В амеразийском бассейне наблюдается антициклонический круговорот (максимальные значения среднего дрейфа 4-6 см/с), также наблюдается характерный вынос льдов через пролив Фрама (до 9 см/с).

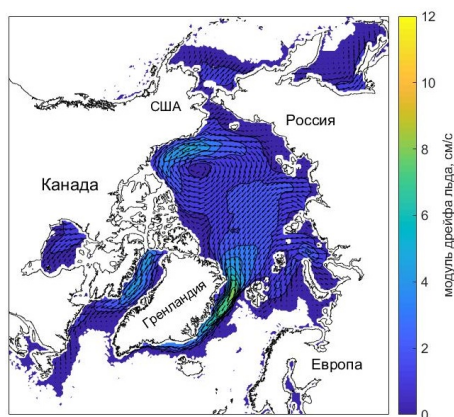
Наибольшая изменчивость дрейфа ледяного покрова (большая ось эллипса среднеквадратического отклонения - более 10 см/с) отмечается в проливе Фрама, в прикормочной области Баренцева моря и в море Бофорта. В центральной части океана и в шельфовых морях России наблюдаются практически круговые эллипсы с коэффициентом сжатия более 0.8. В проливе Фрама и в море Баффина соотношение малой и большой осей эллипсов среднеквадратического отклонения менее 0.5.

На всей акватории океана дисперсия более чем в 2 раза отличается от модуля дрейфа и только в проливе Фрама коэффициент вариации дрейфа ледяного покрова близок к единице.



### Литература

1. Бельшева А.П., Клеванцова Ю.П., Рожкова В.А. Вероятностный анализ морских течений. Л.: Гидрометиздат, 1983. 264 с.
2. Бушуев А.В., Лоцилов В.С. Развитие методики и алгоритма классификации морских льдов по толщине на спутниковых инфракрасных изображениях. СПб.: ААНИИ.
3. Иванов Н.Е. О характеристиках корреляции скоростей ветра, морских течений и дрейфа льда // Метеорол. и гидрол. 2004. №8. С. 61-72.
4. Fowler C., Maslanik J., Emery W., Tschudi M. Polar Pathfinder Daily 25 km EASE-Grid Sea Ice Motion Vectors. Version 2. (indicate subset used). Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. 2013.



**Рис. 5.12:** Средний дрейф ледяного покрова в Северном Ледовитом океане с 2004 по 2014 гг., рассчитанный по информации базы данных Polar Pathfinder. Изолиниями обозначен модуль дрейфа ледяного покрова.

# ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРМОХАЛИННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ ПО ДАННЫМ БУЕВ ARGO ЗА 2005 – 2017 ГГ.

П. Н. Лишаев, А. А. Кубряков  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

CHANGES IN THE THERMOHALINE CHARACTERISTICS OF THE NORTH ATLANTIC ACCORDING TO ARGO BUOYS DATA FOR 2005 - 2017

P. N. Lishaev, A. A. Kubryakov  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*pavellish@mail.ru*

Ключевые слова: *буи профиломеры Argo, альтиметрия, Атлантический океан, температура, соленость.*

Keywords: *Argo buoys, altimetry, Atlantic Ocean, temperature, salinity.*

Соленость является важным фактором в формировании глобального климата. Стратификация вод в значительной степени влияет на количественные характеристики численности и распределения фитопланктона. Изменения в балансе соли Северной Атлантики были описаны в ряде работ [1, 2]. Однако, в данных работах не было описано последовательное распреснение за последние десятилетия. Измерения буями-профиломерами Argo проводятся с начала 2000-х годов по настоящее время.

Использование измерений Argo [3], альтиметрических наблюдений [4], а также новых данных о поверхностной солености SMAP-SSS [5] (данные с апреля 2015 г.), позволили показать распреснение вод исследуемого региона и дать оценку величин линейных трендов солености за последнее десятилетие. В данной работе на основе данных буев профиломеров Argo [3] и альтиметрических наблюдений [4, 5] за 2005 - 2017 гг. исследована пространственная, сезонная и межгодовая изменчивость температуры, солености и поверхностных течений Северной части Атлантического океана.

Выполнена оценка характеристик линейных трендов долгопериодной изменчивости температуры и солености Северной Атлантики на горизонтах в слое 0 - 1000 м. Во всей толще рассматриваемого слоя наблюдается распреснение вод. В изменчивости температуры также отмечается отрицательный линейный тренд. Однако пространственное распределение трендов долгопериодной изменчивости температуры и солености выглядят достаточно сложно. Для температуры на горизонтах слоя 0 - 300 м можно выделить три области: северная и южная части рассматриваемого бассейна - здесь отмечаются отрицательные значения трендов; центральная - с положительными величинами. Пространственное распределение характеристик линейных трендов по данным о солености показал следующее. На горизонтах слоя 50 - 500 м отмечается распреснение вдоль струи Гольфстрима. Положительные значения трендов соответствуют более низким широтам.

Выполнена сравнительная оценка влияния различных параметров (осадки, испарение, течения и др.) на долговременную изменчивость солености Северной Атлантики. По данным альтиметрических наблюдения были рассчитаны геострофические скорости, анализ которых показал смещение течения Гольфстрим на юг.

*Обработка данных выполнена в рамках государственного задания по теме 0827-2018-0002 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений»; исследование связи между соленостью и динамикой вод поддержано грантом РФФИ № 16-05-00714\_а.*

## Литература

1. Dickson B., Yashayaev I., Meincke J., Turrell B., Dye S., Holfort J. Rapid freshening of the deep North Atlantic Ocean over the past four decades // Nature. 2002. V. 416. pp. 832-837. doi:10.1038/416832a

2. Boyer T.P., Levitus S., Antonov J.I., Locarnini R.A., Garcia H.E. Linear trends in salinity for the World Ocean, 1955 - 1998 // *Geophys. Res. Lett.* 2005. V. 32. L01604. doi:10.1029/2004GL021791
3. <http://www.argo.ucsd.edu/>
4. AVISO+ <http://www.argo.ucsd.edu/>
5. <https://podaac.jpl.nasa.gov/SMAP>

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАСТУПЛЕНИЯ СОБЫТИЙ ЭЛЬ-НИНЬО

А. С. Лубков, Е. Н. Воскресенская, О. В. Марчукова  
ФБГНУ «Институт природно-технических систем», Севастополь

## FORECASTING THE EVENTS OF EL NINO

A.S. Lubkov, E.N. Voskresenskaya, O.V. Marchukova  
Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol

*andrey-ls2015@yandex.ru*

Ключевые слова: *Эль-Ниньо, ЭНЮК, прогноз, система океан-атмосфера.*

Keywords: *El Niño, ENSO, forecast, ocean-atmosphere system.*

Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК), – основной климатический сигнал системы океан-атмосфера, обуславливающий глобальную межгодовую изменчивость [1]. Он локализуется в экваториальной зоне Тихого океана, однако проявления этого сигнала отмечаются в аномалиях погоды и климата, вплоть до экстремальных, не только над тропической зоной Тихого океана, но и во внетропических широтах посредством дальнедействующих связей системы океан-атмосфера [2]. В этой связи мировое научное сообщество заинтересовано в возможности прогнозирования экстремальных аномалий ЭНЮК. ЭНЮК имеет два крайних эпизода существования – теплый (Эль-Ниньо) и холодный (Ла-Нинья). В этой работе речь пойдет о прогнозировании событий Эль-Ниньо.

Эль-Ниньо характеризуется переносом теплых вод из западной акватории Тихого океана в восточную, выравниванием термоклина у берегов Южной Америки и смещением центров действия атмосферы на экваторе [3]. В последние два десятилетия были разработаны различные крупномасштабные климатические модели [5] для изучения и прогнозирования квазициклического феномена Эль-Ниньо. Они хорошо справляются с воспроизведением динамики развития уже начавшегося события. Однако прогнозирование начала события остается несовершенным. Проблема прогноза связана в первую очередь с тем, что механизм формирования Эль-Ниньо до сих пор остается неизученным.

Ранее в [4] предложен метод прогнозирования климатических рядов гидрофизических параметров на основе искусственных нейронных сетей (ИНС). Тогда в качестве входных данных успешно использовались индексы глобальных дльнедействующих климатических сигналов. Применяв успешный опыт выполненных прогнозов речного стока, температуры поверхности океана (ТПО), солёности и прозрачности, сделан вывод о том, что такой же подход может быть применен для моделирования начала явления Эль-Ниньо. Анализ выбранных для моделирования индексов даст возможность выдвинуть предположения о влиянии конкретных климатических сигналов на зарождение явления. В связи с чем, цель настоящей работы - проверить возможность применения модели на основе ИНС для прогнозирования начала явления Эль-иньо.

Для определения начала событий Эль-Ниньо использовался индекс *Nino 3.4*, представляющий собой аномалию ТПО в регионе *Nino 3.4*, расположенном в центре экваториальной части Тихого океана ( $5^\circ$  ю.ш. -  $5^\circ$  с.ш.,  $170^\circ$  -  $120^\circ$  з.д.). В качестве входных сигналов в ИНС использовались индексы дальнедействующих сигналов в системе океан-атмосфера за период 1950-2017 гг., которые были рассчитаны на основе пространственного корреляционного анализа, где анализировались поля коэффициента корреляции между индексом *Nino 3.4* и полями приземного давления и геопотенциала на изобарическом уровне 500мб с различным опережением. Данные о приземном давлении и геопотенциале взяты из массивов реанализа NCEP/NCAR с разрешением пространственной сетки  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  за период 1948-2017 гг. и 20CR с разрешением  $2^\circ \times 2^\circ$  и периодом 1870-1948 гг.

Для прогнозирования индекса *Nino 3.4* использовалась однонаправленная гетероассоциативная однослойная (один скрытый слой) ИНС с учителем. Нейроны входного, скрытого и выходного слоя представлены сигмоидальной биполярной функцией:  $f(x) = \tanh(\beta x)$ . Обучение модели проводилось на основе алгоритма обратного распространения ошибки. Адаптация модели включала три стадии: предварительная обработка, моделирование и заключительная обработка результатов [4].

Расчеты и анализ полученных результатов проводились для каждого месяца с использованием данных NCEP/NCAR. Были выбраны обучающая (1958-1987 гг.), тестовая (1988-2016 гг.) и контрольная (1949-1958 гг.) выборки. Несмотря на сравнительно короткие ряды этой выборки, для каждого моделируемого месяца были проанализированы коэф. корреляции между рассчитанным рядом и индексом, среднеквадратическое отклонение (СКО) моделируемых значений относительно наблюдаемых. Последнее было нормировано на СКО непосредственно самого ряда наблюдаемого индекса.

Результаты. При заблаговременности прогноза до 6 месяцев качество моделирования достаточно высокое. При увеличении заблаговременности прогноза, наблюдается резкое уменьшение корреляции и рост отношений СКО.

Выполнялась дополнительная независимая проверка модели на основе базы данных реанализа 20CR за период 1870-1948 гг. для мая с заблаговременностью прогноза – 4 месяца. По результатам проерки 5 из 6 событий Эль-Ниньо, которые начинались в выбранный период в мае были предсказаны.

В итоге выполнения настоящей работы получен прогноз индекса *Nino 3.4*, по результатам которого наблюдалась возможное развитие Ла-нинья в осенние и зимние месяцы, которое в действительности началось в ноябре 2017 г., но средняя величина выполненного прогноза была несколько ниже пороговых значений. В мае и июне прогностический индекс начинает расти, что может быть предпосылкой к началу события Эль-Ниньо, однако, качество прогноза с такой заблаговременностью отмечено как низкое.

*Работа выполнена частично при финансовой поддержке грантов РФФИ: проект № 18-35-00325-мол\_а и проект № 16-05-00231-А.*

### Литература

1. Enfield D., Mestas-Nunez A.M. Multiscale variability in global SST and their relationships with tropospheric climate pattern // J. Climate. 1999. V. 12(9). pp. 2719–2733.
2. McPhaden M.J., Zebiak S.E. Glantz M.H. ENSO as an integrating concept in Earth science // Science. 2006. V.314 (5806). pp. 1740–1745.
3. Rasmusson E.M., Wallace J.M. Meteorological aspects of El Niegno/Southern Oscillation // Science. 1983. № 222. pp. 1195–1202.
4. Lubkov A.S., Voskresenskaya E.N. Kukushkin A.S. Method for reconstructing the monthly mean water transparencies for the northwestern part of the Black Sea as an example // Atmos. Ocean Opt. 2016. 29: 457.
5. Glantz M.H. Shades of Chaos: Lessons Learned About Lessons Learned About Forecasting El Nino and Its Impacts. Int // J. Disaster Risk Sci. 2015. V. 6. pp. 94–103

## К ВОПРОСУ О ФИЗИЧЕСКОМ МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ДВУХ ТИПОВ ЛА-НИНЬЯ

О. В. Марчукова, Е. Н. Воскресенская, А. С. Лубков  
ФГБНУ «Институт природно-технических систем», Севастополь

REVISITING THE PHYSICAL MECHANISM OF TWO LA NINA TYPES

O. V. Marchukova, E. N. Voskresenskaya, A. S. Lubkov  
FSBSI «Institute of Natural and Technical Systems», Sevastopol

*olesjath@mail.ru*

Ключевые слова: *Ла-Нинья, Южное Колебание, Тихий океан, Пассаты, поверхностная температура воды, концентрация хлорофилла.*

Keywords: *La Nina, Southern Oscillation, Pacific Ocean, Trade winds, sea surface temperature, chlorophyll concentration.*

Работа посвящена изучению одного из важнейших глобальных климатических явлений в системе океан-атмосфера экваториальной зоны Тихого океана - событий Ла-Нинья. Так же, как и Эль-Ниньо, они ответственны за формирование экстремальных межгодовых аномалий климат и окружающей среды в разных регионах Земного шара. В результате, в одних регионах развиваются шторма, наводнения, холодные зимы, а в других - засухи и гибель сельскохозяйственных угодий [1]. Ла-Нинья характеризуются регулярным, с периодичностью 2-7 лет, экстремальным повышением приземного давления атмосферы в тропической части Тихого океана и понижением температуры его поверхности. Средняя продолжительность существования этих событий составляет 12 месяцев. Исследование в работе [2] показывает, что характер их проявлений различается в зависимости от особенностей самих событий. В статье [3] в зависимости от условий формирования максимально-отрицательных аномалий температуры воды в экваториальной части Тихого океана предложено события Ла-Нинья разделить на два типа. Эти типы получили названия Восточно-Тихоокеанский (ВТ) и Центрально-Тихоокеанский (ЦТ). Цель настоящей работы - выделить основные физические особенности формирования двух типов Ла-Нинья.

Для анализа указанных особенностей привлекались следующие наборы данных:

- среднемесячная температура поверхности океана (ТПО) из массива *HadISST* (<http://data.ceda.ac.uk/badc/ukmo-hadisst/data/sst/>) с 1870 по 2015 гг. в узлах пространственной сетки  $1^\circ \times 1^\circ$ ;
- среднемесячные поля скоростей и направлений течений на глубине 5 м из океанического реанализа *NCEP GODAS* (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.godas.html>) с 01/1981 по 12/2015 гг. на пространственной сетке  $1^\circ \times 1^\circ$ ;
- среднемесячная концентрация хлорофилла по спутниковым данным *SeaWiFS* ([https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/SeaWiFS\\_L3\\_CHLA\\_Monthly\\_9km\\_R?ids=&mp](https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/SeaWiFS_L3_CHLA_Monthly_9km_R?ids=&mp)) с 1998 по 2010 гг. с разрешением по пространству 9 км.

Дополнительно привлекались разные индексы взаимодействия атмосферы и океана: *Nino1+2*, *Nino3*, *Nino4*, *Nino3*, *SOI* ([https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos\\_wgsp/Timeseries/](https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/)), пассатные индексы, рассчитываемые для высоких слоев атмосферы *EP TWI*, *CP TWI*, *WP TWI* (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>) в трех районах Тихого океана - восточного, центрального и западно-экваториального. Из всех массивов данных исключена сезонная изменчивость и эффект глобального потепления.

Общезвестно, что резкие изменения характеристик пассатных ветров являются одной из причин формирования межгодовых аномалий ТПО в экваториальной зоне Тихого океана. Однако причины этих изменений до сих пор остаются дискуссионными. Наши расчеты показали, что отрицательная

корреляционная связь увеличивается при сдвиге на 3 месяца, если анализировать ряды индекса *Nino3.4* с индексами пассатных ветров. Исключение составляет лишь западный пассатный район. Это подтверждает роль пассатов в формировании холодных аномалий при Ла-Нинья. При этом, если рассматривать особенности изменения пассатных индексов, соответствующих разным типам Ла-Нинья, то получается следующее. Восточный тип характеризуется усилением Восточного экваториального пассата, в то время как Центральный тип - Центрально-Тихоокеанских ветров. Анализ ежемесячных карт аномалий ТПО и поверхностных течений по данным *HadISST* и *NCEP GODAS* навел на мысль о том, что при ЦТ типе холодная аномалия ТПО возможно образуется за счет формирования центрально-экваториального апвеллинга, поднимающего из глубин океана к поверхности более холодные и богатые биогенами воды. Для косвенного подтверждения высказанного предположения были привлечены карты среднемесячной концентрации хлорофилла «А», построенные по спутниковым данным 1998 по 2010 гг. В этот период произошло одно событие Ла-Нинья Восточного типа 2007 г и два события Центрального типа - 1998-99 и 2010 гг. Действительно, предположение оправдалось. Обнаружено, что летом, на стадии зарождения холодной аномалии ТПО при ЦТ типе концентрация хлорофилла увеличивается, подтверждая наличие в этот период процесса подъема к поверхности богатых биогенами холодных вод. В отличие от этого ВТ тип характеризуется усилением Перуанского апвеллинга, а центрально-экваториального подъема вод не наблюдается.

В качестве основных выводов работы отметим следующее. События Ла-Нинья ЦТ типа возникают обычно в мае или апреле в центре экваториальной зоны Тихого океана. Их максимальная фаза развития приходится на ноябрь-декабрь. Важную роль при этом играет интенсификация Центрально-экваториальных пассатных ветров. Летом, в начальной стадии развития явления в центральной экваториальной зоне формируется интенсивный апвеллинг, который обуславливает образование холодной аномалии ТПО в этом регионе.

Ла-Нинья ВТ типа возникают в апреле и всегда на востоке. Максимальная фаза таких событий обычно приходится на октябрь-декабрь. При ВТ типе Ла-Нинья центрально-экваториальный апвеллинг не образуется, отрицательная аномалия ТПО формируется за счет усиления Перуанского апвеллинга, поддерживаемого интенсификацией Пассатных ветров над восточно-экваториальным сектором Тихого океана.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0012-2016-0005 «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера-криосфера и антропогенного воздействия», а также частично при поддержке РФФИ, грант № 16-05-00231-А.*

### Литература

1. Dong B.-W., Sutton R.T. et al. Predictable winter climate in the North Atlantic sector during the 1997-1999 ENSO cycle // *Geophys. Res. Lett.* 2000. V. 27. №7. pp. 985-988.
2. Yuan Y., Yan H.M. Different types of La Nina events and different responses of the tropical atmosphere// *Chin. Sci. Bull.* 2013. V. 58. № 3. pp. 406-415.
3. Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В. Пространственная классификация Ла-Нинья // *Известия РАН. ФАО.* 2017. т. 53. №1. С. 125-134.

## МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЬ-НИНЬО

И. А. Мартын

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург

## INTERANNUAL VARIABILITY OF EL NINO

I. A. Martyn

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

*irma\_martyn@mail.ru*

Ключевые слова: *Эль-Ниньо, Южная осцилляция, Ла-Нинья, климатическая аномалия, статистический анализ.*

Keywords: *El Nino, Southern oscillation, La Nina, climatic anomaly, statistical analysis.*

В настоящее время все чаще различные аномалии, связанные с повышением или понижением температуры, увеличением или уменьшением осадков и др., предписывают явлению Эль-Ниньо, т.к. сейчас проблема Эль-Ниньо все больше приобретает популярность среди ученых в изучении. По определению Эль-Ниньо приносит с собой мало хорошего и носит исключительно катастрофический характер, поэтому очень важным является суметь спрогнозировать наступление Эль-Ниньо и еще лучше спрогнозировать его возможную силу и продолжительность, чтобы уменьшить потери и избежать больших разрушений. Именно поэтому исследование Эль-Ниньо является важной и актуальной задачей не только для региона Тихого океана, но и для всего мира.

Эль-Ниньо (исп. El Niño — малыш, мальчик) является климатической аномалией, которая происходит в Тихом океане. Так же применяют название Южная осцилляция. Противоположной фазой осцилляции является Ла-Нинья (исп. La Niña — малышка, девочка) [1]. Первыми признаками появления Эль-Ниньо является повышение давления над Индонезией и Австралией, падение давления над Таити, ослабление пассатов в южной части Тихого океана или их прекращение и смена направления с восточного на западное, теплая воздушная масса в Перу, дожди в перуанских пустынях. У берегов Перу во время Эль-Ниньо происходит ослабление апвеллинга [2,3]. В обычный сезон глубина залегания термоклина составляет 50-60 м, во время Эль-Ниньо глубина увеличивается до 100-120 м. Это влияет на увеличение теплосодержания вод [4].

В настоящее время существует достаточно много определений явления Эль-Ниньо и различные точки зрения его происхождения, поэтому было решено определить, как проявляется Эль-Ниньо и причины его возникновения.

Целью данной работы является определение закономерностей в межгодовой изменчивости феномена Эль-Ниньо. Определение явления и возможные причины его возникновения определялись с помощью значений температуры воды и воздуха, количества осадков, давления, скорости и направления ветра, индекс Южного колебания.

Исходные данные для работы были взяты с сайта NOAA. Для исследования применялись статистико-вероятностные методы, которые включают в себя: первичный анализ, автокорреляционный анализ, спектральный анализ в программе Statistica, взаимокорреляционный анализ (кросскорреляцию). Так же были построены поля ветра с помощью программы Surfer.

В ходе работы было выявлено, что Эль-Ниньо является повышением температуры воды у берегов Перу, причиной этого повышения является понижение давления, как следствие происходит увеличение количества осадков у берегов Перу, прекращается апвеллинг, смены направления ветра заметной не наблюдалось, но скорость ветра во время Эль-Ниньо ниже, следовательно, происходит ослабление пассатов. Индекс Южного колебания хорошо описывает наступление Эль-Ниньо. Выявлено, что сила явления прямым образом влияет на аномалию температуры и осадков. Периодичность явления составляет примерно 5 лет.

В ходе работы было составлено общее представление об явлении. Была выявлена причина образования данного явления, которая носит барический характер, но не исключается образование Эль-Ниньо из-за нескольких факторов. При исследовании структуры процесса было отмечено, что требуется избавиться от годового хода и анализировать непосредственно аномалии.



**Литература**

1. Эль-Ниньо – южная осцилляция Oceanographers.ru [Oceanographers.ru](http://Oceanographers.ru)
2. Эль-Ниньо <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-el-nino-na-globalnyy-klimat>
3. Природный феномен Эль-Ниньо <http://kosmi.ru/prirodnyj-fenomen-el-nino.html>
4. Эль-Ниньо – южная осцилляция // 1. Что такое Эль-Ниньо (El Nino). [http://www.oceanographers.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1561&Itemid=255](http://www.oceanographers.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=1561&Itemid=255)

# ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИНОПТИЧЕСКИХ И МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

И. П. Медведев<sup>1,2</sup>, А. Ю. Медведева<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова, Москва

SPATIAL AND TEMPORARY FEATURES OF SYNOPTIC AND MESOSCALE SEA LEVEL  
VARIATIONS OF THE BALTIC SEA

I. P. Medvedev<sup>1,2</sup>, A. Yu. Medvedeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

<sup>2</sup>Fedorov Institute of Applied Geophysics, Moscow

*medvedev@ocean.ru*

Ключевые слова: *уровень моря, спектр, численная модель, Балтийское море, штормовые нагоны.*

Keywords: *sea level, spectrum, numerical model, Baltic Sea, storm surges.*

В настоящем исследовании на основе длительных рядов ежечасных наблюдений на 48 мареографах и результатов расчетов на трехмерной баротропной численной модели ROMS, адаптированной к условиям Балтийского моря [1], было проведено подробное исследование пространственных особенностей распределения дисперсии синоптических и мезомасштабных колебаний уровня внутри моря. Длинные ряды наблюдений позволили рассмотреть климатическую изменчивость энергии колебаний уровня моря в этих частотных диапазонах, выявить тенденции и периодичности в их изменении, а также выявить связь с межгодовой изменчивостью индекса Североатлантического колебания.

Синоптические (2-30 сут) и мезомасштабные (2 ч - 2 сут) изменения уровня формируют непосредственно внутри Балтийского моря. Наибольший энергетический вклад в синоптический диапазон изменчивости вносят сгонно-нагонные колебания, генерация которых связана с атмосферными процессами естественного синоптического периода. Мезомасштабная изменчивость уровня Балтийского моря определяется, в первую очередь, собственными частотами моря и заливов, на которых происходит резонансное усиление стоячих волн [2]. Доминирующий собственный период Балтийского моря и Финского залива составляет 26-29 ч [2]. Также вклад в дисперсию синоптических и низкочастотных мезомасштабных колебаний уровня Балтийского моря вносят топографические волны.

Спектральный анализ выявил существенную разницу в формировании спектров двух заливов Балтийского моря: Ботнического и Финского. Если в Ботническом заливе заметное возрастание энергии колебаний по направлению к вершине залива наблюдается лишь в синоптическом диапазоне частот, а в мезомасштабном отсутствует, то в Финском заливе подобное возрастание наблюдается как для синоптических, так и для мезомасштабных колебаний уровня моря. Эти различия в формировании спектра изменчивости уровня моря вызваны влиянием собственных колебаний уровня заливов.

Энергия колебаний рассчитывалась по методике, которая использовалась для анализа количественного вклада отдельных диапазонов изменчивости в общую дисперсию в работе [3]. По длительным ежечасным данным наблюдений, для 48 станций были построены спектры и рассчитана энергия синоптических и мезомасштабных колебаний уровня в каждом пункте.

Максимумы дисперсии синоптических колебаний уровня наблюдаются в вершине Ботнического залива и в юго-западной части Балтийского моря, минимумы в распределении дисперсии синоптических колебаний располагаются в центральной глубоководной части Балтийского моря. В мезомасштабном диапазоне изменчивости максимумы дисперсии колебаний уровня моря наблюдаются в вершине Финского залива и в юго-западной части Балтийского моря, что соответствует пространственной структуре основной моды собственных колебаний уровня Балтийского моря с периодом 26-29 ч [3]. Минимумы дисперсии колебаний уровня в указанном диапазоне изменчивости наблюдаются в центральной части

Балтийского моря, где располагаются минимальные амплитуды основной моды собственных колебаний уровня моря. Распределение дисперсии мезомасштабных колебаний уровня моря является отображением энергии штормовых нагонов и наводнений в Балтийском море.

Длительные ряды наблюдений позволили рассмотреть климатическую изменчивость дисперсии синоптических и мезомасштабных колебаний уровня Балтийского моря. Минимум дисперсии синоптических колебаний уровня моря наблюдался в Ратане в 50-60-е годы XX века, максимум - в начале и в конце XX века. Рассмотренные выше ряды междекадной изменчивости синоптических колебаний уровня моря имеют слабовыраженный отрицательный тренд, который составляет от  $-0.01 \text{ см}^2/\text{год}$  в Ратане до  $-0.11 \text{ см}^2/\text{год}$  в Кунгсхолмсфорте.

Явной связи между межгодовыми изменениями дисперсии синоптических колебаний уровня Балтийского моря и изменений индекса САК выявлено не было. Изменение дисперсии мезомасштабных колебаний уровня Балтийского моря, напротив, повторяет характер межгодовой изменчивости индекса САК. Значимая связь была обнаружена между межгодовыми вариациями дисперсии мезомасштабных колебаний уровня Рижского и Финского заливов и изменениями индекса САК. В период положительной фазы САК наблюдается усиление зонального типа циркуляции, смещение траекторий штормовых циклонов к северу относительно их среднего положения и увеличение количества глубоких циклонов над Балтийским морем, вследствие чего дисперсия мезомасштабных колебаний уровня моря в Финском и Рижском заливах возрастает.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0015) при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-50-00095) и РФФИ (проект № 16-35-60071).*

### Литература

1. Куликов Е.А., Файн И.В., Медведев И.П. Численное моделирование аномобарических колебаний уровня Балтийского моря // Метеорология и гидрология. 2015. № 2. С. 41–52.
2. Куликов Е.А., Медведев И.П. Изменчивость уровня Балтийского моря и наводнения в Финском заливе // Океанология. 2013. Т. 53. № 2. С. 167–174.
3. Куликов Е.А., Файн И.В. Численное моделирование изменчивости уровня Балтийского моря // Вычислительные технологии. 2008. Т. 13. Специальный выпуск 2. С. 39–46.
4. Медведев И.П. О формировании спектра колебаний уровня Балтийского моря // Доклады Академии Наук. 2015. Т. 463. № 3. С. 347–352.

ПРИЛИВЫ В ИЗОЛИРОВАННЫХ МОРЯХ: ЧИСЛЕННОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАБЛЮДЕНИЯИ. П. Медведев<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва<sup>2</sup>Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова, Москва

TIDES IN ISOLATED SEAS: NUMERICAL MODELLING AND OBSERVATIONS

I. P. Medvedev<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow<sup>2</sup>Fedorov Institute of Applied Geophysics, Moscow*medvedev@ocean.ru*

Ключевые слова: *приливы, Балтийское море, Черное море, Каспийское море, численное моделирование, радиационные приливы.*

Keywords: *tides, Baltic Sea, Black Sea, Caspian Sea, numerical modelling, radiational tides.*

Приливы - один из основных видов движения вод в Мировом океане. Они формируются под воздействием приливообразующих (гравитационных) сил Луны и Солнца. Изменчивость этих сил во времени приводит к движению водных масс, которое проявляется в виде периодических колебаний уровня моря и связанных с ними течений. Наибольших высот приливы достигают в окраинных морях. В изолированных морях, таких как Балтийское, Черное и Каспийское, высота гравитационных приливов невелика. Проливы, соединяющие Черное и Балтийское моря с Мировым океаном, достаточно узкие, вследствие чего приливная волна из соседних акваторий практически не проникает в эти моря. Каспийское море - самый крупный замкнутый бассейн на нашей планете и приливы в нем генерируются под непосредственным действием приливообразующей силы и являются исключительно собственными. На фоне слабых гравитационных приливов важную роль в мезомасштабной изменчивости уровня в Балтийском, Черном и Каспийском морях играют радиационные (термические) приливы. Они обусловлены не гравитационными силами, а радиационным воздействием Солнца на уровень моря. Соответственно, периоды радиационных гармоник связаны не с лунной, а с солнечной цикличностью. В отличие от обычных приливов, которые формируются непосредственно под влиянием гравитационных сил, радиационные приливы имеют более сложный механизм генерации. Радиационные приливы образуются под влиянием различных периодических факторов, связанных с излучением Солнца, наиболее важными среди которых являются: (1) колебания температуры воздуха и вызванные ими колебания температуры поверхности моря; (2) атмосферные приливы; (3) бризовый ветер. Преобладание того или иного фактора зависит от конкретных физико-географических условий района наблюдений. Как показано в работе (Медведев и др., 2013), главным фактором, вызвавшим появление радиационных гармоник на некоторых станциях побережья Балтийского моря, видимо, являются бризовые ветра; именно этот фактор сильнее всего зависит от конкретного района наблюдений, в то время как изменчивость температуры воздуха/воды и атмосферные приливы не обладают подобной выборочностью (т.е. эти два фактора должны были аналогичным образом воздействовать на все станции).

В настоящей работе для изучения особенностей приливов были использованы ряды ежечасных наблюдений за колебаниями уровня Балтийского, Черного и Каспийского морей на прибрежных станциях. В Балтийском море были использованы данные по 60 станциям, равномерно покрывающим все побережье Балтийского моря. В Черном море были использованы ряды по 23 станциям, в Каспийском море о 13 станциях. Длительность рядов наблюдений по станциям сильно различалась: от 3 до 38 лет. Данные по всем были приведены к единому отсчету времени (Гринвичскому).

Двумерная версия известной модели РОМ (Princeton Ocean Model) была адаптирована к условиям Балтийского, Черного и Каспийского морей. Вынуждающая сила в модели задавалась через градиенты приливного потенциала над акваторией морей. Приливной потенциал, который рассчитывался по

формулам, представленным в классической работе (Munk and Cartwright, 1966). Приливной потенциал включал в себя весь список основных приливных частот (более 80 гармоник), в том числе основные суточные, полусуточные, мелководные и долгопериодные приливные гармоники. При помощи численной модели РОМ были рассчитаны характеристики основных приливных волн и получены детальные пространственные картины их распределения в акватории рассматриваемых моря.

Результаты настоящего исследования подтверждают предположение, что суточные приливные колебания уровня моря в Южном Каспии и в северо-западной части Черного моря имеют преимущественно радиационное, а не гравитационное происхождение. В Куршском заливе Балтийского моря и в Северном Каспии гравитационные приливы и вовсе отсутствуют, и здесь наблюдаются только радиационные приливы. Причем, радиационные приливы в Южном Каспии и в Куршском заливе хорошо выражены летом и почти полностью исчезают зимой. Вероятно, основным фактором, формирующим радиационные приливы в этих акваториях, являются бризовые ветра, которые вызывают суточные сгонно-нагонные движения вод.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0015) при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-50-00095) и РФФИ (проект № 16-35-60071).*

### Литература

1. Медведев И.П., Рабинович А.Б., Куликов Е.А. Приливные колебания в Балтийском море // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 5. С. 596–611.
2. Munk W.H., Cartwright D.E. Tidal spectroscopy and prediction // *Phil. Trans. Roy. Soc. London. Ser. A*. 1966. V. 259. № 1105. pp. 533-581.

## ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

А. Ю. Медведева<sup>1</sup>, С. А. Мысленков<sup>1,2</sup>, В. С. Архипкин<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

## SPECIAL FEATURES OF THE WIND WAVES IN THE GULF OF FINLAND AND IN THE SOUTH-EASTERN PART OF THE BALTIC SEA

A.Yu. Medvedeva<sup>1,2</sup>, S.A. Myslenkov<sup>1,2</sup>, V.S. Arhkipkin<sup>2</sup><sup>1</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Moscow<sup>2</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow*alisa.bannikova@gmail.com*

Ключевые слова: *Балтийское море, ветровое волнение, высота значительных волн, модель SWAN, реанализ, NCEP/CFSR, САК, АО, SCAND, индекс крупномасштабной циркуляции атмосферы, количество штормов, шторм, Финский залив, Калининградская область.*

Keywords: *Baltic Sea, wind waves, significant wave height, SWAN model, reanalysis, NCEP/CFSR, NAO, AO, SCAND, large-scale atmospheric circulation index, storm, Gulf of Finland, Kaliningrad Region.*

*Оценки параметров ветровых волн.* В Финском заливе максимальная  $H_s$  для рассматриваемого периода составила 5.6 м для ноября, период - 10 с, длина - 60 м, высота зыби - 1 м. В Финском заливе наблюдаются две области с наибольшими высотами волн: на входе в залив, куда волнение проникает из центральной части, и в наиболее широкой центральной части самого залива вблизи о-ва Гогланд. Разница в высоте волн для этих двух областей может достигать 1.5-2 м (рис. 5.13а). Наибольшие высоты присущи осенне-зимнему периоду, наименьшие - летним месяцам для всех частей Балтики, как для Финского залива, так и для юго-восточных вод Балтики.

Выявлен статистически значимый тренд - повышение количества штормов в центральной области Финского залива (рис. 5.13б). За один шторм принималась ситуация, когда хотя бы в одном узле  $H_s$  превышала 2 м, концом события считался момент, когда ни в одном узле высота не превышала заданный уровень. Примечательно, что в 2011 и в 2015 году количество штормов на входе в залив и в его центре эквивалентно, что не отмечалось ранее никогда за исследуемый 37-летний период.

Воды Калининградской области благодаря конфигурации Балтийского моря являются одними из наиболее «бурных» в плане волнения, наравне с центральной частью моря. Именно эта область - одна из зон максимального волнения. Максимальная  $H_s$  здесь составила 8.8 м для ноября месяца, период - 12 с, длина - 130 м, высота зыби - 6 м. В апреле был выявлен статистически значимый отрицательный тренд по  $H_s$ .

*Связь с индексами крупномасштабной циркуляции атмосферы.* Отдельное внимание в данном исследовании было уделено связи волновых параметров с крупномасштабной циркуляцией атмосферы: индексами Северо-Атлантического колебания (САК), Арктического колебания (АО) и Скандинавским (SCAND). Наибольший коэффициент корреляции  $R$  между  $H_s$  и САК был получен для Финского залива и составил 0.7 для декабря. Для юго-восточной Балтики - 0.6, также для декабря. С АО в среднем (с декабря по март) связь выражена отчетливо  $R$  0.4-0.6, для Финского з-ва  $R$  для всех месяцев равен 0.6. Что касается Скандинавского индекса, то корреляция была получена отрицательная от -0.4 до -0.7 для вод Калининградской области и от -0.3 до -0.6 для Финского залива. Таким образом для Финского залива любое относительное повышение  $H_s$  соответствует положительной фазе САК и АО.

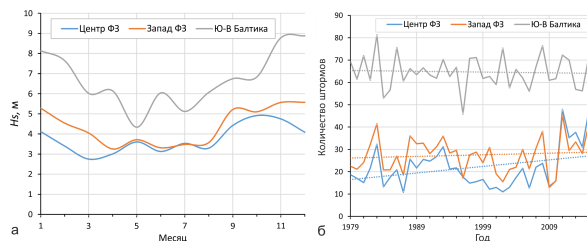
Если рассматривать связь количества штормов с индексами, то наибольшее значение коэффициента корреляции было получено для Финского залива для штормов с  $H_s$  более 3 м. Для количества штормов с порогом в 2 и 4 м корреляция была менее 0.5. Таким образом, связь с САК и АО ярче всего проявляется в Финском заливе. Стоит отметить, что как количество штормов, так и максимальные

$H_s$  стали распространяться в последние годы изучаемого периода глубже на восток, возможно, это отражает, смещение траекторий циклонов к северу на 200-400 км относительно их среднего положения в период положительной фазы САК [1]. Также, увеличение значения индекса САК сопровождается увеличением количества глубоких циклонов над Балтийским морем.

Результаты исследований, представленные в разделе 1 «Оценки параметров ветровых волн», получены в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0015). Результаты исследований, представленные в разделе 2 «Связь с индексами крупномасштабной циркуляции атмосферы», получены за счет средств РНФ (проект № 14-50-00095).

### Литература

1. Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада ЛТД, 2013. 144 с.



**Рис. 5.13:** а. Значительная высота волн по месяцам для центральной части Финского залива (Центр ФЗ), его входа (Запад ФЗ) и юго-восточной Балтики. б. Количество штормов с  $H_s$  более 2 м для центральной (Центр ФЗ), западной (Запад ФЗ) частей Финского залива и для юго-восточной Балтики с 1979 по 2015 гг. Пунктирной линией обозначены линейные тренды.

# ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ SWASH ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНОГАСЯЩИХ СВОЙСТВ ОДИНОЧНЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ

С. Ю. Михайличенко, Е. В. Иванча  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

APPLICATION OF SWASH MODEL FOR INVESTIGATION OF BREAKWATER PROPERTIES OF SINGLE OBSTACLES OF VARIOUS GEOMETRY

S. Ju. Mihajlichenko, E. V. Ivancha  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*liham1984@rambler.ru*

Ключевые слова: *негидростатическая модель SWASH, поверхностные волны, подводный волнолом, высоты волн, коэффициент трансформации.*

Keywords: *non-hydrostatic SWASH model, surface waves, submerged breakwater, wave heights, transformation coefficient.*

Известно, что наиболее интенсивную нагрузку на береговую зону оказывает поверхностное волнение, которое может вызывать размыв берегов и затопление прибрежных районов, что приводит к значительному материальному ущербу. Поэтому защита берегов от разрушительного волнового воздействия остается одной из наиболее актуальных задач сегодняшнего дня. Одним из наиболее распространенных в мировой практике способов защиты побережья от интенсивного поверхностного волнения является строительство волноломов. Исследованию взаимодействия поверхностных волн с волноломами посвящено значительное число научных трудов. В работах [1-5] рассматривались двумерные в вертикальной плоскости задачи эволюционной динамики поверхностных волн при их взаимодействии с препятствиями различной формы, понижаемости и высоты.

В настоящей работе методом численного моделирования исследовалось взаимодействие различных типов поверхностных гравитационных волн с подводным берегозащитным сооружением переменной конфигурации и ширины. Было рассмотрено три варианта взаимодействия: с одиночной волной синусоидального профиля; с одиночной волной в форме солитона и взаимодействие подводного волнолома с развитым ветровым волнением, которое моделировалось на основе спектра JONSWAP. Расчеты проводились с использованием негидростатической модели SWASH, позволяющих проводить моделирование различных нестационарных гидродинамических процессов [6]. Численные эксперименты проводились в модельном бассейне квадратной формы с размером 600х600 метров. В расчетах использовалась прямоугольная сетка с шагом по пространственным координатам в 1,0 м. Шаг интегрирования по времени составлял 0,05 с. С целью определения непосредственного влияния препятствия на физические характеристики проходящих волн глубина бассейна в работе задавалась постоянной, а донное трение не учитывалось. В качестве граничных условий на западной границе бассейна в первых двух случаях задавался профиль входящих волн и величина начального значения осредненной по глубине скорости жидкости, а в третьем случае - двумерный спектр развитого волнения. На остальных жидких границах задавалось условие свободного прохождения.

В работе проанализировано влияние ширины и формы подводного препятствия на высоты проходящих волн. Было проведено 4 численных эксперимента. В первых трех волнолом переменной ширины имел прямоугольную форму, а в последнем - трапециевидную. Оценка влияния геометрических характеристик подводного сооружения на высоту волн осуществлялась путем расчета коэффициента трансформации волнения, который в случаях с одиночными волнами рассчитывался в виде отношения высоты волны за препятствием к ее высоте перед ним, а в случае с развитым ветровым волнением - как отношение высот значительных волн за и перед волноломом.

Результаты численных экспериментов показали заметную взаимосвязь между трансформацией проходящих над препятствием волн и их типом. Наибольшему ослаблению при взаимодействии с



берегозащитным сооружением подвергалось нерегулярное волнение. В этом случае высоты значительных волн за препятствием уменьшались на 30 - 45% по мере увеличения ширины волнолома. Влияние берегозащитного сооружения на одиночные регулярные волны с синусоидальным профилем оказалось намного менее существенным (величина коэффициента трансформации не уменьшалась ниже значений 0,9 - 0,85). Наименьшему ослаблению подвергались одиночные волны в форме солитона. В этом случае высоты волн за волноломом уменьшались не более чем на 5 - 10%. Анализ результатов счета показал, что форма берегозащитного сооружения по сравнению с его шириной в условиях проведенных экспериментов не оказывает заметного влияния на проходящее волнение.

*Работа выполнялась в рамках государственного задания по теме № 0827-2014-0010 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей, на основе современных методов контроля состояния морской среды и гидротехнологий».*

### Литература

1. Mellink B.A. Numerical and experimental research of wave interaction with a porous breakwater // Master's thesis. A basis for numerical modelling of the notional permeability  $P$ , Delft University of Technology. 2012, Netherlands. 106 p.
2. Liang B., Wu G., Liu F., Fan H., Li H. Numerical study of wave transmission over double submerged breakwaters using non-hydrostatic wave model // Oceanologia. 2015. V. 57. pp. 308–317.
3. Losada I.J., Lara J.L., Guancho R., Gonzalez-Ondina J.M. Numerical analysis of wave overtopping of rubble mound breakwaters // Coastal Engineering. 2008. V. 55. pp. 47–62.
4. Briganti R., Van der Meer, J.W., Buccino M., Calabrese M. Wave transmission behind low-crested structures // Coastal Structures. 2003. pp. 580–592.
5. Lara J.L., Losada I.J., Guancho R. Wave interaction with low-mound breakwaters using a RANS model // Ocean Engineering. 2008. V. 35. pp. 1388–1400.
6. SWASH User Manual / The SWASH team // Delft University of Technology. 2012. V. 1. 10A, The Netherlands. 91 p.

## СИСТЕМА АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

А. И. Мизюк, О. С. Пузина, М. В. Сендеров, П. Н. Лишаев, А. Л. Холод  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

NOWCASTING FORECASTING SYSTEM OF THE STATE OF THE BLACK AND AZOV SEAS

A. I. Mizyuk, O. S. Puzina, M. V. Senderov, P. N. Lishaev, A. L. Kholod  
Marine hydrophysical institute RAS, Sevastopol

*artem.mizyuk@yandex.ru*

Ключевые слова: *численное моделирование циркуляции, Черное море, Азовское море, оперативный морской прогноз.*

Keywords: *numerical modeling of the circulation, Black Sea, Sea of Azov, operational marine forecasting.*

В докладе представлены результаты валидации разрабатываемой в рамках проекта РНФ № 17-77-30001 системы непрерывного анализа и прогноза (СНАПО) для акватории Черного и Азовского морей. Ядром системы является численная 3-мерная модель термогидродинамики океана NEMO OPA v.3.6 [1]. Сетка модели имеет шаг  $1/24^\circ$  и  $1/17^\circ$  в меридиональном и в зональном направлениях соответственно, что составляет  $\approx 4,6$  км. Регулярная географическая сетка модели покрывает бассейны Мраморного, Черного и Азовского морей. По вертикали используется 35 z-горизонтов, неравномерно сгущающихся к поверхности по логарифмическому закону, с применением дробного шага у дна. Для построения батиметрии расчетного домена используется массив глубин EMODNet (<http://www.emodnet-mediterranean.eu/>). На стадии подготовки она была дополнительно сглажена 9-точечным фильтром, а также были удалены явные выбросы в отдельных районах после сравнения с массивом глубин работы [2].

Конфигурация является модификацией аналогичной, представленной в [3]. Некоторые особенности используемых численных реализаций:

- при численной дискретизации уравнения движения имеют форму Громеки - Лэмба, при этом используется схема с сохранением энергии и энтропии;
- для аппроксимации нелинейных слагаемых в уравнения переноса-диффузии тела и соли применяется TVD схема;
- горизонтальный турбулентный обмен в модели описывается бигармоническим оператором, вертикальный обмен параметризован на основе k- $\epsilon$  модели турбулентности;
- расчет уровня моря выполняется с использованием схемы расщепления по времени.

В качестве оперативного атмосферного прогноза использовались оперативные данные системы SKIRON (<http://forecast.uoa.gr/>). В конфигурации учитываются расходы девяти рек в Черном море и двух рек в Азовском море на основе данных [4]. В бассейне Мраморного моря на открытой границе в районе  $27,4^\circ$  в.д. используется слой толщиной в 5 ячеек расчетной сетки, где используя алгоритм релаксации ставится условие на открытой границе и используются профили температуры и солености, построенные на основе массивов реанализа службы мониторинга морской среды программы Copernicus (<http://marine.copernicus.eu/>).

Прототип системы выполняет регулярные задания типа диагноз и прогноз. Цикл работы в настоящий момент использует схему «2+3» (2 дня диагноза и 3 дня прогноза). Проведены серии расчетов в квазиоперативном режиме для 2017 г. При этом эмулируется процесс закачки на каждый цикл, а также выполняется предварительная обработка входных параметров: спутниковых температуры поверхности моря и альтиметрии, полей метеопараметров. Для этого предварительно подготовлена база данных Центра морских прогнозов Черного моря (ЦМП ЧМ).

На этапе диагноза (анализа) система производит расчет гидрофизических полей морей с усвоением данных наблюдений. Для усвоения данных по спутниковой ТПМ на текущем этапе используется простой алгоритм релаксации потока тепла к спутниковой температуре. Алгоритм усвоения данных спутниковой альтиметрии основан на процедуре оптимальной интерполяции в предположении однородности по времени всех измерений в пределах выбранного временного окна. Особенность данного алгоритма заключается в коррекции, кроме полей уровня моря, также полей температуры и солёности с использованием заранее рассчитанных функций взаимной ковариации «температура - уровень» и «солёность - уровень».

Проведено два запуска системы на период с 1 января до 31 октября 2017 г. В первом на этапе диагноза выполнялось усвоение только полей спутниковой ТПМ. Результаты показали, что среднеквадратические разности «диагноз минус наблюдения» по ТПМ уменьшаются приблизительно в 2 раз за первые 3 месяца. Второй запуск системы проводился с усвоением данных ТПМ и вдольтрековых спутниковых альтиметрических измерений на этапе диагноза. Его результаты показали, что уже за первые 15 циклов показали заметное изменение характеристик пространственной изменчивости гидрофизических полей.

На этапе прогноза расчет гидрофизических полей моря выполняется без усвоения данных. Представлены прогностические характеристики используемой модели в поверхностном слое, которые были оценены по среднеквадратическим разностям температуры на 1-й день прогноза от диагноза и на 3-й день прогноза от диагноза.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 17-77-30001).*

### Литература

1. Madec G. NEMO ocean engine / G. Madec // Note du pôle de modélisation, IPSL, France N°27 ISSN N. 2012. – P.1288-1619.
2. Авдеев А.И. Разработка методологии исследования рельефа дна Черного моря и его влияние на процессы, протекающие в зоне сопряжения суша–море / А.И. Авдеев // Экологическая безопасность прибрежной и шельфово зон. Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2001. Т. 4. С. 179–187.
3. Мизюк А.И. Особенности горизонтальной изменчивости температуры поверхности в западной части Черного моря по результатам моделирования с высоким пространственным разрешением / А.И. Мизюк, М.В. Сендеров, Г.К. Коротаев, А.С. Саркисян // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2016 Т. 52, № 5. С. 639–648.
4. Симонов А.И., Альтман Э.Н. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том IV. Черное море. Гидрометеорологические условия. Проект «Моря СССР». Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 430 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТОКА ПЛОТНЫХ ШЕЛЬФОВЫХ ВОД НА МАТЕРИКОВОМ СКЛОНЕ В МОРЕ СОДРУЖЕСТВА НА РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ FLUIDITY ICOM

М. С. Молчанов, П. Н. Головин

ФГБУ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОКА ПЛОТНЫХ ШЕЛЬФОВЫХ ВОД НА МАТЕРИКОВОМ СКЛОНЕ В  
МОРЕ СОДРУЖЕСТВА НА РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ FLUIDITY ICOM

M. S. Molchanov, P. N. Golovin

Arctic and Antarctic research Institute, AARI, Saint-Petersburg

*molchanoff@gmail.com*

Ключевые слова: *физика океана, моделирование, южный океан, сток плотных шельфовых вод, антарктический материковый склон.*

Keywords: *ocean modelling, Southern ocean, Antarctic continental slope.*

Для исследования трансформации и перемешивания вод в области Антарктических склоновых фронтов АСФ в крутых (срединных) частях материкового склона, а так же в малоисследованной глубоководной части склона была адаптирована численная модель Fluidity ICOM. В результате была получена региональная мелкомасштабная математическая модель шельфового и склонового каскадинга, адаптированная для конкретных топографических и термохалинных условий в известных областях стока плотных вод на материковом склоне в море Содружества с пространственным разрешением до 100 м. На основе данных натурных наблюдений, полученных в период 2004-2016 гг., на разрезе по 70 гр в.д. в рамках сезонных работ Российской Антарктической Экспедиции (РАЭ) проведена верификация модельных расчетов. Разрезы отличаются уникальной пространственной дискретностью 3-10 км в области шельфа и 1.2-5 км в области бровки шельфа и склона. На основе результатов расчетов сделаны оценки скорости перемещение плотной воды из районов формирования на шельфе (200-400 м) в глубинные районы (2000 м). Сделаны оценки влияния топографических неоднородностей склона на сток плотных вод.

*Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 17-05-00037.*

# ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТУРБИДИТНОГО ТЕЧЕНИЯ НА НАКЛОННОМ ДНЕ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Р. З. Мухаметьянов, А. Г. Зацепин  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

LABORATORY RESEARCH OF THE INTERACTION OF TURBIDITIC FLOW ON AN INCLINED  
BOTTOM WITH THE AMBIENT STRATIFIED LIQUID

R. Z. Mukhametyanov, A. G. Zatsepin  
P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*Rinat0233@mail.ru*

Ключевые слова: *морской шельф, придонные плотностные взвесенесущие течения, взаимодействие с пикноклином, лабораторное моделирование.*

Keywords: *offshore shelf, turbiditic flows, interaction with pycnocline, laboratory modeling.*

Одним из недостаточно изученных вопросов является влияние гидрологической структуры на вертикальное распределение осадочного взвешенного вещества в море [1]. Известно, что в Балтийском море, а также и в других морях, термоклин и халоклин выступают в качестве задерживающих взвесь барьеров [2], однако механизмы образования слоев с повышенной концентрацией взвешенного вещества над и под резкими плотностными границами в море не имеют четкого физического объяснения.

В данной работе в лабораторных условиях воспроизводится один из возможных механизмов формирования такого рода слоев в шельфово-склоновой зоне моря. Этот механизм вызван взаимодействием придонных взвесенесущих плотностных течений с пикноклином. В [3, 4] проводились лабораторные эксперименты с опусканием более плотных вод по гладкому наклонному дну в двуслойно-стратифицированной жидкости, т.е. при наличии скачка плотности (резкого пикноклина), разделяющего два слоя воды различной плотности. Было показано, что в зависимости от плотностных соотношений между водами плотностного течения (ПТ) и водными слоями в бассейне реализуются различные сценарии распространения ПТ. В широком диапазоне изменения определяющих параметров эксперимента часть вод ПТ отрывается от дна и распространяется вдоль плотностной границы в виде интрузии.

В [5] аналогичные опыты проводились при опускании более плотных вод по наклонному дну в окружающей линейно-стратифицированной жидкости (ЛСЖ) - в широком пикноклине. В этих опытах наблюдалось формирование множественных внутриводных интрузий, которые содержали воды ПТ, оторвавшиеся от дна (см. рис. 5.14). Были установлены зависимости максимальной глубины опускания вод ПТ и объема интрузий в зависимости от определяющих параметров эксперимента.

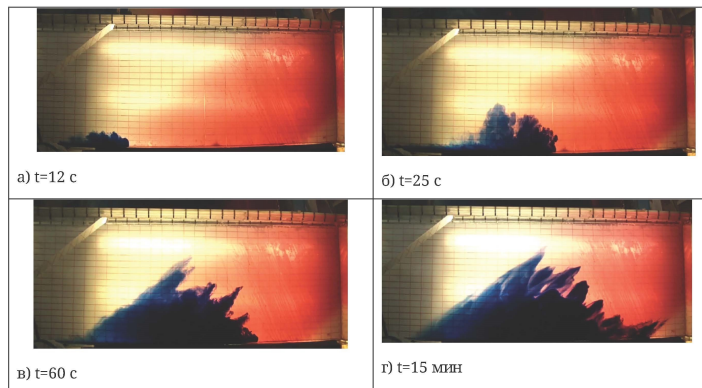
В данной работе воды ПТ на наклонном дне содержат определенное количество взвешенного вещества, которое вовлекается в интрузионный процесс в области пикно-халоклина. При этом вертикальное распределение взвеси и ее концентрация измеряются с помощью оптического датчика, тогда как стратификация вод в области халоклина - с помощью микродатчика электропроводности. В результате этих измерений определяются закономерности вовлечения взвешенного вещества во внутриводные интрузии, его вертикального распределения и оседания в условиях плотностной стратификации вод. Поскольку экспериментальное исследование еще не закончено, формульный вид этих закономерностей пока не приводится.

*Работа выполнена при поддержке проекта РНФ №14-50-00095 и гранта РФФИ № 17-05-00381.*

## Литература

1. Бубнова Е.С., Кречик В.А. Новые данные о влиянии гидрологических условий на вертикальное распределение осадочного вещества в Балтийском море // Геология морей и океанов. Матер. XXII Межд. науч. конф. по мор. геол. Т. 3. М.: ГЕОС, 2017. С. 21-25.

2. Емельянов Е.М., Пустельников О.С. Взвешенное вещество, его состав и баланс осадочного материала в водах Балтийского моря // Вильнюс: Моклас, 1976. С. 159-186.
3. Зацепин А.Г., Гриценко В.А., Кременецкий В.В., Поярков С.Г., Строганов О.Ю. Лабораторное и численное исследование процесса распространения плотностных течений по склону дна // Океанол. 2005. Т. 45. №1. С. 5-15.
4. Gusev A.V., Liapidevskii V.Yu., Zatsepin A.G., Nizov S.S. Dynamics of downslope gravity currents in stratified fluid // Paper in: «Fluxes and structures in fluids» Selected papers (eds. - Yu. D. Chashechkin, V.G. Baydulov. Moscow: IPMech RAS, 2006. pp. 155-159.
5. Плаксина М.А., Пиголкина А.М., Елкин Д.М., Зацепин А.Г. Взаимодействие плотностного течения на наклонном дне с широким пикноклином // XIV Межд. конф. «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2015). Т.1. С. 187-190. Москва, 2015.



**Рис. 5.14:** Видеокдры придонного ПТ ( $S_0 = 25 \text{ ‰}$ ), взаимодействующего с ЛСЖ ( $\Delta = 10 \text{ ‰}, \Delta L_0 1\text{m}$ );  $t$  - текущее время. Воды ЛСЖ - красные. Воды ПТ и интрузии - синие. Видеокамера и бассейн наклонены одинаково к горизонтالي (под углом  $45^\circ$ ).

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЯПОНСКОМ МОРЕ

С. А. Мысленков

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва

## ESTIMATION OF AVAILABLE WAVE ENERGY IN THE SEA OF JAPAN

S. A. Myslenkov

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

*stassas@yandex.ru*

Ключевые слова: *поток волновой энергии, ветровое волнение, Японское море, модель ветрового волнения SWAN, возобновляемые источники энергии.*

Keywords: *wave energy flux, wind waves, Sea of Japan, SWAN wave model, renewable energy.*

Плотность энергии морских волн, как правило, выше чем плотность ветровой и солнечной энергии [1], поэтому исследование ресурсов волновой энергии является актуальной задачей. Японское море обладает очень высоким потенциалом волновой энергии и согласно работе [1] средний поток волновой энергии в Японском море даже выше чем в Баренцевом, и составляет 21-31 кВт/м. Однако, поток волновой энергии распределяется весьма неоднородно в пространстве и времени. В данной работе на основе данных моделирования исследуется изменчивость волновой энергии в Японском море.

Вычисления проводились на неструктурной триангуляционной сетке (рис. 5.15). Данная сетка покрывает только акваторию Японского моря. Шаг сетки составляет около 15 км в открытом море и до 500 м в заливе Петра Великого (рис. 5.15). Подобная методика была ранее использована для исследования потока волновой энергии в Баренцевом море [2].

В результате для каждого узла расчетной сетки Японского моря были получены значения потока волновой энергии (кВт/м) с шагом по времени 3 часа за период с января 2007 по декабрь 2009 года. На основе этих данных были построены карты распределения потока волновой энергии: средние значения за 3 года, средние значения для каждого месяца (рис. 5.16).

В открытой части Японского моря среднегодовой поток волновой энергии составляет 2-10 кВт/м (рис. 5.16). Максимальные значения наблюдаются в восточной части моря у Японских островов. Сезонная изменчивость потока волновой энергии в Японском море очень велика. В открытой части Японского моря средний для августа от волновой энергии не превышает 3-4 кВт/м, тогда как в ноябре наблюдаются величины 10-15 кВт/м. Максимальные значения потока волновой энергии смещаются в летние месяцы на северо-запад моря к берегам России, а в зимние месяцы наоборот к берегам Японии, что связано с действием муссона.

Для подробного анализа изменчивости волновой энергии во времени были выбраны две точки: первая в прибрежной зоне рядом с п. Терней, вторая в заливе Петра Великого, южнее о. Фуругельма (рис. 5.17). В заливе Петра Великого среднегодовой (за период с 2007 по 2009 гг.) поток волновой энергии составляет 1.5-2 кВт/м и увеличивается до 2-3 кВт/м в прибрежной зоне в северной части Приморского края (рис. 5.17).

Распределение средних многолетних значений потока волновой энергии для каждого месяца в точках Т1 и Т2 приведено на рис. 5.18. В точке Т1 максимальные значения наблюдаются с декабря по май и составляют около 3-5 кВт/м. В точке Т2 энергия в среднем меньше и среднемесячные значения редко превышают 2 кВт/м. Максимальные значения в точке Т2 наблюдаются в мае и августе. Для потока волновой энергии в точке Т2 влияние муссона более выражено, так как эта точка расположена близко к берегу и с севера практически полностью закрыта берегами. Следовательно, приток волновой энергии возможен только с южных румбов и это происходит преимущественно в летнее время. Так как точка Т1 расположена в более открытой акватории и дальше от берега, то приток волновой энергии происходит и в зимние месяцы с северо-запада, несмотря на ограниченный разгон.

В результате при помощи волновой модели SWAN получены оценки потенциала волновой энергии в Японском море. Вычисления проводились на неструктурной сетке, с высоким разрешением в заливе Петра Великого.

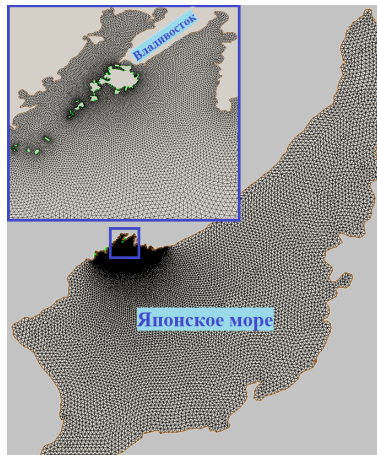
В открытой части Японского моря среднегодовой поток волновой энергии составляет 2-10 кВт/м и сильно меняется в пространстве. Показано, что сезонная изменчивость потока волновой энергии в Японском море очень велика.

К сожалению данные результаты получены на основе весьма короткого ряда данных (3 года), тогда как межгодовая изменчивость потока волновой энергии может быть весьма существенной. Модель SWAN не учитывает при расчетах поля льда, что также вносит некоторые погрешности в получаемые результаты. В будущем предполагается провести расчеты за более длительный период времени, с использованием модели WaveWatch3, которая позволяет учитывать лед.

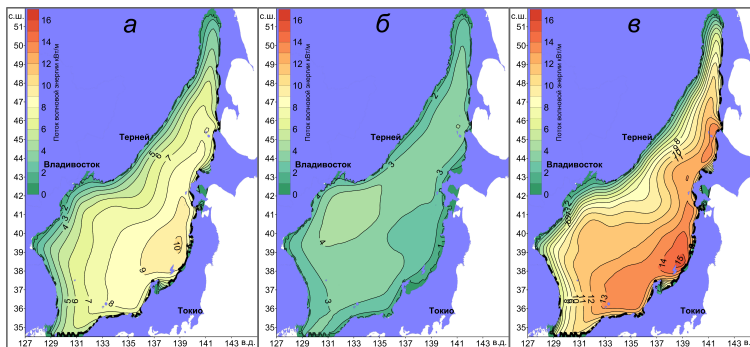
*Работы выполнены при поддержке гранта РФФИ № 16-08-00829.*

### Литература

1. Минин В.А., Дмитриев Г.С. Перспективы освоения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на Кольском полуострове, Мурманск: Изд-во Беллона, 2007.
2. Мысленков С.А., Столярова Е.В., Маркина М.Ю. и др. Сезонная и межгодовая изменчивость потока волновой энергии в Баренцевом море // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2017. 19-21. С. 36-48.



**Рис. 5.15:** Неструктурная сетка для расчета ветрового волнения в Японском море и заливе Петра Великого.



**Рис. 5.16:** Поток волновой энергии в Японском море, а- среднегодовой (с 2007 по 2009 гг.), б-средний для августа, в-средний для ноября.



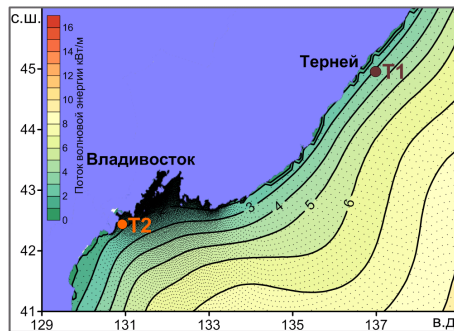


Рис. 5.17: Поток волновой энергии в прибрежной зоне Приморского края. Т1 и Т2 точки вывода данных.

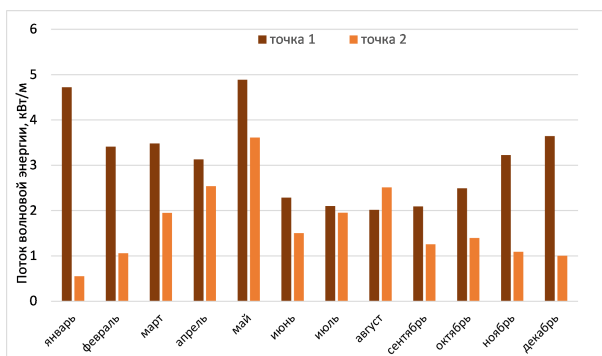


Рис. 5.18: Среднемесячные (для периода с 2007 по 2009 гг.) значения потока волновой энергии в точках Т1 и Т2.

## ЗАВИСИМОСТЬ СПЛОЧЕННОСТИ ЛЬДА В КАРСКОМ МОРЕ ОТ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Л. М. Наумов

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

EXTERNAL FACTORS DEPENDENCE ON THE SEA ICE CONCENTRATION IN KARA SEA

L. M. Naumov

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*levnaumov96@gmail.com*

Ключевые слова: *Карское море, деревья решений, крупномасштабная изменчивость сплоченности льда, потепление Арктики, физико-статистическое моделирование.*

Keywords: *Kara sea, decision trees, large scale sea ice variability, global warming in Arctic region, physico-statistical modeling.*

Карское море (КМ) уже очень давно привлекает к себе исследователей. На данный момент КМ также активно исследуется, в частности в ААНИИ [1]. Изучение крупномасштабной динамики ледяного покрова и учет его основных предикторов необходим для создания прогностических моделей [2], а также в связи с задачей выявления причин современного глобального потепления, которое коснулось и акватории КМ [3].

В качестве исходных данных о сплоченности льда использовались данные NOAA NCDC из архива OISST v.2 AVHRR [4]. В качестве атмосферных предикторов (среднемесячные значения меридиональной и зональной компонент скорости ветра, температуры воздуха) использовались данные атмосферного реанализа ECMWF ERA interim [5]. Как морские предикторы использовались значения солёности, меридиональной и зональной составляющих скорости течения на поверхности, которые брались из океанского реанализа ECMWF ORAS4 [6]. Для работы все исходные данные были усреднены за гидрологический год (с октября по сентябрь), чтобы учитывать характеристики льда только одной зимы. Исследуемый период - с октября 1982 по сентябрь 2015 гг. Рассматривались поля характеристик в сетке 1x1 градус (ORAS4), 0.75x0.75 градуса (ERA interim), 0.25x0.25 градуса (OISST v.2 AVHRR).

В результате применения к полям сплоченности льда в КМ иерархического кластерного анализа методом Уорда с метрикой 1-г было выделено 4 района моря с различной межгодовой изменчивостью: *центральный, северо-восточный, северо-западный и юго-западный.*

Для определения наиболее значимых для ледового режима КМ факторов использовался метод МЛР. Отбор точек, в которых предикторы наиболее тесно связаны с функцией отклика осуществлялся методом последовательного включения, что позволило получить набор предикторов, независимых друг от друга. Во всех моделях МЛР наибольшую часть дисперсии функции отклика описывает температура воздуха. Однако в некоторых районах небольшая часть дисперсии функции отклика описывается и другими факторами: в северо-восточном и северо-западном районах межгодовая изменчивость сплоченности льда также связана с динамическими факторами.

Также использовались модели деревьев решений. Метод является непараметрическим, что позволяет не накладывать ограничения на исходные данные, например, их нормальное распределение. Также метод построения моделей деревьев решений учитывает не только линейную связь между предиктором и функцией отклика, но и нелинейную. Результаты, полученные по моделям деревьев решений, несколько отличаются от результатов моделей МЛР. Первым и самым важным фактором, связанным с изменением сплоченности льда в *юго-западном районе* КМ, является повышенная солёность воды, которая определяет отрицательные экстремумы сплоченности льда. Видимо, это связано с адвекцией Северо-Атлантической воды через пролив Карские ворота. Низкие значения температуры воздуха определяют положительные экстремумы сплоченности льда во вторую очередь. В *северо-западном районе* КМ определяющим фактором является температура воздуха, которая определяет как

отрицательные экстремумы сплоченности льда, так и положительные. В *центральной* районе КМ отрицательные экстремумы сплоченности льда связаны также с температурой воздуха, но положительные экстремумы описываются уже соленостью воды: наибольшая сплоченность льда в центральной районе КМ - при пониженной солености. Как известно [7], в центральной районе КМ на соленость влияет речной сток и полученный результат физически можно объяснить распреснением при большом речном стоке, и, как следствие, малой толщиной слоя осенне-зимней конвекции и усиленным ледообразованием. Межгодовая динамика сплоченности льда в *северо-восточном* районе КМ полностью определяется динамическими факторами, а именно, меридиональной составляющей скорости течения и зональной составляющей скорости ветра: низкая сплоченность льда наблюдается при усилении течения, направленного на север, скорее всего, туда дрейфует лед, образуя пространства чистой воды. Наибольшее количество льда наблюдается при малых значениях меридиональной компоненты скорости течения и больших значениях зональной составляющей скорости ветра: западный ветер приносит лед в северо-восточный район КМ.

Таким образом, заметно, что по моделям деревьев решений можно лучше отследить взаимодействие между предикторами и функцией отклика, что позволит сделать адекватные выводы о физическом механизме их взаимодействия. Так, например, влияние солености на увеличение сплоченности льда в межгодовой динамике в юго-западном и центральной районах КМ различно: в юго-западном районе это происходит вместе увеличением солености и связано с адвекцией северо-атлантической воды через пролив Карские ворота, а в центральной - с уменьшением солености из-за усиления речного стока.

### Литератур

1. Карклин В.П., Юлин А.В., Шаратунова М.В., Мочнова Л.П. Климатическая изменчивость ледяных массивов Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. №4(114). С. 37-46.
2. Егоров А.Г. Долгосрочный прогноз сроков устойчивого ледообразования в северо-восточной части Карского моря // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. 2011. № 38. С. 56-78.
3. Наумов Л.М., Гордеева С.М. Изменчивость ледовитости Карского моря // Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования. Материалы молодежной научной конференции. 2016. С. 332-337.
4. <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.OISST/.version2/.AVHRR/.ice/>.
5. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim>.
6. <https://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/ocean-reanalysis>.
7. Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В., Поляков С.Г., Соловьев Д.М. Поверхностный опресненный слой в Карском море // Океанология. 2010. т. 50. № 5. С. 698-708.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА (ПРИПАЯ) ФЬОРДОВ ШПИЦБЕРГЕНА ПО ДАННЫМ РОССИЙСКИХ РЕГУЛЯРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Е. В. Новоселова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

RESEARCH OF THE ICE COVER (FAST ICE) OF THE SVALBARD FJORDS ACCORDING TO  
RUSSIAN REGULAR OBSERVATIONS

E. V. Novoselova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

<sup>2</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg

*novoselovaa.elena@gmail.com*

Ключевые слова: *Шпицберген, Пирамида, морские льды, припай.*

Keywords: *Svalbard, Pyramiden, sea ice, fast ice.*

Припай - это неподвижный морской ледяной покров, прикрепленный к берегу или отмели. В настоящее время имеется множество эмпирических формул, предназначенных для расчёта толщины морского льда, однако все они имеют ряд допущений и, как правило, учитывают лишь малую часть процессов, влияющих на ледообразование. В связи с этим имеют место довольно большие погрешности при использовании подобных формул для других районов, и, следовательно, существует необходимость получения индивидуальных, более точных, эмпирических формул для конкретных исследуемых областей. Такие формулы должны иметь свои индивидуальные коэффициенты, отражающие степень влияния того или иного внешнего параметра на эволюцию припая. Именно по этой причине данная работа является весьма актуальной.

В качестве объекта исследований выступает припай, обзующийся в заливе Билле-фьорд в районе метеорологической станции Пирамида, арх. Шпицберген (1948-1957 гг.). Уникальность этих данных заключается в том, что Пирамида - единственная внутриконтинентальная метеостанция на Шпицбергене, поскольку все остальные станции - как российские, так и норвежские - расположены на западном побережье архипелага.

Основным методом исследования, применяющимся в данной работе, является метод регрессионного анализа. В данной работе мы используем два предиктора: сумму градусо-дней мороза (СГДМ) и толщину снежного покрова на прип.

В основу исследования было положено регрессионное уравнение (5.3), где  $a$ ,  $b$  - эмпирические коэффициенты:

$$H_i = a + \sqrt{\text{СГДМ}} \quad (5.3)$$

В ходе работы были получены уравнения регрессии, описывающие зависимость между толщиной припая и суммой градусо-дней мороза для каждого отдельного года. Путём осреднения коэффициентов регрессионных уравнений было получено два обобщённых уравнения: для всего рассматриваемого периода (2) и для годов, когда коэффициент детерминации превышал 90% (3):

$$H_i = -48.3260 + 2.9628\sqrt{\text{СГДМ}} \quad (5.4)$$

$$H_i = -61.8215 + 3.3183\sqrt{\text{СГДМ}} \quad (5.5)$$

По полученным обобщённым эмпирическим выражениям (5.4) и (5.5) были вычислены значения ожидаемых толщин припая для каждого отдельного года. Однако расхождения между расчётными

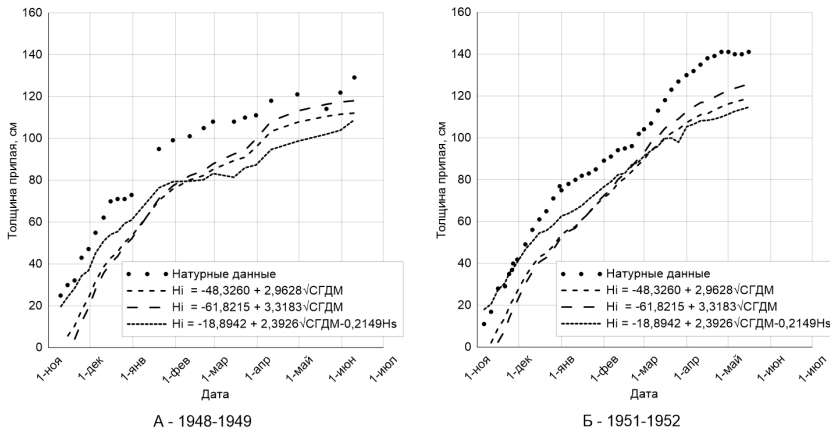
и наблюдаемыми значениями оказались достаточно велики. Для решения этой проблемы и получения более точной формулы мы решили использовать метод множественной регрессии и рассмотреть дополнительно влияние толщины снежного покрова ( $H_s$ ), который оказывает значительное влияние на скорость нарастания припая. Для этого мы использовали статистическую зависимость вида (4) и получили обобщённое (за 1948-1952 гг.) выражение (5):

$$H_i = a + b\sqrt{\text{СГДМ}} + H_s \quad (5.6)$$

$$H_i = -18.8942 + 2.3926\sqrt{\text{СГДМ}} - 0,2149H_s \quad (5.7)$$

Для оценки полученных эмпирических выражений (5.4), (5.6) и (5.7) были вычислены ожидаемые толщины припая для каждого отдельного года и построены графики изменения толщины припая. В качестве примера на рис. 5.19 А, Б представлены графики изменения толщины льда в 1948-1949 и 1951-1952 годах соответственно. Как следует из графиков, расхождения между рассчитанными и измеренными значениями имеют место при использовании всех трех зависимостей. В то же время формула (5), учитывающая толщину снега, дает более точные результаты в начальный период ледообразования, однако в целом результаты расчетов довольно близки между собой.

Таким образом, были исследованы общие закономерности эволюции припая в заливе Билле-фьорда (арх. Шпицберген), рассмотрена взаимосвязь эволюции толщины припая от суммы градусо-дней мороза и толщины снежного покрова на припаяе. Были получены оригинальные эмпирические зависимости и показано, что в целом полученные выражения (5.4), (5.5) и (5.7) допустимы только для приближенных (качественных) расчётов толщины припая.



**Рис. 5.19:** Сравнение измеренных толщин припая и рассчитанных с использованием полученных эмпирических зависимостей

# ДИНАМИКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕЧНЫХ ПЛЮМОВ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ LANDSAT 8 И SENTINEL-2

А. А. Осадчиев, Р. О. Седаков  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

SPREADING DYNAMICS OF RIVER PLUMES IN THE NORTHEASTERN PART OF THE BLACK SEA BASED ON LANDSAT 8 AND SENTINEL-2 SATELLITE IMAGERY

A. A. Osadchiev, R. O. Sedakov  
Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*osadchiev@ocean.ru*

Ключевые слова: *поверхностные течения, речной плум, взаимодействие плумов, малые реки, внутренние волны, Черное море, Landsat 8, Sentinel-2.*

Keywords: *surface currents, river plume, plume interaction, small rivers, internal waves, Black Sea, Landsat 8, Sentinel-2.*

На основе снимков спутниковых сканеров цвета Landsat 8 и Sentinel-2, сделанных с небольшим временным интервалом, были исследованы прибрежные поверхностные течения в северо-восточной части Черного моря и изучены процессы распространения речных плумов в этом регионе. Несколько раз в год спутники Landsat 8 и Sentinel-2 пролетают над этим регионом с интервалом в 2-7 минут. Анализ таких пар практически одновременных изображений цвета океана с помощью численных алгоритмов распознавания объектов и регистрации их движения дает возможность восстанавливать структуру поверхностных течений в период спутниковой съемки с высокой точностью. Особенно эффективно эти алгоритмы восстанавливают смещение хорошо различимых на спутниковых снимках и динамически активных фронтальных зон и внутренних волн, образующихся в результате формирования и распространения речных плумов в прибрежной зоне моря.

В данной работе исследовалась динамика плумов, формируемых малыми реками северо-восточного побережья Черного моря при различных условиях внешнего воздействия. Для этого были проанализированы пары спутниковых снимков, сделанных в течение 6 дней в 2016-2017 гг. Для этих периодов с помощью алгоритмов вычисления оптического потока были рассчитаны скорости и направления поверхностных течений, связанных с движением речных плумов в исследуемом регионе. На основе построенных полей течений было показано, что структура и динамика исследуемых плумов, формируемых реками с небольшим объемом стока, но с высокой скоростью потока, существенным образом отличается от классической структуры и динамики речных плумов.

Высокая скорость речного потока при относительно малом объеме стока и, тем самым, малой энергии потока, приводит к формированию гидравлического скачка в приустьевой зоне и быстрой диссипации инерционной энергии потока в результате трения с нижележащими морскими водами. В результате того приустьевая часть плума, характеризующая инерционным движением, имеет малые размеры, и на ее границе формируются значительные градиенты давления, не характерные для плумов более крупных рек или рек с менее быстрым течением. Из-за этого даже при слабом ветровом воздействии в исследуемых плумах не формируется антициклоническая рециркуляция в приустьевой области. В результате этого поступающий пресноводный сток не аккумулируется в этой области и быстро выносится во внешнюю часть плума, чья динамика определяется, в первую очередь, ветровым воздействием.

Значительные отличия в динамике исследуемых плумов от плумов, формируемых более крупными реками или менее быстрыми речными потоками, были сгонных и выявлены в отклике их внешних частей на ветровое воздействие, в первую очередь, для апвеллинговых ветров. С помощью анализа спутниковых снимков было показано, что при апвеллинговых ветрах пространственные масштабы

плюма в направлении поперечном берегу превышают его пространственные масштабы во вдольбереговом направлении, что способствует интенсивному выносу опресненных вод в открытое море.

на основе анализа спутниковых снимков были идентифицированы высокочастотные внутренние волны, генерируемые в районах речных устьев в результате формирования гидравлического скачка при взаимодействии быстрого речного потока и морских вод. Распространение подобных внутренних волн в стратифицированной внешней части плюма приводит к усилению перемешивания на границе между внешней частью плюма и нижележащими морскими водами. На основе спутниковых снимков изучены условия формирования и рассчитаны основные характеристики этих волн для рассматриваемых рек. В частности, показано, что подобные волны не формируются под воздействием даунвелингового ветра даже при достаточно большой скорости речного потока

Также на основе анализа спутниковых данных было показано, что динамическое взаимодействие, которое часто возникает между близко расположенными речными плюмами во время краткосрочных паводков, может существенным образом влиять на их структуру и динамику. В частности, эти процессы существенно уменьшают градиенты плотности и давления на границах взаимодействующих плюмов по сравнению с изолированными плюмами и, тем самым, влияют на скорости смещения их фронтальных зон. Так, в случае однородного вдольберегового ветра распространение приустьевой части речного плюма в сторону более соленой и плотной внешней части соседнего плюма происходит более медленно по сравнению с распространением изолированного плюма из-за повышенного вертикального трения (из-за пониженной стратификации) и пониженного градиента давления между двумя плюмами. Подобный эффект регулярно наблюдается в исследуемом регионе и существенным образом влияет на структуру и динамику взаимодействующих плюмов.

*Сбор и обработка спутниковых данных выполнен в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0002), анализ спутниковых данных и данных численного моделирования выполнен при поддержке РФФИ (проект № 18-17-00156).*

# ВЛИЯНИЕ ЭСТУАРНЫХ И ДЕЛЬТОВЫХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ РЕЧНЫХ ПЛЮМОВ И ОПРЕСНЕННЫХ ЛИНЗ В КАРСКОМ МОРЕ И МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

А.А. Осадчиев

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

INFLUENCE OF ESTUARINE AND DELTAIC CONDITIONS ON FORMATION OF RIVER PLUMES  
AND ROFT'S IN THE KARA AND LAPTEV SEAS

A. A. Osadchiev

Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*osadchiev@ocean.ru*

Ключевые слова: *речной плюм, речное устье, речная дельта, приливы, Енисей, Лена, Хатанга, Карское море, море Лаптевых.*

Keywords: *river plume, river estuary, river delta, tides, Yenisei, Lena, Khatanga, Kara Sea, Laptev Sea.*

Карское море и море Лаптевых получают очень большой объем речного стока (1500 км<sup>3</sup> в год и 800 км<sup>3</sup> в год соответственно), составляющий более половины объема континентального стока в Арктику. Большая часть речного стока поступает в Карское море из Енисейского залива (630 км<sup>3</sup> в год из р. Енисей) и Обской губы (430 км<sup>3</sup> год из р. Обь и более 100 км<sup>3</sup> в год из рек Таз, Пур и других более мелких рек). Большая часть речного стока в море Лаптевых приходится на долю 500-километровой дельты р. Лена (525-590 км<sup>3</sup>), а также 50-километровой дельты р. Усть-Оленек (36 км<sup>3</sup>) и 100-километровой дельты р. Яна (34 км<sup>3</sup>), расположенных в 50 км к западу и 200 км к востоку от дельты р. Лена соответственно. Кроме вышеперечисленных дельтовых рек значительный вклад в континентальный сток в море Лаптевых дает р. Хатанга (85 км<sup>3</sup>), чей узкий (50-15 км) и протяженный эстуарий (270 км) расположен в юго-западной части моря. 80-85% материкового стока поступает в Карское море и море Лаптевых в июне-октябре, в результате чего в южных частях этих морей формируются приповерхностные опресненные слои (линзы), чьи площади в среднем превышает 300 000 км<sup>2</sup>. Эти линзы являются двумя крупнейшими опресненными водными массами Арктики, чем обуславливается важность исследования их структуры, динамики и изменчивости как важного источника формирования соленостной стратификации в Арктике, которая играет ключевую роль в изменчивости ледяного покрова и регионального альбедо, влияющего, в свою очередь, на климатические процессы в глобальном масштабе.

Как было сказано выше, по объему поступающей пресной воды и пространственным масштабам линза моря Лаптевых сходна с линзой Карского моря. Тем не менее, у линзы моря Лаптевых есть ряд характерных особенностей, обусловленных условиями ее формирования преимущественно дельтовыми реками. Во-первых, многочисленность и распределённость источников континентального стока вдоль большого участка берега способствует значительному вдольбереговому пространственному масштабу линзы моря Лаптевых. Во-вторых, невысокая скорость вытока из многочисленных протоков способствует однородности циркуляции и относительно невысоким градиентам термохалинных характеристик в зональном направлении (по сравнению с Обской губой и Енисейским заливом - двумя точечными источниками линзы Карского моря). В-третьих, небольшая глубина дельтовых протоков препятствует проникновению в них соленых вод, что приводит к формированию большей аномалии солености в речных плюмах (по сравнению с речными эстуариями) и, тем самым, к меньшей толщине и большей стратификации линзы моря Лаптевых по сравнению с линзой Карского моря. Это, в свою очередь, приводит к более эффективной передаче импульса опресненному слою от ветрового воздействия и, тем самым, более быстрому и масштабному отклику линзы моря Лаптевых на ветровое воздействие.

В рамках 69-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в августе-сентябре 2017 года были проведены гидрофизические исследования Карского моря и моря Лаптевых. В зоне распространения центральной части линзы моря Лаптевых (приуроченной к восточной части дельты р. Лена) были



проведены измерения вертикального распределения температуры, солености и мутности. На основе этих измерений было определено, что вертикальный масштаб центральной части линзы моря Лаптевых (до изохалины в 26 епс) составлял 13-15 м на протяжении 350 км от источника пресной воды в восточной части дельты р. Лены практически до района континентального склона в центральной части моря Лаптевых. Подобное сохранение вертикального масштаба на столь существенном удалении от источника пресной воды, характерное для линзы моря Лаптевых (500 км в 2016 году, более 350 км в 2017 году) существенно превышает значения для сравимой по масштабам линзы Карского моря (150 км в 2011 году, 350 км в 2016 году). Этот эффект, как было сказано выше, вызван особенностями формирования линзы моря Лаптевых преимущественно дельтовыми реками, что приводит к меньшей толщине и большей стратификации линзы моря Лаптевых по сравнению с линзой Карского моря, формируемой реками эстуарного типа. Повышенная стратификация эффективно препятствует перемешиванию, что приводит к более длительному сохранению вертикальных масштабов при распространении линзы в море и, тем самым, к большим горизонтальным масштабам и большей аномалии солености линзы моря Лаптевых по сравнению с линзой Карского моря.

В рамках 69-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» также были проведены измерения термохалинных и оптических характеристик поверхностного слоя в эстуарии р. Хатанга - Хатангском заливе. Результаты измерений показали, что плюм Хатанги занимает всю толщу воды от поверхности до дна в западной части Хатангского залива. Эта часть залива мелководна (до 20 м) и изолирована от открытого моря, что препятствует проникновению в нее соленых вод. Кроме того в этой части залива усиливается приливная циркуляция (амплитуда достигает 2 м), в результате чего происходит интенсивное вертикальное перемешивание, увеличивающее толщину плюма и приводящее к формированию слабых вертикальных градиентов солености и температуры в водной толще залива и сильных горизонтальных градиентов в поверхностном слое. Из-за взмучивания донных отложений концентрация взвешенного вещества в этой части залива достигает максимальных значений. Таким образом, даже в условиях невысокого расхода воды в р. Хатанга (около 2500 м<sup>3</sup>/с), форма Хатангского залива и приливные колебания приводят к формированию 20-метрового плюма Хатанги (длиной 150 км), который далее распространяется в более глубокую восточную часть залива. В эту часть залива происходит заток более соленых вод из открытого моря, в результате чего формируется двуслойная структура. В этой части залива интенсивное приливное перемешивание служит фактором уменьшающим толщину Хатангского плюма с 20 м в центре залива до 10 м в районе острова Бегичев на границе с открытым морем. Горизонтальные градиенты солености и температуры в поверхностном слое также уменьшаются в несколько раз в восточной части залива по сравнению с его западной частью.

По форме, рельефу дна, глубинам и линейным размерам Хатангский залив сходен с Енисейским заливом, расположенным на той же широте на 800 км западнее у западного берега полуострова Таймыр. В оба залива впадают крупные реки, образующие крупные речные плюмы. Важным отличием заливов является наличие существенных приливных колебаний в Хатангском заливе и их отсутствие в Енисейском заливе, что обуславливает значительные различия в вертикальной структуре плюмов Енисея и Хатанги не только в самих заливах, но и за их пределами. Толщина плюма Хатанги (до изохалины 15 епс) в районе узкого пролива в центральной части Хатангского залива (170 км от устья реки) составляет 20 м. Несмотря на то, что сток р. Енисей в 6.5 раз больше, чем сток р. Хатанги, толщина плюма Енисея в период максимального стока на выходе из Енисейского залива (150 км от устья реки) составляет всего 10 м, а в период межени поверхностная соленость превышает значение в 15 епс уже на расстоянии 15 км от устья реки. С одной стороны, подобный эффект вызван наличием интенсивного вертикального перемешивания, обусловленного приливными колебаниями в Хатангском заливе, и сильной стратификацией в Енисейском заливе с другой стороны, в результате чего больший енисейский сток формирует более тонкий плюм, чем меньший хатангский сток. Пример Хатанги также стоит особняком от плюмов других крупных рек арктического региона, для которых характерно отсутствие сильной приливной циркуляции и сильных вертикальных градиентов. В частности, толщина плюма Лены (до изохалины 15 епс) на расстоянии всего 100 км от дельты составляет 5-7 м, а толщина плюма би а выходе из Обской губы не превышает 15 м.

*Сбор натурных данных выполнен в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0002), исследование речных плюмов выполнено при поддержке РФФИ (проект 18-05-00019 а), исследование опресненных линз выполнено при государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук (проект МК-6168.2018.5).*

## СОПОСТАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТЫ СИСТЕМ МОРСКИХ ПРОГНОЗОВ

О. С. Пузина, А. И. Мизюк  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

## COMPARISON OF THE BLACK SEA TEMPERATURE FROM THE RESULTS OF THE OCEAN FORECASTING SYSTEMS

O. S. Puzina, A. I. Mizyuk  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*oksana\_puzina@mail.ru*

Ключевые слова: *Чёрное море, оперативная система, валидация, Copernicus, численное моделирование.*

Keywords: *Black Sea, operational system, validation, Copernicus, numerical modeling.*

В данной работе представлены некоторые результаты сопоставления продуктов оперативных систем анализа и прогноза состояния Чёрного моря Центра морских прогнозов Черного моря (ЦМП ЧМ) (<http://mis.bsmfc.net/>) Морского гидрофизического института РАН (МГИ, г. Севастополь, Россия) и Службы мониторинга морской среды программы Copernicus (CMEMS, <http://marine.copernicus.eu/>).

Отмеченные оперативные системы осуществляют морские прогнозы в акватории Черного моря посредством численного моделирования с усвоением данных наблюдений. Первый продукт это массив анализа «BLACKSEA\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHYS\_007\_001», выполненный в ЦМП ЧМ МГИ. Ядро данной оперативной системы составляют численная модель циркуляции МГИ [1, 2] и модуль усвоения данных спутниковой альтиметрии на основе процедуры оптимальной интерполяции, а также релаксаций к спутниковой температуре поверхности моря (ТПМ) и среднегодовым профилям температуры и солености. В качестве атмосферного воздействия используется результат работы системы SKIRON Афинского университета (<http://forecast.uoa.gr/forecastnew.php>). Пространственное разрешение по горизонтали составляет  $11/180^\circ \times 2/45^\circ$  [1]. По вертикали используются 38 z-горизонтов с улучшенным разрешением в верхнем слое.

Результаты работы системы сопоставляются с массивом анализа «BLKSEA\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHYS\_007\_001», выполненного в Евро-средиземноморском центре по изменению климата (CMCC) (Лечче, Италия) [3]. Данная прогностическая система основана на гидродинамической модели NEMO v3.4 [4]. Анализ гидрофизических полей выполняется посредством процедуры вариационной ассимиляции данных наблюдений (3DVAR), первоначально разработанной для Средиземного моря, а затем обобщенной на Мировой океан [5]. Для атмосферного воздействия используются оперативные данные системы Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). Предоставляемые системой CMEMS поля гидрофизических параметров имеют горизонтальное разрешение  $1/36^\circ$  в меридиональном и  $1/27^\circ$  в зональном направлениях, что составляет около 3 км. По вертикали продукт доступен на 31 неравномерно расположенных z-горизонтах.

Сопоставление выполнено для периода 2016 - 2017 гг. с использованием также данных буёв ARGO «INSITU\_BS\_NRT\_OBSERVATIONS\_013\_034» и спутниковой ТПМ уровня L4 «SST\_BS\_SST\_L4\_NRT\_OBSERVATIONS\_010\_006\_a\_V2» (<http://marine.copernicus.eu/>). Для этого сравниваем среднесуточные отклонения модельной температуры от измеренной в деятельном слое моря. В слое 0 - 30 м зимой модельная температура в результатах работ оперативных систем отклоняется незначительно. В летний период температура анализа по данным ЦМП ЧМ  $T_{MHI}$  выше, чем измеренная, в отличие от результатов систем Copernicus ( $T_{CMEMS}$ ). В слое 30 - 100 м в осенний период отклонение  $T_{CMEMS}$  от наблюдений два раза больше, чем  $T_{MHI}$ . Глубже, в слое 100 - 300 м,  $T_{MHI}$  ниже измеренной, а  $T_{CMEMS}$  - выше. При этом значения отклонений от наблюдений для двух продуктов в среднем не превышают  $0,25^\circ\text{C}$ .

Сравнив ТПМ в продуктах со спутниковой температурой поверхности моря, видно, что в летне-осенний период ошибки анализа в системе Copernicus превышают ошибки анализа по данным ЦМП ЧМ приблизительно на 0,2 °С. В зимний период ошибки анализа в обоих продуктах имеют одинаковый характер изменчивости и течение сезона падают на 0,4 °С.

Таким образом, продукт Центра морских прогнозов Черного моря на поверхности и в слое 30 - 100 м имеет лучшую точность по сравнению с продуктом Службы мониторинга морской среды программы Copernicus. В слое 0 - 30 м и 100 - 300 м уровень точности приблизительно одинаков.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ № 17-77-30001.*

### Литература

1. Дорофеев В.Л., Коротаев Г.К., Мартынов М.В., Ратнер Ю.Б. Система мониторинга гидрофизических полей Черного моря в квазиоперативном режиме // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Вып. 11. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. С. 9–24.
2. Демышев С.Г., Г.К. Коротаев Численная энергосбалансированная модель бароклинных течений океана с неровным дном на сетке. Численные модели и результаты калибровочных расчетов течений в Атлантическом океане. М.: ИВМ РАН. 1992. С. 163-231
3. Ciliberti S., Peneva E., Storto A. et al. Quality Information Document for BS Currents analysis and forecast product: BLKSEA\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHYS\_007\_001 // Copernicus Marine Environment Monitoring Service. 2016. pp. 29.
4. Madec G. NEMO ocean engine // Note du pôle de modélisation, IPSL, France N°27 ISSN N. 2012. pp. 1288-1619.
5. Farina R., Dobricic S., Storto A. et al. A revised scheme to compute horizontal covariances in an oceanographic 3D-VAR assimilation system // J. Comput. Phys. 2015. 284. pp. 631-647.

# ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ПРОБЛЕМЫ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИЛИВА В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

К.Е. Ривкин  
ООО «Фертоинг»

ASSESSMENT OF THE IMPORTANCE OF THE PROBLEM OF SEASONAL VARIABILITY TIDE IN THE SEAS OF THE RUSSIAN ARCTIC

K.E. Rivkin  
Fertoing Ltd.

*k.rivkin@fertoing.ru*

Ключевые слова: *океанология, приливы, сезонная изменчивость гармонических постоянн прилива.*

Keywords: *oceanology, tides, seasonal variability of harmonic constant tides.*

Явление сезонной изменчивости основных волн приливов в арктических морях известно более полувека по данным наблюдений за приливами. В России первым, кто обнаружил внутригодовую изменчивость констант приливов по результатам анализа месячных реализаций годовой ежечасной серии наблюдений за приливами в Екатерининской гавани за 1906-1907 гг., был Бухтеев А.М. (1912). Но ввиду незначительности изменений амплитуд и фаз основных волн прилива в годовом цикле в этом пункте Бухтеев не ввел понятие о сезонном ходе прилива [3]. Это было сделано позже Визе В. Ю. (1936) на основе данных наблюдений за приливами в арктических морях. Согласно теоретическим работам Свердрупа Х. (1926), Зубова Н.Н. (1933) и др. сезонное изменение величины прилива в морях Северного Ледовитого океана должно быть связано с годовым изменением состояния ледового покрова СЛО. Альтернативное объяснение годовой модуляции амплитуды и фазы волны M2 было предложено Корканом Р. (1934). Коркан также пытался найти взаимосвязь модуляции этой волны с градиентами давления и ветром над Северным морем. Картрай . (1968) предложил другой формальный механизм модуляции M2 в виде нелинейного взаимодействия этой волны с годовой гармоникой Sa. Однако, в последующих работах (Пью и Вэсси 1976, Эймин М. 1983-1987) это явление не нашло подтверждение.

В работах Войнова Г.Н. (1988, 1999, 2003, 2010) был выявлен разнообразный вид сезонного хода констант приливов в Баренцевом море и других арктических морях. Установлена его сильная зависимость от местных условий, предложена его классификация и рассмотрены в общем виде различные физические механизмы сезонной изменчивости приливов.

В целом, основными механизмами, определяющими сезонный ход амплитуд и фаз приливных волн считаются:

- сезонная изменчивость генерации баротропным приливом бароклинных приливных колебаний;
- сезонная изменчивость стерических эффектов;
- сезонная изменчивость нелинейных потоков энергии;
- сезонная изменчивость ледового покрова;

В рамках данной работы рассматривалось явление сезонной изменчивости констант прилива, проявляющейся как в течениях, так и в ходе уровня моря.

Для изучения механизмов сезонной изменчивости нами было рассмотрено 2 района: Акватория южной части арх. Шпицберген (Баренцево море) и вершина Кандалакшского залива Белого моря (Белое море). Для Баренцева моря анализировались данные по течениям, полученным с АБС (1год) и данные уровня моря с ГМС Баренцбург (3 года). Для Белого моря анализировались данные уровня моря на станциях Умба и Кандалакша (5 лет). Для выявления внутригодового хода амплитуд и фаз волн прилива был проведен гармонический анализ по месяцам с использованием программы T-Tide, написанной в компьютерной среде Matlab.

Наблюдается сезонная изменчивость волн прилива в районе юго-западного побережья Шпицбергена, проявляющаяся как в течениях, так и в уровне моря. Различное поведение фаз приливных гармоник с глубиной говорит о сильной бароклинности приливных течений, что, вероятно, и является причиной сезонной изменчивости. Сезонной изменчивости подвержены все параметры приливных течений. Сезонная изменчивость течений K1 и M2 имеет локальные особенности. Так, в частности, совместное влияние различных глубин и различной общей циркуляции вод по разные стороны м. Южный приводят к различному характеру сезонного хода параметров эллипса течений обеих гармоник. В случае K1 влияет, по всей видимости, еще и общее увеличение ее энергии с западной стороны м. Южный. Отмечено также, что сезонная изменчивость течений неоднородна по глубине - существенное влияние общей бароклинности прилива.

В вершине Кандалакшского залива Белого моря ведущим фактором, влияющим на сезонную изменчивость гармоник является орография берегов. На станции Кандалакша амплитуда волны M2 в июле на 10 см превышает аналогичную величину в январе. Высота прилива, обуславливаемая этой гармоникой, соответственно меняется на 20 см, что уже существенно для навигации. Дальнейшая работа в этом направлении будет направлена на изучение механизмов сезонной изменчивости в данном районе, определении влияющих на нее факторов.

### Литература

1. Дуванин А.И. «Приливы в море». Л.: ГИМИЗ, 1960 г. 390 с.
2. Войнов Г.Н. О новой интерпретации сезонной изменчивости приливов арктических морей России. Метеорология и Гидрология. 2003. № 9. с. 59-70.
3. Войнов Г.Н. Приливные явления и методология их исследований в шельфовой зоне арктических морей (на примере Карского и северо-восточной части Баренцева морей): Автореф. Дисс. ...д-ра геогр. Наук. РГМУ. СПб., 2003. 45 с.
4. Войнов Г.Н. Методика контроля и редакции многолетних временных рядов уровня моря. Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 4 (90). С. 51-61.
5. Захарчук Е.А. Особенности пространственно-временной изменчивости течений на северо-востоке Баренцева моря по наблюдениям на буйковых станциях. В кн: Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Кольский научный центр РАН. Министерство образования и науки Российской Федерации. Выпуск 2. Апатиты. 2007
6. Захарчук Е.А. Синоптическая изменчивость течений в западной части Баренцева моря по данным наблюдений на буйковых станциях. В кн.: Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Кольский научный центр РАН. Министерство образования и науки Российской Федерации. Выпуск 1. Апатиты. 2004. с. 326-350.
7. Башмачников И.Л., Иванов Н.Е., Рожков В.А. Методы анализа приливных движений в морях // Навигация и гидрография. 2001. вып. 13.
8. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия под ред. Терзиева Ф.С., Л.: Гидрометеоздат 1990. 280 с.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАКАТА ВОЛН НА МЕЛКОВОДЬЕ НА «БЕЗОТРАЖАТЕЛЬНЫЙ» И ПЛОСКИЙ ДОННЫЙ ПРОФИЛИ С УЧЕТОМ ОБРУШЕНИЯ

А. А. Родин, А. А. Куркин, А. С. Козелков, Д. Ю. Тюгин  
Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород

EXPERIMENTAL STUDY OF THE WAVE RUN-UP IN THE SHALLOW WATER ON THE «NON-REFLECTING» AND FLAT BOTTOM PROFILES TAKING INTO ACCOUNT THE WAVE BREAKING

A. A. Rodin, A. A. Kurkin, A. S. Kozelkov, D. Y. Tyugin  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

*xmrrarro@gmail.com*

Ключевые слова: *лабораторный эксперимент, численный эксперимент, длинные волны, накат на берег, безотражательный донный профиль.*

Keywords: *laboratory experiment, numerical experiment, long waves, run-up on the beach, non-reflecting bottom profile.*

В работе лабораторно и численно исследуется динамика наката длинных волн на профили дна с различными сечениями: плоский наклонный пляж и так называемый безотражательный донный профиль, от которого, в рамках теории мелкой воды, отсутствует отражение. Глубина, при такой конфигурации донного профиля, связана с расстоянием от уреза зависимостью  $h \sim x^{4/3}$  [1].

Высота наката длинной волны на «безотражательный профиль» в рамках линейной теории мелкой воды, существенно превышает высоту наката волны на плоский откос. При отражении волны от уреза, в таком случае, полярность отраженной волны противоположна полярности падающей волны.

Лабораторные эксперименты проводились в волновом бассейне на базе НИЛ Моделирования Природных и Техногенных Катастроф в Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева. Бассейн, в котором проводились опыты, имеет следующие размеры: длина - 6.5 м; ширина - 0.5 м; высота - 1 м и предназначен для моделирования динамики внутренних и поверхностных волн на воде в лабораторных условиях.

Гидродинамическая установка с одной стороны оснащена весельным волнопродуктором о типу качающейся стенки, приводимой в движение шаговым электродвигателем. Волнопродуктор способен совершать колебательные движения в диапазоне частот 0.1-10 Гц с угловой амплитудой до 15 град и наиболее приспособлен для генерации волн в условиях глубокой воды, когда орбитальное движение частиц затухает с глубиной.

Для моделирования задачи генерации и распространения волны прорыва используется герметичная вертикальная заслонка, которая при старте эксперимента со скоростью 1 м/с поднимается вверх.

Колебания поверхности воды фиксировались струнным екостным волномером, располагавшимся в непосредственной близости к волнопродуктору, положение которого регулируется отдельным приводом с шаговым двигателем, обеспечивая автоматическую калибровку вертикального положения датчика относительно дна или уровня налитой жидкости. Дискретность записи уровня водной поверхности на указанном датчике равнялась 100 Гц.

В проведенных экспериментах начальные условия задачи наката представляли собой два сценария: гидродинамический коллапс (обрушение плотины), а также синусоидальный сигнал (как одиночные волны, ак и серии синусоидальных возмущений, состоящие из трех периодов) генерируемый волнопродуктором.

В результате, в случае необрушенных волн малой амплитуды высота наката на вертикальную стенку, установленную на урезе, выше в случае безотражательного пляжа, чем в случае плоского откоса.

С увеличением начальной амплитуды эффекты обрушения волн сказываются сильнее на безотражательном донном профиле, содержащим более длинный участок малых глубин. Этот эффект приводит к тому, что высота наката на плоском откосе становится большей, чем на безотражательном откосе.

Лабораторные эксперименты, посвященные моделированию наката волны прорыва на плоский и «безотражательный» откосы, были повторены численно в рамках нелинейных бездисперсионных уравнений мелкой воды при помощи программного пакета CLAWPACK ([www.clawpack.org](http://www.clawpack.org)). Представлены численные и лабораторные оценки максимальных высот наката. Показано, что высота наката волны при распространении над плоским откосом меньше, чем в случае «безотражательного» донного профиля, за исключением случаев, когда волна подходит к берегу заведомо обрушающейся.

*Представленные результаты научно-исследовательской работы получены при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-1127.2017.5).*

### Литература

1. Диденкулова И.И., Заибо Н., Пелиновский Е.Н. Отражение длинных волн от «безотражательного» донного профиля // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2008. № 4. С. 101-107.

# НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ: ЭФФЕКТЫ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ И ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ ВАРИАЦИЙ СТРАТИФИКАЦИИ ВОД

Е. А. Рувинская, О. Е. Куркина, А. А. Куркин, М. В. Кокоулина  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород

ON THE PECULIARITIES OF THE INTERNAL WAVES DYNAMICS IN THE BALTIC SEA: THE EFFECTS OF THE EARTH'S ROTATION AND THE INFLUENCE OF SEASONAL VARIATIONS OF WATER DENSITY STRATIFICATION

Е. А. Ruvinskaya, О. Е. Kurkina, А. А. Kurkin, М. V. Kokoulina  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

*kokoulinamaria97@gmail.com*

Ключевые слова: *уравнение Гарднера-Островского, зонирование, слоистость, модуляционная неустойчивость, радиус Россби.*

Keywords: *Gardner equation, breather, Baltic Sea, numerical simulation.*

Балтийское море является неглубоким, практически бесприливным шельфовым морем, всестороннее изучение которого особенно актуально в наши дни в связи с тем, что эта акватория активно используется в хозяйственной деятельности девяти стран: трубопроводы, нефтяные платформы, кабели передачи данных, водный транспорт, рыболовство и многое другое факторы возрастающей антропогенной нагрузки, для минимизации которой необходимо учитывать все особенности динамики вод этого моря. Одним из таких важных факторов являются внутренние волны. Как известно, даже в бесприливных морях они могут генерироваться, например, при протекании активных динамических процессов, связанных с возникновением и релаксацией прибрежного апвеллинга и даунвеллинга, вихрями различных масштабов, сгонно-нагонными явлениями, осцилляциями гидрологических фронтов и т.п. (см., напр., [1]). В [2-5] суммированы спутниковые наблюдения поверхностных проявлений внутренних волн в морях без приливов. Пакеты внутренних волн в Балтийском море хорошо заметны на спутниковых фотографиях, находящихся на сайте ИКИ РАН ([http://iki.rssi.ru/asp/iw\\_images/index.html#baltic](http://iki.rssi.ru/asp/iw_images/index.html#baltic)).

В настоящей работе представлены результаты исследования географических и сезонных особенностей стратификации вод Балтийского моря как на основе данных из международного климатического атласа (GDEM), так и с использованием результатов долгосрочных численных расчетов в рамках трехмерной гидростатической модели глобальной циркуляции (модель океана центра Россби, RCOmodel). Проведено зонирование Балтийского моря по типу «слистости» плотностной стратификации: определены области, где профиль плотности морской воды хорошо аппроксимируется двух- либо трехслойной моделью, что позволяет упростить предварительное исследование внутренних гравитационных волн, фактически сводя его к использованию известных аналитических результатов для волн на границах разделов в слоистых жидкостях, и легко проводить предварительные оценки их кинематических и нелинейных характеристик. Исследована возможность реализации эффекта модуляции неустойчивости для длинных внутренних гравитационных волн в Балтийском море. Построены карты распределения параметра модуляционной неустойчивости и критической частоты, при которой развивается модульная неустойчивость. Для определения степени влияния вращения при моделировании распространения короткопериодных внутренних волн построены карты первого бароклинного радиуса Россби для всей акватории Балтийского моря. Для демонстрации влияния эффектов вращения выполнено сравнение результатов моделирования некоторых частных случаев эволюции короткопериодных внутренних волн как с помощью уравнения Гарднера с переменными коэффициентами (море без вращения), так и с помощью уравнения Гарднера-Островского (море с вращением).

*Финансирование: Грант Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ (НШ-2685.2018.5), стипендия Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов на 2016-2018 гг. (СП-2311.2016.5).*



**Литература**

1. Серебряный А.Н., Иванов В.А. Исследования внутренних волн в Черном море с океанографической платформы МГИ // Фунд. и прикл. гидрофизика. 2013. No 3. С. 34-45.
2. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. спутниковые наблюдения вихревых и волновых процессов в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря // Иссл. Земли из космоса. 2009. No 5. С. 72-79.
3. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Спутниковые наблюдения поверхностных проявлений внутренних волн в морях без приливов // Совр. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса. 2010. Т. 7. No 1. С. 260-272.
4. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Сабинин К.Д. Проявление внутренних волн на морской поверхности в северо-восточной части Черного моря // Иссл. Земли из космоса. 2009. No 6. С. 49-55.
5. Лаврова О.Ю., Каримова С.С., Митягина М.И., Бочарова Т.Ю. Оперативный спутниковый мониторинг акваторий Черного, Балтийского и Каспийского морей в 2009–2010 гг. // Совр. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса. 2010. Т. 7. No 3. С. 168-185.

## МЕЗОМАСШТАБНАЯ ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА В РАЙОНЕ ТЕЧЕНИЯ АГУЛЬЯС НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Н. В. Сандалюк, Т. В. Белоненко  
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

MESOSCALE VORTEX DYNAMICS IN THE AGULHAS CURRENT FROM SATELLITE  
ALTIMETRY DATA

N. V. Sandalyuk, T. V. Belonenko  
Saint Petersburg State University, St. Petersburg

*nikitasandaliuk@gmail.com*

*Ключевые слова: уровень океана, альтиметрические измерения, мезомасштабные вихри, волны Россби, критерий нелинейности, относительная завихренность, Южный океан, Индийский океан, SLA, синоптические вихри, аномалии уровня океана, течение Агульяс, ринги Агульясова течения.*

*Keywords: sea level, altimetry, mesoscale eddies, Rossby waves, nonlinearity parameter, relative vorticity.*

Водообмен между Индийским и Атлантическим океанами к югу от Африканского континента происходит по большей части за счет перемещени энергоактивных рингов Агульясова течения в район Капской котловины. Явления Агульясова переноса оказывает существенное влияние на формирование Северо-Атлантической глубинной воды и, как следствие, на всю систему меридиональной Атлантической циркуляции.

Мезомасштабные вихри для Мирового океана выделены методом автоматической идентификации по спутниковым альтиметрическим данным и представлены в массиве «Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH» (<http://wombat.coas.oregonstate.edu/eddies/>). В работе рассматриваются вихри, сформировавшиеся преимущественно в южной части Агульясова течения.

Процедура автоматической идентификации подробно описана в [2], в которой дан также полный статистический анализ глобального массива «Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH». Однако глобальный анализ не позволяет детально рассмотреть вихри в том или ином районе Мирового океана, поэтому необходимо отдельно исследовать характеристики мезомасштабных вихрей в районе течения Агульяс.

Согласно [1-4], средние параметры вихрей за каждую отдельную дату в целом характеризуют вихревую активность в районе, поэтому выбор даты 15.12.2007 для анализа не имеет существенного значения. Мы построили траектории каждого вихря за весь период его существования с момента зарождения до момента диссипации, оценили пройденную дистанцию и время «жизни», рассмотрели средние и экстремальные значения скорости дрейфа вихрей  $s$ , а также рассчитали средний адвективный параметр нелинейности вихрей в течение их жизненного цикла [1, 2]. Статистический анализ характеристик вихрей в данной акватории и попытка связать вихревую активность в данной акватории с Агульясовым переносом является целью следующего исследования.

Показано, что все наблюдаемые вихри в исследуемом районе за выбранную дату являются существенно нелинейными: для абсолютного большинства выделенных вихрей параметр нелинейности превышает значение 10. Отслежены траектории перемещения каждого отдельного вихря: с начала его зарождения до момента его исчезновения с карт аномалий уровня. Исследовано взаимодействие вихрей с существующей системой течений в данном регионе.

Полученные оценки в целом дают наглядное представление о характеристиках синоптических вихрей в данном районе. Мы показали, что многие структуры, идентифицируемые методом автоматической идентификации в поле аномалий уровня океана, в действительности не являются вихревыми образованиями, что подтверждается анализом полей относительной завихренности и параметра Окубо-Вейса. Это может означать, что данные образования в поле уровня являются частью струйного течения или солитонами.

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-05-00452 и 17-05-00034.*

**Литература**

1. Монин А.С., Жихарев Г.М. Океанские вихри // УФН. 1990. Т. 160. Вып. 5. С. 1-47.
2. Chelton D.B., Schlax M.G., Samelson R.M. Global observations of nonlinear mesoscale eddies // Prog. Oceanogr. 2011. 91. pp. 167-216.
3. Pujol M.-I., Faugère Y., Taburet G., Dupuy S., Pelloquin C., Ablain M., Picot N. DUACS DT2014: The new multi-mission altimeter dataset reprocessed over 20 years // Ocean Sci. 2016. 12. pp. 1067-1090. doi: 10.5194/os-12-1067-2016.
4. Williams S., Petersen M., Bremer P.-T., Hecht M., Pascucci V., Ahrens J., Hlawitschka M., Hamann B. Adaptive extraction and quantification of geophysical vortices // IEEE Transactions Visualization and Computer Graphics. 2011. 17. pp. 2088-2095.

# ВЛИЯНИЕ СТОКА РЕК НА ФОРМИРОВАНИЕ ХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ЧЕРНОГО МОРЯ И НА РАСХОД В ПРОЛИВЕ БОСФОР

М. В. Сендеров, А. И. Мизюк  
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

THE BOSPHORUS EXCHANGE FLOW IMPACT ON THE VERTICAL HALINE STRUCTURE AND RIVER RUNOFF

M. V. Senderov, A. I. Mizyuk  
Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*senderovmaxim@gmail.com*

Ключевые слова: *речной сток, халинная структура, численное моделирование, Черное море, Босфор.*

Keywords: *river runoff, haline structure, numerical modeling, Black Sea, Bosphorus.*

Черное море является практически замкнутым бассейном, поэтому проливы и сток рек играют важную роль при формировании вертикальной структуры вод. В частности, на формирование глубинных водных масс значительное влияние оказывает водообмен через весьма узкий пролив Босфор. Таким образом осуществляется связь бассейна с Мировым океаном. Исследование особенностей водообмена и их влияние на структуру солености в Черном море является весьма актуальной задачей [1-4]. Одним из факторов влияющих на формирование водного баланса черноморского бассейна является наличие двух разнонаправленных течений. Сток через верхнебосфорское течение формируется из-за перепада уровней, Черное море на 35 см. выше Мраморного, а приток в нижнебосфорском обусловлен разницей плотностей вод 22 ‰ и 37 ‰ для Черного и Мраморного морей соответственно. Одним из объяснений формирования пролива является геологическая гипотеза Райана - Питмена [5]. По ней предполагается, что землетрясение около 5600 г. до н.э. послужило причиной образования пролива, через который начался вток соленых вод в тогда еще пресные воды черноморского бассейна.

Предполагая достоверность данной гипотезы, в работе [6] было проведено численное моделирование втока мраморноморских вод в Черное море с различной начальной соленостью. Результаты моделирования показали, что независимо от начальных условий расход верхнебосфорского течения приблизительно в два раза больше, чем нижнебосфорского. Такое соотношение согласуется с современными данными [7] несмотря на то, что характер изменчивости расходов удалось воспроизвести лишь качественно. В настоящей работе предлагается продолжение исследований факторов, определяющих современную вертикальную структуру солености Черного моря. На основе долгосрочного численного моделирования исследованы особенности её формирования в бассейне с учетом водообмена через пролив и в зависимости от величины речного стока.

Численные эксперименты были выполнены с использованием модельного комплекса NEMO [8]. Ядро которого основано на численной трехмерной нелинейной модели циркуляции OPA [8]. В ней использована система примитивных уравнений гидротермодинамики в приближении Буссинеска, гидростатики и несжимаемости жидкости. Вид граничных условий и особенности разработанной для этого региональной конфигурации бассейнов Черного, Азовского и Мраморного морей с пространственным разрешением 20 км представлены в работе [6]. Отметим, что в используемой конфигурации учитываются климатические расходы 11 рек (Днестр, Днепр, Дон, Дунай, Ешильырмак, Ингури, Кадори, Кубань, Кызылырмак, Риони, Сакарья). В настоящей работе величина речного стока в численных экспериментах варьировалась посредством умножения на 0.5; 0.75; 1.5; 2.

Результаты численного моделирования показали следующее. Изменение величины речного стока главным образом меняет вертикальную структуру солености в верхнем слое 0-50 м. При этом глубже 50 м соленость меняется незначительно. Увеличение речного стока в 2 раза приводит к сильному распреснению поверхностного слоя. В этих расчетах галоклин выражен явно на глубине порядка 20 м.

В экспериментах с увеличенным стоком рек вертикальная халинная структура качественно близка к современной. В расчетах с уменьшенным речным стоком галоклин плохо выражен.

Средние значения отношения расходов верхнего течения к нижнему хорошо согласуются с величиной суммарного речного стока: выявлена линейная зависимость с коэффициентом корреляции  $R = 0.9$ . Это объясняется тем, что изменение величины речного стока влияет главным образом на расход в верхнебосфорском течении. При этом интенсивность нижнебосфорского течения остается неизменной. Его расход близок к климатическому значению, полученному по данным наблюдений, и в среднем составляет около  $315 \text{ км}^3/\text{год}$ . Отметим, что вывод работы [6] о том, что соотношение между расходами верхнебосфорского и нижнебосфорского течений приблизительно равно двум, обусловлен использованием климатических значений речного стока, полученных по современным данным наблюдений.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений» (шифр «Оперативная океанология»).*

### Литература

1. Sözer A., Özsoy E. Modeling of the Bosphorus exchange flow dynamics // Ocean Dynamics. 2017.
2. Богданова А.К. Водообмен через Босфор и его роль в перемешивании вод Черного моря // Академия наук СССР, труды севастопольской биологической станции. 1959. т. 12.
3. Богданова А.К. Сезонные и межгодовые колебания водообмена через Босфор // Киев: «Наукова Думка», 1972.
4. Мамаев О.И. Простая модель осолонения Черного моря // Океанология. 1994. т. 34. № 6. С. 829-832.
5. Ryan W.B., Pitman W.C. Noah's Flood: The New Scientific Discoveries About the Event That Changed History. New York: Simon and Schuster, 1999. 319 p.
6. Сендеров М.В., Мизюк А.И. Влияние начальных условий на водообмен через Босфор и формирование вертикальной халинной структуры черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2017. Вып. 2. С. 82-89.
7. Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография черного моря // Севастополь, Морской гидрофизический институт, 2011. С. 212.
8. Madec G. NEMO ocean engine // Note du pôle de modélisation, IPSL, France N°27 ISSN N. 2008. pp. 1288-1619.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ АТМОСФЕРОЙ И ОКЕАНОМ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ УСЛОВИЙ

Д. А. Сергеев, М. И. Вдовин, Ю. И. Троицкая  
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF HEAT EXCHANGE BETWEEN THE ATMOSPHERE AND THE OCEAN IN A WIDE RANGE OF CONDITIONS

D. A. Sergeev, M. I. Vdovin, Yu. I. Troitskaya  
Institute of applied physics of the RAS, Nizhny novgorod

*sergeev4758@gmail.com*

Ключевые слова: *океан, атмосфера, пограничный слой, теплообмен, лабораторное моделирование.*

Keywords: *ocean, atmosphere, the boundary layer, heat exchange, laboratory modeling.*

Турбулентные потоки импульса, явного и скрытого тепла на поверхности моря определяют обмен энергией и импульсом между атмосферой и океаном. Эти величины являются важной составной частью моделей циркуляции атмосферы и океана, которые представляют собой один из основных инструментов климатических исследований, прогнозирования погоды, моделирования процессов в пограничных слоях и т.д.

На масштабе пограничного слоя, они являются ключевыми параметрами, которые определяют генерацию волн и формирование верхнего перемешанного слоя океана. При численном моделировании климата и погоды, турбулентные потоки между атмосферой и океаном количественно выражаются через «балк»-формулы, которые связывают их со средними метеорологическими величинами, измеренными на стандартной высоте 10 м (скоростью ветра  $U_{10}$ , перепадом температур  $\Delta T_{10} = T_{10} - T_0$ ) используя определения коэффициентов обмена:  $C_D$  - импульсом,  $C_H$  - теплом [1].

Вопрос о коэффициентах обмена в приводном пограничном слое (или о параметрах шероховатости) тесно связан с вопросом о влиянии поверхностного волнения, а также брызг на обмен импульсом и массой между атмосферой и океаном. Исследования обмена импульсом в широком диапазоне условий, в том числе при сильных ветрах, выполнялись во многих экспериментальных исследованиях. К настоящему времени можно считать достоверно установленным факт тенденции насыщения аэродинамического сопротивления при превышении порогового значения  $U_{10}$  около 25-27 м/с [2]. После превышения этого порога коэффициент сопротивления практически перестает увеличиваться с ростом скорости ветра. Это связывают, в первую очередь, с влиянием обрушений волн, образованием пены и началом генерации брызг. Напротив, имеющиеся результаты экспериментов демонстрируют более слабую зависимость коэффициента теплообмена от скорости ветра и более значительный разброс данных, по сравнению с обменом импульсом см. [1, 3, 4].

Целью настоящего исследования являлось изучение влияния параметров волнения на обмен импульсом и массой в приводном пограничном слое воздуха. Новизна исследования заключалась в использовании специального искусственного, независимого от скорости ветра, управления параметрами волнения, что позволило оценить вклады ветра и волнения в коэффициенты передачи тепла и импульса, а также в температурную шероховатость.

Была выполнена серия экспериментов на ветро-волновом канале большого термостратифицированного бассейна ИПФ РАН по изучению процессов обмена импульсом и теплом в устойчиво термостратифицированном турбулентном пограничном слое воздушного потока над взволнованной поверхностью. Эксперименты были проведены в широком диапазоне скоростей ветра и параметров шероховатости (волн), включая экстремальные, с интенсивным обрушением волн и образованием брызг. Для создания температурной стратификации приводного слоя ветра воздух, поступающий в канал, нагревался до 30-40 градусов. Температура поверхности воды при этом в ходе всех экспериментов поддерживалась постоянной около 15 градусов. Максимальная скорость на оси анала изменялась от 8.8 м/с до 19 м/с, что соответствует эквивалентной скорости 10-35 м/с. Особенностью

настоящего эксперимента являлось наличие возможности изменения характера поверхностного волнения независимо от скорости ветрового потока в канале. Для этого вдоль всего канала была натянута полиэтиленовая москитная сетка толщиной 0.25 мм и ячейкой 1.6 x 1.6 мм. Эта сетка не влияла на теплообмен, зато характеристики поверхностного волнения менялись в зависимости от положения сетки: волны отсутствовали, когда сетка располагалась на уровне невозмущенной поверхности воды, и максимальная амплитуда при наибольшем заглублении сетки (50 см). Одновременные измерения профилей скорости ветра и температуры потока в рабочей секции канала (на расстоянии 6.5 м от входа в канал) проводилось при помощи трубки Пито и термоанемометра. Оба датчика были закреплены на вертикальном сканирующем устройстве. Температура поверхностного слоя воды в рабочей секции измерялась специальным датчиком. Параметры волнения измерялись с помощью трехканального струнного волнографа.

В результате измерений были получены профили средней скорости и температуры в рабочей секции канала (для дальнейшей обработки из температурных профилей была вычтена температура поверхностного водного слоя). По ним методом профилирования [3] были получены значения скорости трения, температурной шероховатости, эквивалентной скорости ветра  $U_{10}$  и разницы температуры  $\Delta T_{10}$ . В итоге были вычислены значения коэффициентов  $C_D$  и  $C_H$ . Построены зависимости коэффициентов от параметров воздушного потока и характеристик волнения. Было продемонстрировано, что, в отличие от турбулентного потока импульса (скорости трения) и коэффициента обмена импульсом, температурная шероховатость (поток тепла) и коэффициент обмена теплом слабо зависят как от скорости, так и от параметров волнения до начала обрушения волн и генерации брызг. Брызги, которые начинают генерироваться тоже примерно после 27 м/с, приводят к сильному росту теплообмена, и тенденции к насыщению, как у коэффициента обмена импульсом, не наблюдается. В дальнейшем необходимо в ходе экспериментов контролировать параметры брызг и исследовать зависимости в первую очередь от них (а не от скорости ветра и характеристик волнения) параметров процессов теплообмена.

*РФФИ 18-05-00265, 17-05-00703, РФФИ 14-17-00667 (выполнялась обработка данных).*

#### Литература

1. Fairall C.W., E.F. Bradley, J.E. Hare, A.A. Grachev, J.B. Edson Bulk parameterization of air-sea fluxes: updates and verification for the COARE algorithm // J. Climate. 2003. V. 16. No 4. pp. 571–591.
2. Troitskaya Yu.I., D.A. Sergeev, A.A. Kandaurov, G.A. Baidakov, M.A. Vdovin, V.I. Kazakov Laboratory and theoretical modeling of air-sea momentum transfer under severe wind conditions // JGR. 2012. V. 117. C00J21. 13 p.
3. Ocampo-Torres F.J., Donelan M.A., Merzi N., Jia F. Laboratory measurements of mass transfer of carbon dioxide and water vapour for smooth and rough flow conditions // Tellus, Ser. B. 1994. V. 46. pp. 16-32.
4. Drennan W.M., Zhang J., French J.R., McCormick C., Black P.G. Turbulent fluxes in the hurricane boundary layer. Part II: Latent heat flux // J. Atmos. Sci. 2007. V. 64. pp. 1103–1115.

# ПОВТОРЯЕМОСТЬ ВЕТРОВЫХ АПВЕЛЛИНГОВ В РАЙОНЕ Г. ГЕЛЕНДЖИКА ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ЗА ПЕРИОД С 1979 ПО 2016 ГГ.

К. П. Сильвестрова  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

WIND-DRIVEN UPWELLINGS NEAR THE GELENDZHIC CITY ACCORDING TO THE  
REANALYSIS DATA IN 1979 - 2016

K. P. Silvestrova  
Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

*ksberry@mail.ru*

Ключевые слова: *прибрежный апвеллинг, Черное море.*

Keywords: *coastal upwelling, Black sea, NCEP/CFSR.*

В работе приведены результаты расчёта критерия апвеллинга по данным реанализа NCEP/CFSR в северо-восточной части Черного моря в районе г. Геленджика. Установлено, что при сильных продолжительных северо-западных ветрах в данном районе, как правило, возникает апвеллинг. В зависимости от интенсивности ветрового воздействия и динамики вод происходит выход подтермоклинных вод на поверхность (полный апвеллинг) или происходит небольшое поднятие термоклина (полный апвеллинг) [Сильвестрова и др., 2017].

Критерий апвеллинга определяется по формуле (5.8) для каждого года с апреля по ноябрь, т.к. в зимний сезон плохо выражен термоклин и расчет критерия не возможен.

$$Ru = HR_d \frac{\tau_y t}{f \rho_w} \quad (5.8)$$

Здесь  $\tau_y$  - вдоль береговая составляющая напряжения трения ветра,  $t$  - время квазистационарного действия апвеллингового ветра,  $f$  - параметр Кориолиса,  $\rho_w$  - плотность морской воды,  $H$  - толщина верхнего квазиоднородного слоя (ВКС),  $R_d$  - локальный бароклинный радиус деформации Россби. Данная методика расчета критерия более подробно описана в работах [1, 2].

В качестве входных данных использована скорость и направление ветра из реанализа NCEP/CFSR с дискретностью 1 час. Система координат была развернута на  $50^\circ$  против часовой стрелки. Таким образом, положительные значения скорости соответствуют вдольбереговому юго-восточному ветру. Такой угол поворота выбран в соответствии с ориентацией береговой линии в исследуемом районе. Также для расчетов использовались данные метеостанции г. Геленджик и средние многолетние значения ВКС, рассчитанные по данным экспедиционных исследований.

Физический смысл критерия апвеллинга заключается в том, что при достижении критерием  $Ru$  значения  $-1$  и менее, экмановской накачки становится достаточно для выхода подтермоклинных вод на поверхность. Данное явление может усиливаться или ослабляться в зависимости от течения.

Межгодовая изменчивость ветровых апвеллингов представлена на рис. 5.20. Всего с 1979 по 2016 гг. зафиксировано 123 случая. За исследуемый период только в один год (2010 г.) не было зарегистрировано ни одного случая критерием  $Ru < -1$ . В 1988, 1989, 1997, 2000, 2001 и 2002 гг. ветровой апвеллинг наблюдался один раз в год. В 1987 году наблюдался абсолютный максимум - 8 случаев. Большое количество (6 случаев) наблюдалось в 1995, 1996, 2004, 2005 и 2009 гг. В среднем, исходя из расчетов, такие явления происходят 3 раза в год.

Для анализа сезонной изменчивости были просуммированы случаи апвеллинга по месяцам (рис. 5.21). Максимальное количество событий приходится на летний период (июль), минимальное на весенний (апрель-май). При сопоставлении критерия апвеллинга со случаями, когда велики значения экмановской накачки (рассчитанной по тем же входным параметрам и являющейся расчетной частью критерия апвеллинга), видны отличия. В апреле и ноябре наблюдаются высокие значения

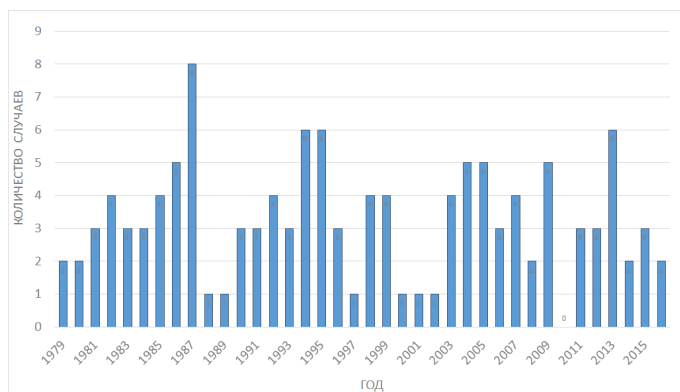


экмановской накачки, хотя случаев, когда критерий  $Ru < -1$ , немного. Такая разница связана с большой мощностью ВКС в эти месяцы. Полученные результаты позволяют предположить, что в случаях, когда мощность ВКС в весенний и осенний сезоны составляет меньше 20 метров, велика вероятность возникновения ветрового апвеллинга.

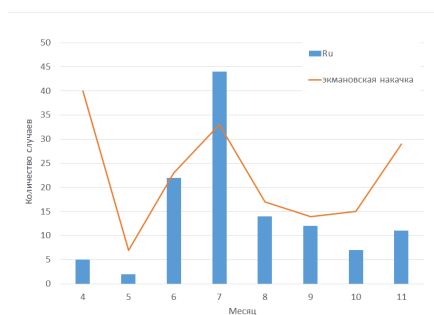
*Обработка и анализ данных выполнен в рамках гранта РНФ 14-50-00095, одготовка тезисов доклада к публикации в рамках бюджетной темы № 0149-2018-0003.*

### Литература

1. Зацепин А.Г., Сильвестрова К.П., Куклев С.Б. и др. Наблюдение цикла интенсивного прибрежного апвеллинга и даунвеллинга на гидрофизическом полигоне ИО РАН в Черном море // Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 629–642.
2. Сильвестрова К.П., Зацепин А.Г., Мысленков С.А. Прибрежные апвеллинги в Геленджикском районе Черного моря: связь с ветровым воздействием и течением // Океанология. 2017. Т. 57. № 4. С. 521–530.



**Рис. 5.20:** Количество случаев ветрового апвеллинга в период с 1979 по 2016 гг.



**Рис. 5.21:** Сезонное распределение количества случаев ветрового апвеллинга.

# ТЕРМОХАЛИННАЯ СТРУКТУРА И ФОРМИРОВАНИЕ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА COPERNICUS

Н. Б. Степанова<sup>1,2</sup>, А. И. Мизюк<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт, Долгопрудный

<sup>3</sup>Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

TERMOHALINE STRUCTURE AND FORMATION OF THE BALTIC SEA COLD INTERMEDIATE LAYER FROM COPERNICUS PHYSICS REANALYSIS

N. B. Stepanova<sup>1,2</sup>, A. I. Mizyuk<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

<sup>2</sup>Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny

<sup>3</sup>Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*stepanova.nb@ocean.ru*

Ключевые слова: *термохалинная структура, холодный промежуточный слой, ХПС, Балтийское море, формирование водных масс, реанализ.*

Keywords: *Cold intermediate layer, vertical stratification, basin-scale exchange, thermohaline structure, the Baltic Sea, Lagrangian transport.*

Для изучения особенностей формирования термохалинной структуры Балтийского моря проведено исследование на основе продуктов службы мониторинга морской среды программы Copernicus (модель HIROMB) и натуральных данных полученных в ходе мониторинга по программе ЛУКОЙЛ-КМН. Натурные измерения получены STD-зонда Neil Brown Mark III, на 2 глубоководных станциях в Юго-Восточной части Балтийского моря в мае и июле 2004-2006 гг. В качестве результатов численного моделирования использовались поля ретросективного анализа, выполненного за период с 1989 по 2014 гг. на регулярной сетке с разрешением 5,5 км для бассейнов Балтийского и части Северного моря [1]. По вертикали использовались z-горизонты с разрешением 4 м у поверхности, до 30 м у дна (максимальная глубина 303 м). В качестве граничных условий использовался атмосферный реанализ из модели NIRLAM.

С целью подтвердить возможность изучения структуры холодного промежуточного слоя (ХПС) средствами выбранной модели, произведён сравнительный анализ натуральных и модельных данных в весенне-летний период, когда холодный промежуточный слой выделяется на профилях температуры по максимальным положительному и отрицательному градиентам [2]. Для сравнения использовались данные модельного счёта на соответствующие натурным измерениям даты, в узлах сетки максимально приближенных к координатам полевых станций. Результаты показали, что глубина залегания границ ХПС воспроизводится со следующими вариациями: верхняя граница ХПС была занижена моделью на 3,7 м (2004), 6,25 м (2005); нижняя граница завышена на 9,7 м (2004), 1,2 м (2005). Положение халоклина в модели относительно натуральных данных завшено на 5,7 м (2004) и 10,2 м (2005). Однако в воспроизводимой модели вертикальной термохалинной структуре, как и в натуральных данных, отчетливо выделяются однородный и градиентный подслои в поле солёности [3]. Что подтвердило возможность с помощью модели HIROMB исследовать ежегодно повторяющиеся в натуральных данных элементы структуры холодного промежуточного слоя.

Происхождение однородного подслоя - верхней части ХПС, ранее определено на основе анализа натуральных данных в Юго-Восточной Балтике, как слоя, сформированного в пределах чаш отдельных бассейнов, механизмы, связанными с действием ветра и дифференциальным прогревом вод при наличии близких берегов [3]. Градиентный подслей - нижняя часть ХПС, отличается водами пониженной

температуры и солёностью, возрастающей с глубиной. (Однако данные воды не столь высокой солёности, как наблюдаемые характеристики вод залива атлантического происхождения.) Во второй части работы проверяется ранее выдвинутая гипотеза, о формировании градиентного подслоя в ранневесенний период под действием механизма связанного с эстуарным градиентом солёности/плотности, вдоль главной си Балтийского моря [3]. Для её подтверждения проведены численные эксперименты по исследованию обратных траекторий лагранжовых частиц из ЮВБ в период с июля по март (2004-2006). Результаты показали, что в Гданьском бассейне на глубинах, соответствующих нижней части холодного промежуточного слоя, содержатся трассеры, пришедшие из Борнхольмского бассейна и Слупского жёлоба. Так на глубинах с 44 до 64 м (2004), с 48 до 64 м (2005), с 52 до 64 м (2006) зафиксированы трассеры, показавшие обратный ход частиц в Барнхольмский бассейн. Трассеры соответствующие глубинам с 64 по 76 м, во все рассмотренные года указывали при обратном переносе на Слупский желоб. Таким образом проведённый численный эксперимент подтвердил гипотезу о вкладе эстуарного градиента солёности в формирование нижней части холодного промежуточного слоя Балтийского моря.

*Сбор, обработка и анализ натурных данных выполнены в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0003). Численный эксперимент и сопоставительный анализ результатов с натурными данными выполнен при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00453 мол\_а).*

### Литература

1. Axell L. Quality information document Baltic Sea Physical Reanalysis Product <http://marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-BAL-QUID-003-008.pdf>
2. Степанова Н.Б., Чубаренко И.П., Щука С.А. Структура и эволюция холодного промежуточного слоя в юго-восточной части Балтийского моря по данным натурных измерений 2004-2008 гг. // Океанология. 2015. т. 55. № 1. С. 32-43.
3. Stepanova N.B. Vertical structure and seasonal evolution of the cold intermediate layer in the Baltic Proper // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2017. V. 195. pp. 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.05.011>

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ МОРСКОГО  
ЛЬДАА. А. Сумкина<sup>1,2</sup>, П. В. Богородский<sup>2</sup><sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

RESEARCH CONVECTIONS IN THE SNOW COVER OF MARINE ICE

A. A. Sumkina<sup>1,2</sup>, P. V. Bogorodskii<sup>2</sup><sup>1</sup>Institute of Earth Sciences SPbSU, Saint Petersburg<sup>2</sup>Arctic & Antarctic Research Institute, Saint Petersburg

alexandrasumkina@gmail.com

Ключевые слова: *конвективный теплоперенос, снежный покров морского льда, число Рэлея, термодинамическая модель.*

Keywords: *convections, snow cover, Rayleigh number, thermodynamic model.*

Одной из перспективных областей приложения теории конвективных движений является льдо-термика. Природные льды, как правило, покрыты слоем снега, состоящим из ледяного скелета и наполненных воздухом пор. При наличии перепада температур на его внешних границах, внутри снега начинается макроскопическое движение воздуха, значительно интенсифицирующее тепло- и массо-перенос. Особенно благоприятные условия для возникновения неустойчивости паровоздушной смеси создаются в снежном покрове плавающих льдов, наличие незамёрзшей воды под которыми в холодное время года обеспечивает необходимый градиент температуры. Несмотря на то, что этому вопросу посвящён ряд работ, конвекция в снежном покрове морского льда остаётся малоисследованной.

В настоящей работе, выполненной с помощью теоретических и экспериментальных методов, принята очередная попытка исследования этого вопроса. В рамках линейной теории с помощью интегрального варианта метода Галёркина [1, 3] построено аналитическое решение задачи устойчивости жидкости в пористом слое (задача Рэлея-Дарси) для температурных и динамических граничных условий, учитывающих океанографическую специфику задачи [8]. Выявлено её качественное своеобразие по сравнению с аналогичной задачей для однородной жидкости. Показано, что критериальные числа (фильтрационные числа Рэлея), полученные с учётом теплового взаимодействия снежного покрова с атмосферой и льдом могут существенно отличаться от значения  $4p^2$ , соответствующего волновому числу, равному  $p$  для горизонтального пористого слоя с непроницаемыми и идеально теплопроводными границами [1], зачастую принимаемого для оценки условия возникновения конвективной фильтрации в снеге.

Для нахождения величин чисел Рэлея в реальных условиях использованы данные детальных измерений термической структуры и метрических характеристик неподвижного снежно-ледяного покрова пролива Шокальского (арх. Северная Земля), выполненных на специальном ледовом полигоне станции ААНИИ «Мыс Баранова» с октября 2015 по март 2016 г. Измерения температурного поля проводились с помощью термокосы, а метрические характеристики снежно-ледяного покрова в соответствии с наставлением гидрометеорологическим станциям и постам. Результаты чисел Рэлея, в т.ч. их временная изменчивость, дополнены расчётами по термодинамической модели морского льда, учитывающей процессы энерго- и массообмена в пограничном слое атмосферы [1]. С её помощью получены значения градиента температуры в слое снега у дна нарастающего нижележащего слоя льда в зависимости от меняющихся метеоусловий за этот же период времени.

Расчёты чисел Рэлея по термодинамической модели показали их значительную временную изменчивость, обусловленную вариациями атмосферных условий, прежде всего температуры воздуха и скорости ветра. Для оценки конвективного переноса необходимы следующие натурные наблюдения: температура на верхней и нижней границе, высота снежного покрова и метеорологические

параметры. К сожалению, натурные данные для непосредственной оценки параметров конвективно-го теплопереноса в снежном покрове морского льда, скорее всего, отсутствуют [7]. Дополнительную трудность расчёта критериев устойчивости создаёт приблизительный характер эмпирических зависимостей теплофизических параметров снега от его плотности, обусловленный большим разбросом исходных данных [2,6], а также ошибки расчётов вследствие естественной неравномерности толщин снежно-ледяного покрова. Несмотря на это, как и на упрощённую постановку задачи конвективной устойчивости Рэлея-Дарси с горизонтальными границами, игнорирующую ряд процессов, протекающих в реальном снежном покрове, сравнение чисел Рэлея, определённых теоретическим и экспериментальным путём показало их соизмеримость. Это свидетельствует о реальности конвективного режима теплопереноса и закономерно ставит вопрос об учёте его вклада в тепловой и массовый баланс арктических льдов в зимний период, особенно в самый важный, с точки зрения энергообмена моря и атмосферы, начальный период льдообразования и необходимости учёта в термодинамических моделях. Прогресс в его решении ожидается в комплексных наблюдениях, включающих непрерывные измерения высоты снежного покрова и температурного поля в его толще и внешних границах с помощью современной аппаратуры (малоинерционных датчиков температуры, акустических измерителей высоты снега, ИК-радиометров), разворачиваемых, в настоящее время, на базе ледового стационара «Мыс Баранова».

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №17-05-01221), Минобрнауки РФ (проект № 2017-14-588-0005-003) и Росгидромета (Целевая научно-техническая программа 1.5.3.3).*

#### Литература

1. Богородский П.В., А. В. Марченко, А. В. Пнюшков, С. А. Огородов Формирование припая и его воздействие на береговую зону // Океанология. 2010. Т. 50, № 3. С. 345–354.
2. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972.
3. Жекамухов И.М. Уравнение теплопроводности и диффузии пара в снежном покрове // Инж.-физ. жур. 2004. Т. 77. №4. С. 816-820.
4. Жекамухов М.К., Жекамухова И.М. О конвективной неустойчивости воздуха в снежном покрове // Инж.-физ. жур. 2002. Т. 75. №4. С. 65-72.
5. Жекамухов М.К., Шухова Л.З. Конвективная неустойчивость воздуха в снеге // ПМТФ. 1999. Т. 40. № 6. С. 54-59.
6. Powers D., O'Neill K., Colbeck S.C. Theory of natural convection in snow // J. Geophys. Res. 1985. V. 90. N.D6. pp. 10641-10649.
7. Sturm M., Perovich D. K., Holmgren J. Thermal conductivity and heat transfer through the snow on the ice of the Beaufort Sea // J. Geophys. Res. 2002. 107(C21). pp. 8043.
8. Warren S.G., Rigor I.G., Untersteiner N., Radionov V.F., Bryazgin N.N., Aleksandrov Y.I., Colony R. Snow depth on Arctic sea ice // J. Climate. 1999. No. 12(6). pp. 1814–1829.

# ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В БАРЕНЦЕВОМ И ОХОТСКОМ МОРЯХ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АВГУСТЕ-СЕНТЯБРЕ 2017 Г.

Е. И. Свергун<sup>1,2</sup>, А. В. Зимин<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

CHARACTERISTICS OF SHORT-PERIOD INTERNAL WAVES IN THE BARENTS AND OKHOTSK SEAS ACCORDING TO THE DATA OF EXPEDITIONARY RESEARCHES IN AUGUST-SEPTEMBER 2017

E. I. Svergun<sup>1,2</sup>, A. V. Zimin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>2</sup>Russian State Hydrometeorological university, Saint-Petersburg

*Egor-svergun@yandex.ru*

Ключевые слова: *Баренцево море, Охотское море, интенсивные внутренние волны, экспедиционные исследования.*

Keywords: *The Barents Sea, the Sea of Okhotsk, intensive internal waves, expeditionary researches.*

Летом 2017 г. Институтом океанологии им. П. П. Ширшова РАН проведены экспедиционные исследования в Баренцевом и Охотском морях. Общей чертой указанных морей служит наличие короткопериодного внутреннего волнения [1, 2], которое зачастую может быть интенсивным (такие внутренние волны имеют высоту более 10 м и характеризуются сильной нелинейностью) [3, 4]. Исследуемые моря являются полигоном для испытаний отечественной военной техники, а также могут быть перспективны с точки зрения строительства гидротехнических сооружений на шельфе, что делает необходимым изучение закономерности появления интенсивных внутренних волн, ввиду того, что последние могут влиять на управляемость и живучесть подводных аппаратов [5], а также приводить к интенсивным придонным течениям [6], которые пагубно влияют на опоры морских гидротехнических сооружений.

Таким образом, *цель данной работы* - описать по данным наблюдений характеристики короткопериодных внутренних волн на локальных акваториях Баренцева и Охотского морей и выявить особенности появления интенсивных внутренних волн по данным судовых экспедиционных наблюдений.

В работе в качестве *исходных данных* используются записи колебаний температуры в области термоклина высокого пространственно-временного разрешения, полученные с гирлянды термисторов РМЕ (Великобритания). Измерения выполнены в Баренцевом море, севернее мыса Терiberский, и в Охотском море, восточнее мыса Свободный на шельфе и над Курильской котловиной. Обработка записей по *методике*, указанной в [3], позволяет получить информацию о высотах и периодах внутренних волн. На основе полученных данных выполнена оценка ожидаемых высот экстремальных внутренних волн по методике из работы [7].

В общей сложности в Баренцевом море зарегистрировано 386 внутренних волн, характеризующихся высотами от 1 до 5 м, при среднем значении в 2 метра. Периоды внутренних волн колеблются от 5 до 63 минут, составляя в среднем 9 мин. В Охотском море, над Курильской котловиной зарегистрировано в сумме 150 внутренних волн с высотами от 1 до 7 м, при среднем значении в 2 м. Период внутренних волн меняется от 5 до 33 мин, составляя в среднем 12 мин. В шельфовой зоне зарегистрировано 219 внутренних волн с высотами от 1 до 11 м, при среднем значении в 3 м. Такие волны характеризуются периодами от 5 до 45 мин, при среднем значении в 15 мин. Стоит отметить, что лишь в шельфовой зоне Охотского моря по данным наблюдений были зарегистрированы интенсивные внутренние волны.

По результатам оценки ожидаемых высот внутренних волн можно сказать, что в Баренцевом море один раз за теплый период года ожидается внутренняя волна высотой 9 м. В Охотском море, над

Курильской котловиной, за указанный период ожидается волна высотой 10 м. В шельфовой зоне Охотского моря ожидается внутренняя волна высотой 17 м.

В районе шельфа Сахалина восточнее мыса Свободный наблюдаются интенсивные внутренние волны и один раз за теплый период ожидаются волны с высотой более 17 м. Таким образом, при строительстве гидротехнических сооружений на шельфе Сахалина, по-видимому, необходим учет фактора наличия постоянного интенсивного внутреннего волнения.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме №0149-2018-0014 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов и основе физико-математического моделирования и натурных экспериментальных работ».*

### Литература

1. Серебряный А.Н. Внутренние волны в прибрежной зоне Баренцева моря. Поверхностные и внутренние волны в арктических морях. СПб.: Гидрометеоздат. 2002. 363 с.
2. Navrotsky V., Pavlova E. Internal waves space structure in shelf zones of the far eastern seas // Pacific oceanography. 2010. V. 5. No. 1. pp. 65-76.
3. Свєргун Е.И., А.В. Зимн Оценка повторяемости интенсивных внутренних волн в Белом и Баренцевом морях по данным экспедиционных исследований // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2017. Т.10. № 2. С. 13-19.
4. Горшков К.А., В.А. Дубина, А.В. Ермошкин, И.А. Соустова, Ю.И. Троицкая Анализ эволюции интенсивных внутренних волн в Японском и Охотском морях с использованием спутниковых данных радиолокатора с синтезированной апертурой и радиометров // Труды ГОИН. 2011. № 213. С. 234-243.
5. Разумеенко Ю., А. Родионов, М. Шевяков К вопросу об эксплуатации подводных лодок в различных гидрологических условиях // Морской сборник. 2016. Т. 2. № 4. С. 40-46.
6. Тюгин Д.Ю., А.А. Наумов, О.Е. Куркина, А.А. Куркин, Е.Н. Пелиновский Динамические эффекты в придонном слое, индуцированные аномальными внутренними волнами // Экологические системы и приборы. 2014. № 1. С. 20-28.
7. Талипова Т.Г. Статистика и прогноз интенсивных внутренних волн // Приповерхностный слой океана. Физические процессы и дистанционное зондирование. 1999. Т.1. С. 204-219.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ С КУМУЛЯТИВНЫМ ЭФФЕКТОМ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД В АЗОВСКОМ И КАСПИЙСКОМ МОРЯХ

И. А. Третьякова<sup>1</sup>, Н. А. Яицкая<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН

<sup>2</sup>Сочинский научно-исследовательский центр РАН

STUDY OF EXTREME HYDROMETEOROLOGICAL PHENOMENA WITH A CUMULATIVE EFFECT IN THE WINTER PERIOD IN THE SEA OF AZOV AND CASPIAN SEA

I. A. Tretyakova<sup>1</sup>, N. A. Yaitskaya<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Federal Research Center The Southern Scientific Center of the RAS

<sup>2</sup>Sochi Research Center of RAS

*ira.tretyakova@gmail.com*

Ключевые слова: *опасные природные явления, Азовское море, Каспийское море, штормовой нагон, ветровое волнение.*

Keywords: *dangerous natural phenomena, the Sea of Azov, the Caspian Sea, storm surge, wind waves.*

Наибольшую угрозу для людей и прибрежной инфраструктуры представляют опасные природные явления (ОПЯ) с кумулятивным эффектом. Суммарное воздействие экстремальных нагонов и штормового волнения в зимний период может привести к разрушению установившегося льда и его переносу по направлению к берегу.

Нагонные явления в Азовском море наблюдаются практически на всем побережье, особенно сильны колебания уровня в Таганрогском заливе. В Каспийском море нагоны характерны преимущественно для северной части. Наибольшего развития в обоих водоемах штормовое волнение достигает в осенне-зимние месяцы. В Азовском море ветра эффективных направлений, т.е. ветра направление которых приводит к нагонам, имеют западную составляющую, в Северном Каспии - юго-восточную и южную.

Целью работы является выявление потенциальных случаев ОПЯ с кумулятивным эффектом в зимний сезон за период с 1950 по 2015 гг. в Азовском и Каспийском морях на основе данных метеорологических наблюдений. В основу работы положен подход, разработанный для Азовского моря [1, 2] и впоследствии усовершенствованный для Каспийского моря [2, 3].

Ряды регулярных срочных наблюдений опубликованы в открытых источниках с 1966 г. [4], до 1965 г. использован реанализ NCEP/NCAR [5].

Для выявления ситуаций с одновременным наступлением штормового волнения и нагона, минимальные значения скорости ветра приняты равными 15 м/с. В зависимости от географического положения, для каждой гидрометеорологической станции (ГМС) определены ветра эффективных направлений. Так были выделены и объединены все подпадающие случаи, зарегистрированные на пунктах наблюдения.

Из реанализа выбраны узлы, наиболее близко расположенные к метеостанции. Проведено пространственное сопоставление реанализа с данными ГМС в Азовском море (Таганрог, Приморско-Ахтарск) и в Каспийском море (Астрахань, о. Кулалы, о. Тюлений, Махачкала, Дербент, Форт-Шевченко, Актау, Баку, Туркменбаши).

По Азовскому морю в период с 1950 по 2015 гг. выявлено: для ГМС Таганрог 41 день, для ГМС Приморско-Ахтарск 66 дней. Максимальное количество дней для ГМС Таганрог отмечено в зимы 1955/1956, 1988/1989 и 1989/1990 гг. (4 случая продолжительностью ветрового воздействия 6 ч. и более), для ГМС Приморско-Ахтарск в зимы 1988/1989 и 1989/1990 гг. (6 случаев с продолжительностью ветрового воздействия 6 ч. и более). При объединении данных по двум ГМС за рассматриваемый период получено 76 дней, в том числе 15 дней, когда возможно возникновение одновременно штормового волнения и экстремального нагона.



Для Каспийского моря по девяти опорным ГМС выявлено 192 дня с возможным возникновением кумулятивных ОПЯ. Так как Каспийское море имеет субмеридиональное простирание и его протяженность с севера на юг составляет более 1 000 км, то метеорологические ситуации, приводящие к кумулятивным ОПЯ, не возникают одновременно во всем регионе, а только на нескольких ГМС. По каждой станции отдельно количество дней составило: ГМС Астрахань (западное побережье) — 4, ГМС Астрахань (восточное побережье) — 3, ГМС Тюлений — 107, ГМС Кулалы — 18, ГМС Форт-Шевченко — 24, ГМС Махачкала — 23, ГМС Дербент — 25, ГМС Актау — 6, ГМС Баку — 6, ГМС Туркменбаши — 31. Максимальное количество дней (45) наблюдалось за зиму 2004/2005 гг. на ГМС Тюлений.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №16-35-00318 мол\_а, №17-05-41190 РГО\_а.*

### Литература

1. Третьякова И.А. Исследование характеристик ветра над Азовским морем в зимний период 1950-2015 как детерминирующего фактора мультиопасных природных явлений // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Т. 4: Сб. статей IV Всерос. научно-практ. конф. «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности». Сочи: Дониздат, 2017. С. 279-282.
2. Третьякова И.А., Яицкая Н.А. Выделение зимних экстремальных гидрометеорологических явлений с кумулятивным эффектом в Азовском и Каспийском морях // Сб. тез. докл. научн. конф. «Моря России: наука, безопасность, ресурсы». Севастополь: ФГБУН МГИ, 2017. С. 53-54.
3. Третьякова И.А., Яицкая Н.А. Рассмотрение характеристик ветра над Северным Каспием в зимний период 1950–2015 гг. как основной причины возникновения мультиопасных природных явлений // Материалы научных мероприятий, приуроченных к 15-летию Южного научного центра Российской академии наук: Международного научного форума «Достижения академической науки на Юге России»; Международной молодежной научной конференции «Океанология в XXI веке: современные факты, модели, методы и средства» памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова; Всероссийской научной конференции «Аквакультура: мировой опыт и российские разработки» Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. С. 261-262.
4. Бульгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. «Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станция Росси» Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 <http://meteo.ru/data/156-temperature>
5. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bul. Am. meteorol. Soc. 1996. V. 77. No. 3. pp. 437-471.
6. Дьяков Н.Н., Фомин В.В. Синоптические условия возникновения аномальных колебаний уровня Азовского моря // Тр. УкрНИГМИ. 2002. № 250. С. 332–341.

# ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

А. Д. Федорова, А. Г. Егоров

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

VARIABILITY OF THE TEMPERATURE REGIME OF THE ARCTIC SEAS IN A CHANGING CLIMATE USING SATELLITE OBSERVATIONS

A. D. Fedorova, A. G. Egorov

Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), Saint Petersburg

*nfennni@gmail.com*

Ключевые слова: *температура поверхности воды, арктические моря, спутниковые данные.*

Keywords: *sea surface temperature, arctic seas, satellite data.*

Температура поверхности воды является важнейшим параметром в системе океан-атмосфера. В условиях меняющегося климата за последние десятилетия произошло существенное повышение этого параметра. Рост температуры влияет на ледяной покров, и поэтому анализ этих изменений является важным для прогнозирования сроков устойчивого ледообразования. В данной работе были использованы спутниковые данные поверхностной температуре воды: данные AVHRR Pathfinder 1981-2014 гг. и данные MODIS Terra & Aqua 2002-2017 гг. в период замерзания: август-ноябрь для Карского (Карское море поделено на юго-западную и северо-восточную части, рассматривающиеся отдельно), Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Достаточно большая длина ряда AVHRR (34 года) позволяет нам оценить динамику температуры за несколько лет до начала потепления и в течение этого периода. Однако отмечено значительное несоответствие между абсолютными значениями температуры воды между данными AVHRR и MODIS в течение совпадающего периода 2002-2014 гг. (средняя разница составляет от 1,7 до 2,5 °C по отдельным морям). Таким образом, для получения продолжительного ряда, вероятно, требуется корректировка алгоритмов получения температуры поверхности воды с учетом региональных особенностей арктических морей. Возможно, что получится подобрать поправочный коэффициент, так как основные минимумы и максимумы по данным графиков у двух рядов совпадают. Кроме того, между приборами значительно различается и средний процент покрытия, рассчитанный как отношение количества пикселей с актуальными значениями температуры к общему количеству пикселей площади моря. Для совпадающего периода 2002-2014 гг. значения покрытия по MODIS в среднем составляют порядка 70 % от значений AVHRR. Региональные различия таковы - средние значения процента покрытия выше в юго-западной части Карского моря (83% AVHRR, 48% MODIS) и значительно ниже в остальных (50 и 20%, соответственно).

Также были получены распределения максимальных температур по декадам, что является важным показателем при составлении прогноза замерзания моря. по этому показателю сильно отличаются западные и восточные моря. Так, в Карском море наибольшее число лет максимальная температура наблюдалась во второй декаде августа (40%, по 20% у 1й и 3й декад), в море Лаптевых - в третьей (44%) (но во 2й декаде также достаточно много - в 31% случаев), тогда как в Восточно-Сибирском и Чукотском морях максимум пришелся в основном на первую декаду августа (62% и 56%, соответственно).

Кроме того, рассматривалась изменчивость температуры поверхности воды отдельно по каждой декаде. Наиболее интересное применение этих данных - возможность выделения лет с более поздним замерзанием моря (по ненулевому проценту покрытия в ноябре). А также лет, когда максимальные среднегодовые температуры приходятся на осенние месяцы (по пересечению кривых отдельных декад).

Также были построены анимации из карт температуры поверхности воды для каждого моря, позволяющие наглядно увидеть процесс увеличения поверхностных температур за весь рассматриваемый

период, а также проследить за распространением теплых вод из соседних акваторий (особенно в Чукотском и Карском морях). Также были получены осредненные карты для каждой декады за весь период.

Таким образом, были отмечены как общие для всех морей, так и различные локальные изменения температурного режима, нуждающиеся в более подробном изучении для каждого моря в отдельности.

ОЦЕНКИ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ  
КОНВЕКЦИИ В МОРЯХ ЛАБРАДОР, ИРМИНГЕРА И ГРЕНЛАНДСКОМА. М. Федоров<sup>1,2</sup>, И. Л. Башмачников<sup>1,2</sup>, А. В. Весман<sup>2,3</sup>, Т. В. Белоненко<sup>1</sup>, А. В. Колдунов<sup>1</sup><sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург<sup>2</sup>Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени  
Нансена<sup>3</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институтINTERANNUAL VARIABILITY OF DEEP CONVECTION INTENSITY IN LABRADOR, IRMINGER  
AND GREENLAND SEASA. M. Fedorov<sup>1,2</sup>, I. L. Bashmachnikov<sup>1,2</sup>, A. V. Vesman<sup>2,3</sup>, T. V. Belonenko<sup>1</sup>, A. V. Koldunov<sup>1</sup><sup>1</sup>Saint-Petersburg University, Saint-Petersburg<sup>2</sup>Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre<sup>3</sup>Arctic and Antarctic Research Institute*aandmofficially@gmail.com*

Ключевые слова: *глубокая конвекция, глубина перемешанного слоя, межгодовая изменчивость, Атлантической меридиональная термохалинная циркуляция (АТХЦ)*

Keywords: *Deep convection, Quasyhomogenous layer depth, Interannual variability, Atlantic meridional overturning circulation (AMOC).*

Глубокая Конвекция (ГК) в Гренландском море, морях Лабрадор и Ирмингера являются основным источником воды Атлантической меридиональной термохалинной циркуляции (АТХЦ), и представляет собой важный компонент глобальной климатической системы. ГК формируется в локализованных мезомасштабных областях и сопровождается образованием конвективных ячеек, субмезомасштабных вихрей, узких струйных течений, в результате чего ее трудно зафиксировать в натурных наблюдениях или воспроизводить в моделях океана. В данном исследовании мы анализируем ГК по трем массивам данных: инструментальным наблюдениям массива EN4 [1], данным модельного реанализа SODA и данным ARMOR (<http://rus/event/request/64756/report/http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option>), полученных совместным анализом инструментальных и спутниковых наблюдений. По этим данным была рассчитана ГК по методам Монтегут [2], Кара [3] и Духовской. Межгодовая изменчивость ГК, основанная на анализе всех доступных профилей инструментальных данных, свидетельствует о значительно меньшей глубине ГК по сравнению с данными ARMOR и SODA, а также результатами расчета по ряду индексов ГК. Эти результаты свидетельствуют о невозможности точного воспроизведения изменчивости глубины ГК при малом количестве профилей. Анализируется полученная по комплексным данным межгодовая изменчивость глубины ГК в исследуемых морях.

Проведена систематизация литературных данных об используемых индексах ГК на основе работ ([4-7] и др.), а также их межгодовой изменчивости. Оценены достоинства и недостатки различных индексов. Выбраны индексы для дальнейшего анализа с использованием новейших баз данных для 3-х морей.

Разработан набор дополнительных индексов ГК, основанных на новом методе автоматической идентификации глубины перемешанного слоя, изменчивости средней температуры в слоях 500-1000м, 1000-2000м, более 2000м, изменчивости устойчивости водных масс за зимний период, изменчивости уровня моря, изменчивости стерического уровня, изменчивости интегральной плотности воды, изменчивости аномалии доступной потенциальной энергии, изменчивости объема водных масс (образовавшихся в результате конвекции).

Выбран набор индексов: глубины перемешанного слоя, уровня моря, стерический уровень, интегральная плотность воды для описания межгодовой изменчивости ГК с 1993 по 2016 гг., и интегральная плотность воды для описания межгодовой изменчивости ГК с 1950 по 1992 гг.

В частности, для оценки стерических колебаний уровня применяется метод, основанный на комбинации альтиметрических (AVISO) и гравиметрических (GRACE) измерений. Получены оценки стерических колебаний за 2003-2015 гг. для морей Лабрадор и Ирмингера. Стерические колебания в море Лабрадор изменяются в диапазоне от -11 до 10 см, в море Ирмингера - от -11 до 12 см. Тренды свидетельствуют о росте стерической составляющей в изменчивости уровня Северной Атлантики. Предложен механизм определения районов глубокой конвекции по минимальным значениям аномалий стерических колебаний уровня (с исключенным сезонным ходом), рассчитанным по данным комбинированных спутниковых измерений. Определены возможные очаги глубокой конвекции в морях Лабрадор и Ирмингера в различные годы. Показано, что в 2006 г. в море Лабрадор глубокая конвекция не проявлялась, а с 2008 по 2015 гг. наблюдалось общее усиление процессов глубокой конвекции в обоих морях.

Даны оценки межгодовой изменчивости интенсивности глубокой конвекции, включая тренды и цикличности; когерентность интенсивности ГК в Гренландском море, морях Лабрадор и Ирмингера.

Анализ трендов и вейвлет-анализ индексов ГК показывают, что во всех морях тренды на 65-летнем периоде наблюдений были незначимы; наблюдались 5-7-летние циклы. В море Ирмингера наблюдались также 10-15 летние колебания. Можно сделать предположение о существовании также 40-50-летней изменчивости интенсивности конвекции во всех морях. Причем в морях Ирмингера и Лабрадор наблюдается синфазность такой изменчивости, а в Гренландском море - такие долгопериодные изменения находятся в противофазе. За последние 15 лет в море Ирмингера интенсивность ГК увеличивалась, в море Лабрадор - несколько уменьшалась, в Гренландском море - несколько увеличилась.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 17-17-01151.*

### Литература

1. Good S.A., Martin M.J., Rayner N.A. EN4: Quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates // J. Geophys. Res. Oceans. 2013. 118. pp. 6704-6716. doi:10.1002/2013JC009067
2. Montégut C., de Boyer G., Madec A.S., Fischer A., Lazar D., Iudicone D. Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology // J. Geophys. Res. 2004. 109. C12003. doi:10.1029/2004JC002378
3. Kara A.B., Rochford P.A., Hurlburt H.E. Mixed layer depth variability over the global ocean // J. Geophys. Res. 2003. 108. 3079. doi:10.1029/2000JC000736, C3.
4. Lazier J., Hendry R., Clarke A., Yashayaev I., Rhines P. Convection and restratification in the Labrador Sea, 1990-2000 // Deep-Sea Res. I. 2002. 49. pp. 1819-1835.
5. Yashayaev I., Loder J.W. Recurrent replenishment of Labrador Sea Water and associated decadal-scale variability // J. Geophys. Res. Oceans. 2016. 121. pp. 8095-8114. doi:10.1002/2016JC012046
6. Gelderloos R., Katsman C.A., Våge K. Detecting Labrador Sea Water formation from space // J. Geophys. Res. Oceans. 2013. 118. pp. 2074-2086. doi:10.1002/jgrc.20176
7. Holte J., Talley L.D., Gilson J., Roemmich D. An Argo mixed layer climatology and database // Geophys. Res. Lett. 2017. 44. pp. 5618-5626, doi:10.1002/2017GL073426

# ПРИДОННЫЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ТЕЧЕНИЯ В АТЛАНТИКЕ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д. И. Фрей<sup>1</sup>, В. В. Фомин<sup>2</sup>, И. В. Дриго<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Москва

<sup>3</sup>Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва

BOTTOM GRAVITY CURRENTS IN THE ATLANTIC BASED ON THE FIELD OBSERVATIONS AND NUMERICAL MODELING

D. I. Frey<sup>1</sup>, V. V. Fomin<sup>2</sup>, I. V. Drigo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow

<sup>2</sup>Zubov State Oceanographic Institute, Moscow

<sup>3</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

*dima.frey@gmail.com*

Ключевые слова: циркуляция океана, придонные потоки, абиссальные каналы, LADCP-измерения, численное моделирование

Keywords: Ocean circulation, bottom flows, abyssal channels, LADCP measurements, numerical modeling.

Придонный слой Атлантического океана занимает Антарктическая Донная Вода (ААДВ), характеризующаяся значением потенциальной температуры  $\theta < 2$  °С. Эта водная масса образуется в нескольких районах на антарктическом склоне, в частности, в море Уэдделла в Атлантике [1] и распространяется на север в придонном слое. Перепад уровня ААДВ между соседними котловинами обуславливает горизонтальный градиент давления, движущий воду через подводные хребты [2]. В понижениях хребтов придонный поток сужается и ускоряется - возникают придонные гравитационные течения.

Современные глобальные модели циркуляции океана ориентированы на расчеты его верхнего слоя и не позволяют исследовать придонные течения за счет недостаточного вертикального разрешения у дна. Кроме того, для воспроизведения течения в узком канале необходимо хорошее разрешение по горизонтали. В рамках данной работы нами была проведена адаптация модели INMOM [3] для расчета придонных течений с высоким пространственным разрешением. Для верификации данных численного моделирования используются данные прямых натуральных наблюдений, проведенных в разных абиссальных каналах Атлантики. Измерения, проведенные STD и LADCP профилографами также позволили оценить перенос придонных вод между отдельными котловинами.

Численная модель была апробирована в районах с разным режимом движения придонных вод: в узком и длинном канале Вима, над широким плато Сантос, через многочисленные разломы Срединно-Атлантического хребта. Полученные расчетные трехмерные поля скорости позволяют исследовать кинематику придонных течений по всей их длине, а вариация параметров моделирования позволяет оценивать влияние различных процессов на итоговые характеристики течений и исследовать их динамику.

*Работа поддержана грантом РФФ (проект 16-17-10149).*

## Литература

1. Orsi A.H., Johnsson G.C., Bullister J.L. Circulation, mixing, and production of Antarctic Bottom Water // Prog. Oceanogr. 1999. V. 43. pp. 55-109.
2. Morozov E., Demidov A., Tarakanov R., Zenk W. Abyssal Channels in the Atlantic Ocean: Water Structure and Flows. Dordrecht: Springer, 2010. 266 p.
3. Дианский Н. А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия. М.: Физматлит, 2013. 272 с.

## О НАБЛЮДЕНИИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Е. Е. Химченко<sup>1</sup>, А. Н. Серебряный<sup>1,2</sup><sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва<sup>2</sup> АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева», Москва

## ON THE OBSERVATION OF INTERNAL WAVES ON THE BLACK SEA SHELF

E. E. Khimchenko<sup>1</sup>, A. N. Serebryany<sup>1,2</sup><sup>1</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow<sup>2</sup> Andreyev Acoustics Institute JSC, Moscow

ekhyt@ocean.ru

Ключевые слова: *инерционные внутренние волны, короткопериодные внутренние волны, шельф, Черное море, пикноклин.*

Keywords: *inertial internal waves, short-period internal waves, shelf, the Black Sea, pycnocline.*

Черное море является замкнутым и практически бесприливным, однако, не смотря на это, в нем присутствует поле внутренних волн, иногда достигающих больших амплитуд. Внутренние волны играют важную роль в динамике Черного моря, будучи ответственными за вертикальное перемешивание водной толщ, перераспределение потоков тепла, импульса и энергии ниже пикноклина. Диапазон внутренних волн в Черном море лежит в пределах от волн инерционной частоты (около 17 ч) до короткопериодных волн (с периодами от нескольких минут до десятков минут).

Генерация внутренних интенсивных волн на шельфе Черного моря обеспечивается несколькими механизмами, которые удавалось проследить [1]. Основными механизмами являются: генерация за счет выхода на шельф инерционных внутренних волн, генерация локальными фронтами в прибрежной зоне, связанными с апвеллингом и даунвеллингом, генерация интрузиями распресненных вод. Многолетние наблюдения за полем внутренних волн на шельфе Черного моря подтверждают почти постоянное присутствие внутренних квазинерционных колебаний термоклина. Кроме того часто регистрируются короткопериодные внутренние волны с периодами от единиц до десятков минут. На шельфе Черного моря преобладают внутренние волны 1-ой моды, но встречается также 2-ая мода [2]. Причем появление 2-ой моды отмечается как у инерционных внутренних волн, так и у короткопериодных.

В течение нескольких летне-осенних сезонов нами проводились натурные эксперименты по исследованию внутренних волн на шельфе Черного моря со стационарных платформ (платформа Морского Гидрофизического Института РАН и эстакада Института экологии АН Абхазии), а также с малых судов оснащенных акустическим доплеровским профилометром течений ADCP.

Производились наблюдения за изменениями основных гидрологических параметров, таких как температура, скорость и направление течений, амплитуда обратного акустического рассеяния, в течение продолжительного времени (более 10 суток для каждого района). Выполнен подробный анализ этих измерений, проведенных в период с 2011 по 2016 гг. на крымском и юго-восточном шельфах Черного моря.

В работе делается обобщение этих долговременных экспериментальных наблюдений. Рассмотрены случаи встречаемости короткопериодных и инерционных внутренних волн в разных районах моря, а также их основные параметры. Выявлены отличия характерных свойств внутренних волн, распространяющихся по узкому и обычному шельфу. Проведена статистика встречаемости и перемежаемости внутренних волн на разных типах шельфа. Отдельно рассмотрены данные наблюдений внутренних бороз на шельфе, а также другие особенности внутренних волн связанные с их нелинейностью. Проведено сравнение частотных спектров внутренних волн Черного моря для разных типов шельфов. Выявлена значительная изменчивость вертикальной структуры скорости звука при прохождении инерционных и короткопериодных внутренних волн (как 1-ой, так и 2-ой моды).

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-35-00454 мол\_а и № 17-52-40016 Абх\_а.*

**Литература**

1. Серебряный А.Н., Иванов В.А. Исследования внутренних волн в Черном море с океанографической платформы МГИ // Фунд. и прикл. гидрофиз. 2013. № 3. С. 34–45.
2. Серебряный А.Н., Химченко Е.Е. Исследования внутренних волн на кавказском и крымском шельфах Черного моря летом 2013 г // Совр. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса. 2013. Т.11. №3. С.88–104



# СТРУКТУРА ВОДНЫХ МАСС В ОБЛАСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШЕЛЬФОВЫХ И СКЛОНОВЫХ ВОД В ЗАЛИВЕ ПРЮДС ПО ДАННЫМ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 61-Й РАЭ (ЗА 2015-16 ГГ.)

И. А. Чистяков

ФГБУ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

WATER MASSES ON THE ANTARCTIC CONTINENTAL SHELF AND SLOPE IN PRYDZ BAY  
USING OCEANOGRAPHIC DATA FROM 61TH RAE (2015-2016)

I. A. Chistiakov  
AARI, Saint-Petersburg

*chistiv@gmail.com*

Ключевые слова: *Южный океан, Антарктида, залив Прюдс, антарктическая донная вода, донная вода залива Прюдс, циркумполярная глубинная вода, шельф, материковый склон, Российская Антарктическая Экспедиция.*

Keywords: *Southern Ocean, Antarctica, Prydz Bay, Antarctic Bottom Water, Prydz Bay Bottom Water, Circumpolar Deep Water, shelf, continental slope, Russian Antarctic Expedition.*

Объектом исследования Российской Антарктической Экспедиции (РАЭ) является Антарктика, включающая в себя Антарктиду и примыкающий к ней Южный океан.

Южным океаном называют южные части Тихого, Атлантического и Индийского океанов, взаимосвязь и подобие которых определяется основным элементом крупномасштабной циркуляции вод - Антарктическим Циркумполярным течением (АЦТ). Основной водной массой, занимающей объём вод, переносимых АЦТ, является циркумполярная глубинная вода (ЦГВ), которая может распространяться и к югу от АЦТ, поднимаясь в верхнюю часть материкового склона и даже на шельф. Этому способствует система крупномасштабных циклонических круговоротов, южные ветви которых связаны с направленным на запад антарктическим прибрежным течением. При этом ЦГВ перемешивается с водными массами антарктического происхождения: антарктической шельфовой водой (АШВ), её модификацией, водой шельфовых ледников (ВШЛ) и антарктической поверхностной водой (АПВ), формируя антарктическую донную воду (АДВ), которая затем распространяется в придонном слое на север вплоть до умеренных широт Северного полушария [1]. Таким образом, процессы, происходящие в районе "материковый склон/шельф", оказывают влияние на режим не только Южного, но и всего Мирового океана.

Залив Прюдс является частью моря Содружества, расположенного в Индийском секторе Южного океана. Предположения о роли этого региона, как источника АДВ, высказывались ещё в 1970-х гг., а исследования ААНИИ, регулярно проводимые в рамках сезонных работ РАЭ, начиная с 1997 г., подтвердили этот факт [3]. Экспедиционные работы 1997-2001 гг. позволили установить характеристики и особенности распространения в заливе Прюдс АШВ и ВШЛ. С 2004 по 2007 гг. проводились исследования структуры вод на шельфе и материковом склоне к западу от канала Прюдс (71-73° в.д.). В этот период была разработана система меридиональных разрезов, пересекающих шельф и материковый склон. Разрез по 70° в.д. выполнялся по возможности ежегодно, поскольку именно на нём прослеживаются стоковые процессы в области континентального склона. Он был повторён ещё четырежды в 2011-2015 гг. [4]

За 19 лет регулярных исследований, помимо прочего, удалось описать характеристики региональной водной массы, расположенной в области материкового склона и названной донной водой залива Прюдс (ДВЗП). Она формируется вблизи бровки шельфа в результате смешения более тёплой и солёной модифицированной ЦГВ и холодных и менее солёных АШВ и ВШЛ, образующихся на юге залива, вблизи шельфового ледника Эймери, и занимает придонное положение. В дальнейшем ДВЗП опускается по материковому склону (процесс обнаружен в створе разрезов по 70° и 71° в.д.), пополняя АДВ, или внедряясь и трансформируя ЦГВ на уровнях, соответствующих её плотности [2, 4].

Чтобы подробно изучить картину перемещения ДВЗП в области материкового склона, а также особенности приближения АШВ к бровке шельфа, с 17 по 23 января 2016 г. была проведена площадная съёмка в долготном диапазоне 70-71° в.д. Расстояния между разрезами составляли 5-10' долготы. Помимо гидрологических и гидрохимических работ, на разрезах проводилась попутная эхолотная съёмка, позволившая существенно уточнить сведения о рельефе дна, который оказывает влияние на пространственные особенности процессов, связанных с формированием и опусканием плотных ДВЗП.

Выполненные наблюдения позволили получить подробную картину мезомасштабной структуры вод над материковым склоном и шельфовой областью в рамках полигона. В его восточной части, где переход между шельфом и материковым склоном более резкий, было обнаружено распространение холодной и солёной АШВ (-1.88. . . -1.90°С 34.59-34.60 psu) до бровки шельфа. Там она перемешивается и участвует в образовании ДВЗП, обнаруженной на материковом склоне на более западных разрезах. На материковом склоне восточных разрезов относительно холодная вода (-0.8. . . -1.7°С) наблюдается до глубины 700-1000 метров, а на западе - до 1900 метров. Факт обнаружения на континентальном склоне на разрезе по 71° в.д. холодных вод даёт основание для расширения исследований в восточном направлении. Кроме того, был отмечен большой объём тёплой и солёной ЦГВ (0.43-0.77°С 34.64-34.68 psu), которая вплотную подходила к бровке шельфа и даже пересекала её.

Продолжение временного ряда наблюдений на разрезе по 70° в.д. позволило получить новые данные об изменчивости вкладов разномасштабных процессов в формирование и распространение ДВЗП вниз и вдоль по склону, которые зависят от более крупномасштабных процессов, определяющих, в конечном счёте, формирование и распространение водных масс. Кроме того, можно предположить, что характеристики и объём смеси АШВ и ВШЛ определяются интенсивностью формирования АШВ и её трансформации в ВШЛ, и особенностями распространения от района формирования до области бровки шельфа. Наконец, было отмечено увеличение объёма ДВЗП на разрезе по 70° в.д. в многолетнем плане, что может быть следствием усиления процессов таяния нижней поверхности шельфового ледника Эймери.

#### Литература

1. Антипов Н.Н., Клепиков А.В. Циклонические круговороты окраинных морей восточной Антарктиды // Арктика и Антаркт. 2003. Вып. 2(36). С. 126-148.
2. Антипов Н.Н., Клепиков А.В. Особенности океанографического режима залива Прюдс по данным экспедиций ААНИИ // Пробл. Арктики и Антаркт. 2007. Вып. 76. С. 36-48.
3. Антипов Н.Н., Клепиков А.В. Межгодовая изменчивость водных масс в области формирования донных вод в заливе Прюдс // Пробл. Арктики и Антаркт. 2017. Вып. 113. С. 87-106.
4. Антипов Н.Н., Бунякин В.П., Кашин С.В., Кузнецов В.Л., Чистяков И.А. Океанографические исследования Южного океана в январе-апреле 2016 г. с борта НЭС «Академик Фёдоров» // Рос. полярн. иссл. 2016. Вып. 2(24). С. 12-15.

## ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

А. В. Чумакова<sup>1</sup>, А. В. Зимин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Санкт-Петербург

INFLUENCE OF INTERNAL WAVES ON HYDROTECHNICAL STRUCTURES

A. V. Chumakova <sup>1</sup>, A. V. Zimin <sup>2</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg University, Saint Petersburg

<sup>2</sup>St Petersburg Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Saint Petersburg

*chum.an.val@gmail.com*

Ключевые слова: *внутренние волны, гидротехнические сооружения, нагрузки, придонный слой, Баренцево море, Белое море*

Keywords: *internal waves, hydraulic structures, loads, bottom layer, the Barents Sea, the White Sea.*

Изучение внутренних волн является важным аспектом современной океанологии. Между тем, в научных работах не уделяется должного внимания влиянию внутренних волн на различные подводные объекты и сооружения. Так как интенсивные внутренние волны несут в себе опасность, необходимо иметь четкое представление о нагрузках, которые испытывают на себе различные гидротехнические объекты, такие как морские платформы, установленные на шельфовых месторождениях нефти и газа, портовые сооружения и т.п. [1].

Целью исследования является изучение влияния внутренних волн на гидротехнические сооружения и объекты в пределах акватории Белого и Баренцева морей на основе данных наблюдений выполненных в 2010-2017 гг. и оценок экстремальных характеристик волн, встречающихся раз в сутки, раз в десять дней, раз месяц и раз в сезон.

Исходными материалами послужили натурные наблюдения внутренних волн, выполнявшиеся на пяти полигонах в Белом море в июле - августе 2010-2014 гг. и на двух полигонах в Баренцевом море в августе 2016 и 2017 гг., и оценки вероятностных значений высот из работы [2].

Работа была выполнена по методике, изложенной в [1]. Согласно данной методике оценивались пульсации придонного давления и скорости течений в придонном слое. Исходными данными для расчета пульсаций придонного давления послужили глубина верхнего перемешанного слоя, фазовая скорость волны, смещение раздела слоев разной плотности (интерфейс), а так же плотность вод. Для расчета скорости течений в придонном слое использовались глубина верхнего перемешанного слоя, фазовая скорость волны и смещение раздела слоев разной плотности (интерфейс).

В среднем, для рассматриваемых районов колебания придонного давления при прохождении интенсивных внутренних волн составляют порядка 0.5 дбар, а скорость течения усиливается на 2-3 см/с. Максимальные воздействия волн получены для района Западной Соловецкой Салмы Белого моря. Это мелководный участок шельфа вблизи фронтальной зоны, где интенсивные внутренние волны фиксируются каждый приливной цикл, а их высота сопоставима с толщиной верхнего однородного слоя.

Данная работа является первой попыткой оценить возможные эффекты воздействия внутренних волн на устойчивость морских сооружений в арктических морях России по данным натурных наблюдений. Далее необходима активная проработка этой проблемы в теоретическом плане и накопление данных об опасных внутренних волнах.

### Литература

1. Тюгин Д.Ю., Наумов А.А., Куркина О.Е., Куркин А.А., Пелиновский Е.Н. Динамические эффекты в придонном слое индуцированные аномальными внутренними волнами // Экол. системы и приборы. 2014. №1. С. 20-28.

- 
2. Свергун Е.И., Зимин А.В. Оценка повторяемости интенсивных внутренних волн в Белом и Баренцевом морях по данным экспедиционных наблюдений // Фунд. и прикл. гидрофизика. 2017. Т. 10. №2. С. 13-19.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ АДЕКВАТНОСТИ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ РОМ  
ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ВОД  
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ  
КОНТАКТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

К. О. Шаповал<sup>1</sup>, А. В. Григорьев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет) (МФТИ),  
Долгопрудный

<sup>2</sup> Государственный океанографический институт имени Н.Н.Зубова (ФГБУ «ГОИН»), Москва

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE ADEQUACY OF THE SIMULATION BASED ON A  
REGIONAL MODEL POM OF THE THERMOHALINE STRUCTURE AND WATER DYNAMICS OF  
NORTH-EASTERN PART OF THE BLACK SEA ACCORDING IN SITU OBSERVATIONS

K. O. Shapoval<sup>1</sup>, A. V. Grigoriev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny

<sup>2</sup>N.N. Zubov's State Oceanographic Institute, Moscow

*shapoval@phystech.edu*

Ключевые слова: *Черное море, оперативная океанография, моделирование, сравнение данных, оценки точности, реанализ.*

Keywords: *Black Sea, operational oceanography, modeling, data comparison, accuracy estimates, reanalysis.*

Приводятся оценки точности моделирования термохалинных и динамических характеристик вод северо-восточной части Черного моря на основе крупномасштабной модели всего Черного моря Морского гидрофизического института РАН (МГИ), и региональной модели *Princeton Ocean model (POM)*. Модельные данные сравниваются с данными контактных натуральных измерений на морских гидрометеостанциях (ГМС) российского Кавказского побережья моря и данными зондирующего комплекса «Аквалог» Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (район Голубой бухты, Геленджик). Временные интервалы используемых данных - 2012, 2016 гг.

Модели *RuReM* и МГИ совмещены посредством использования технологии «вложенных сеток». В результате имеется возможность получения информации о полях течений, температуры и солёности на различных глубинах, а также уровня моря в графическом и цифровом виде. Эти характеристики могут быть рассчитаны как на текущий день (диагноз), так и в виде прогноза на 3-е суток.

Источники и состав исходных данных:

1. граничные и начальные данные для региональной модели *POM* из крупномасштабной модели МГИ (уровень, напряжения ветра, полный поток тепла, испарение, осадки, температура и солёность воды, компоненты скорости течений);
2. диагностические данные о термохалинных полях и скорости течений на основе модели МГИ с усвоением спутниковых данных о температуре поверхности моря и альтиметрии («реанализ», проект *MyOcean*), параметры аналогичны п. 1;
3. диагностические и прогностические данные региональной модели *RuReM* (граничные долготы 37,252-40,961 градусов, граничные широты 43,011-45,253 градусов);
4. данные наблюдений морских ГМС Кавказского побережья Черного моря - «Новороссийск», «Геленджик», «Туапсе», «Сочи» - температура поверхности моря, 4 стандартных срока наблюдений; солёность поверхности моря, 1 сок (время измерений неизвестно);

На основании полученных результатов работы можно сделать следующие выводы:

1. Диагностические и прогностические значения температуры поверхности моря, сделанные с помощью системы прогнозирования *BSFOS*, имеют высокую точность и коррелированность по отношению к наблюдениям.
2. Аналогичные оценки для солености оказываются неудовлетворительными и обусловлены некорректностью алгоритма усвоения данных спутниковой альтиметрии, используемой в *BSFOS*, в мелководной прибрежной зоне.
3. Степень физической адекватности моделирования и точности прогнозов солености в районе постановки комплекса «Аквалог» заметно выше, чем в непосредственно прибрежной зоне.
4. Прогностические оценки температуры и среднесуточных значений модуля и направления вектора течений, сделанные по региональной модели *RuReM*, превосходят по качеству инерционный прогноз.

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПЕКТРА ВОЛН ПО ФОТОГРАФИЯМ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, СДЕЛАННЫМ С БЕСПИЛОТНОГО МУЛЬТИКОПТЕРА

М. В. Юровская<sup>1,2</sup>, В. Н. Кудрявцев<sup>1,2</sup>, А. С. Широков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

WAVE SPECTRUM RETRIEVAL FROM THE SEA SURFACE IMAGES TAKEN FROM DRONE

M. V. Yurovskaya<sup>1,2</sup>, V. N. Kudryavtsev<sup>1,2</sup>, A. S. Shirokov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

<sup>2</sup>The Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

*mvkosnik@gmail.com*

Ключевые слова: *солнечный блик, ветровые волны, спектр волнения, БПЛА, натурные исследования.*

Keywords: *sun glitter, wind waves, wave spectrum, drone, field measurements.*

Измерения, выполняемые с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), получают всё более активное применение в различных научных и прикладных исследованиях. В данной работе представлены результаты применения беспилотного октокоптера для измерения спектра возвышений морской поверхности по данным аэрофотосъемки солнечного блика. Подход к восстановлению спектра основан на построении линейной передаточной функции между спектром вариаций яркости изображения в блике и спектром возвышений морской поверхности [1-3]. Передаточная функция определяется непосредственно по сглаженной форме солнечного блика, которая отображает реальное (априорно неизвестное) распределение плотности вероятности уклонов поверхностных волн. Достоинством метода является отсутствие каких-либо дополнительных предположений о форме восстанавливаемого спектра, функции распределения уклонов поверхности и т.д. Тестирование подхода к измерению спектров поверхности проведено в натуральных экспериментах на акватории Черного моря в районе океанографической платформы МГИ РАН близ п. Кацивели (Крым) в 2015 г. Предлагаются рекомендации к проведению измерений с учетом технических особенностей использования БПЛА для фотографирования морской поверхности. Представлен пошаговый алгоритм обработки изображений для восстановления абсолютных значений спектра волн. Для верификации метода использовались синхронные измерения возвышений волн с помощью решетки струнных волнографов, установленных на платформе. Сопоставление спектров волн, восстановленных по фотографиям солнечного блика с БПЛА, с данными контактных измерений волн с платформы при различных условиях волнения показало хорошее взаимное соответствие величины энергии и ее угловоо распределения в двумерных спектрах. В одномерном случае уровень и форма проинтегрированных по углу спектров также сходятся. Результаты эксперимента продемонстрировали эффективность применения БПЛА для измерения и исследования поля поверхностных волн. Авторы полагают, что использование БПЛА типа мультикоптеров может занять важную нишу в исследованиях морского волнения в прибрежных акваториях и в открытом океане (при запуске БПЛА с борта судна) как альтернатива использованию существенно более дорогих пилотируемых летательных аппаратов.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания № 0827-2018-0003.*

## Литература

1. Большаков А.Н., Бурдюгов В.М., Гродский С.А., Кудрявцев Е.Н. Определение спектра энергонесущих поверхностных волн по изображению солнечного блика // Исследование Земли из космоса. 1988. № 5. С. 11-18.

- 
2. Kudryavtsev V., M. Yurovskaya, B. Chapron, F. Collard, C. Donlon Sun glitter imagery of ocean surface waves: Part 1. Directional spectrum retrieval and validation // J. Geophys. Res.: Oceans. 2017. V. 122. N. 2. pp. 1369-1383. doi:10.1002/2016JC012425.
  3. Лупян Е.А. Восстановление углового распределения энергии в двумерном спектре возвышений морской поверхности по ее оптическому изображению // Исследования Земли из космоса. 1988. № 3. С. 31-35.



# ДОПЛЕРОВСКИЙ СДВИГ ЧАСТОТЫ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА, РАССЕЯННОГО МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Ю. Ю. Юровский, В. Н. Кудрявцев  
ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

DOPPLER FREQUENCY SHIFT OF THE RADAR SIGNAL BACKSCATTERED FROM THE SEA SURFACE

Yu. Yu. Yurovsky, V. N. Kudryavtsev  
FSBSI Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Sevastopol

*yuyurovsky@gmail.com*

Ключевые слова: *доплеровский сдвиг, радиолокация, морская поверхность, течения, волны.*

Keywords: *Doppler shift, radar, sea surface, currents, waves.*

Доплеровский сдвиг частоты радиолокационного сигнала, рассеянного морской поверхностью, определяется взаимным движением измерительной платформы и самой поверхности. В случае спутниковых измерительных платформ разность измеренной доплеровской скорости и известной скорости спутника – так называемая геофизическая доплеровская аномалия – содержит информацию о собственных движениях морской поверхности. К последним относятся волновые движения и течения. Ожидается, что выделение из доплеровской аномалии скорости течения позволит создавать космические системы высокого разрешения для глобального мониторинга циркуляции океана на основе доплеровских скаттерометрических измерений [1]. В настоящей работе на примере данных, полученных в ходе специализированных натуральных экспериментов, показаны механизмы формирования доплеровского сдвига радиолокационного сигнала Ка-диапазона.

Измерения проводились на Стационарной океанографической платформе «Черноморского гидрофизического полигона» РАН [2]. Использовался доплеровский двухполяризационный скаттерометр непрерывного излучения, работающий на длине волны 8 мм. Радиолокационные наблюдения сопровождалось метеорологическими, волнографическими наблюдениями (решетка шести резистивных струнных волнографов), а также измерениями скорости фонового течения на горизонте 10 м. Скорость на поверхности, измеряемая доплеровским радиолокатором, оценивалась по скорости фонового течения и скорости ветрового дрейфа (3% от скорости ветра). На основе полученных измерений создана база данных, каждая запись которой соответствует 5 мин фрагменту радиолокационных наблюдений. Каждому такому фрагменту поставлены в соответствие скорость и направление ветра и течения, спектр возвышений.

На основе полученных данных сделана оценка модуляционной передаточной функции [3], которая позволяет судить о связи вариаций интенсивности сигнала (удельной эффективной площади рассеяния, УЭПР) с характеристиками модулирующих волн (возвышение, уклон и т. д.). Такая МПФ позволяет сделать оценку среднего доплеровского сдвига, вызванного ненулевой корреляцией вариаций УЭПР и орбитальных скоростей поверхностных волн – так называемую волновую составляющую доплеровского сдвига. Показано, что её вклад максимален и играет определяющую роль в суммарном доплеровском сдвиге при малых углах падения ( $20^\circ$ ). При наблюдении навстречу и вслед доминирующих волн волновая компонента ожидаемо меняет знак. Однако при наблюдении вдоль гребней (поперек волнения) она не обращается в ноль, а является отрицательной в диапазоне углов падения  $0 - 50^\circ$ . Такое поведение является следствием перераспределения вкладов различных механизмов рассеяния с увеличением угла падения. При малых углах падения доминируют зеркальные отражения имеющие максимум ближе к заднему (навстречному), менее шероховатому склону волны. С увеличением угла падения растёт вклад обрушений, которые образуются вблизи гребня и смещают максимум рассеяния в сторону переднего склона.

Для определения роли обрушений волн в формировании доплеровского сдвига проведено сравнение доплеровской скорости отдельно взятых событий с соответствующими «оптическими» скоростями барашков, рассчитанными по синхронным видеозаписям морской поверхности. Показано, что при угле

падения  $53^\circ$  и наблюдении навстречу волнению, доплеровская скорость примерно в 4 раза меньше «оптической» и соответствует орбитальной скорости обрушивающейся волны. Этот результат говорит о том, что рассеиватели, ассоциированные с обрушением, встраиваются в морскую поверхность и не дают, как ожидалось [4], сильных всплесков доплеровской скорости, сравнимых по амплитуде с фазовой скоростью обрушивающихся волн.

Полученные результаты позволяют судить о вкладах длинных волн и их обрушений в доплеровский сигнал и в дальнейшем могут быть использованы для создания модели среднего доплеровского сдвига частоты радиолокационного сигнала, рассеянного морской поверхностью.

*Работа поддержана грантом Российского научного фонда 17-77-10052 «Развитие методов диагностики взволнованной морской поверхности на основе анализа доплеровского смещения частоты радиолокационного сигнала».*

### Литература

1. Bourassa M.A., E. Rodriguez, D. Chelton Winds and currents mission: Ability to observe mesoscale AIR/SEA coupling // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Beijing. 2016. pp. 7392-7395. doi: 10.1109/IGARSS.2016.7730928.
2. Yurovsky Yu.Yu., Malinovsky V.V. Radar backscattering from breaking wind waves: field observation and modelling // Int. J. Remote Sensing. 2012. V. 33. Iss. 8. pp. 2462-2481.
3. Yurovsky Yu.Yu., V.N. Kudryavtsev, B. Chapron, S.A. Grodsky Modulation of Ka-band Doppler Radar Signals Backscattered from the Sea Surface // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2018. V. 53. Iss. 5. doi:10.1109/TGRS.2017.2787459.
4. Hansen M.W., V. Kudryavtsev, B. Chapron, J.A. Johannessen, F. Collard, K.-F. Dagestad, A.A. Mouche Simulation of radar backscatter and Doppler shifts of wave-current interaction in the presence of strong tidal current // Remote Sensing of Env. 2012. V. 120. pp. 113-122.

Научный журнал  
**ПРОЦЕССЫ В ГЕОСРЕДАХ**  
Специальный выпуск. № 17. 2018

Scientific journal  
**PROCESSES IN GEOMEDIA**  
Special issue. Volume 17. 2018

Напечатано с готового оригинал-макета  
Обложка – Е.В. Брылина  
Подписано в печать 12.11.2018 г.  
Формат 60x90 1/8. Усл.печ.л. 27.5. Тираж 200 экз.  
ООО «Кватернион»  
117393, г. Москва, ул. Акад. Пилюгина, д. 12, корп. 2, ХА-1  
Факс +7(499)739-95-31  
<http://journal.geomediacentr.ru/>  
<http://geomediacentr.ru/index.php/publications>  
[journal@geomediacentr.ru](mailto:journal@geomediacentr.ru)

