федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Морской гидрофизический институт РАН

1929-2019

IV Всероссийская конференция молодых учёных

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА

KIMOCON.RU

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

22 - 26 АПРЕЛЯ

#КИМО2019

УДК 551.46
ББК 26.221
К 63

Комплексные исследования Мирового океана. Материалы IV Всероссийской научной конференции молодых ученых**,** г. Севастополь, 22-26 апреля 2019 г. [Электронный ресурс]. – Севастополь: ФГБУН МГИ. – Режим доступа: http://mhi-ras.ru/news/news_201904151055.html, свободный.

К 63

ISBN 978-5-9908460-6-7

В сборнике представлены материалы IV Всероссийской научной конференции молодых океанологов КИМО-2019, посвященной обсуждению актуальных проблем исследования Мирового океана. В рамках конференции рассматривались динамические, биологические и химические процессы в океане на различных пространственных и временных масштабах; влияние физических процессов на морскую экосистему и климат Земли. Особое внимание уделялось развитию новых современных методов изучения океана: численному моделированию; дистанционным методам зондирования Земли из космоса; вопросам развития новых океанологических приборов.

УДК 551.46
ББК 26.221

IV Всероссийская научная конференция молодых ученых «Комплексные исследования Мирового океана» проводилась при поддержке морской инженерной компании ООО «Фертоинг».

Редколлегия:
к.б.н. Андреева А.Ю.
к.г.н. Вареник А.В.
Весман А.В.
к.г.н. Гармашов А.В.
Глуховец Д.И.
к.х.н. Довгий И.И.
Ефремова Е.С.
к.г.н. Кивва К.К.
к.г.-м.н. Козина Н.В.
к.ф.-м.н. Кубряков А.А.
Кудинов О.Б.
Кухарева Т.А.
Латушкин А.А.
к.г.н. Лобанова П.В.
к.б.н. Малахова Т.В.
к.ф.-м.н. Медведев И.П.
Медведева А.Ю.
к.ф.-м.н. Мизюк А.И.
к.б.н. Муханов В.С.
к.ф.-м.н. Мысленков С.А.
к.г.-м.н. Овсепян Я.С.
к.г.н. Полухин А.А.
Рейхард Л.Е.
к.ф.-м.н. Салюк П.А.
Сильвестрова К.П.
к.ф.-м.н. Степанова Н.Б.
к.г.н. Толстиков А.В.
к.т.н. Фёдоров С.В.
Фрей Д.И.
к.ф.-м.н. Юровская М.В.
к.ф.-м.н. Юровский Ю.Ю.
Материалы опубликованы с сохранением авторской редакции

ISBN 978-5-9908460-6-7

© Коллектив авторов, 2019
© ФГБУН МГИ, 2019

Содержание

СЕКЦИЯ «ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ» 20

Багаев А.В., Чубаренко И.П.
КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В МИРОВОМ ОКЕАНЕ 20

Колесник А.Н.
ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В МОРСКОЙ ГЕОЛОГИИ 22

Конюхов И.В., Воробьева О.В.
ДИАГНОСТИКА ДЕФИЦИТА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА . . . 24

Осадчиев А.А., Щука С.А., Медведев И.П.
ВЛИЯНИЕ ПРИЛИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА РЕЧНЫЕ ПЛЮМЫ И ОПРЕСНЕННЫЕ ЛИНЗЫ В КАРСКОМ МОРЕ И МОРЕ ЛАПТЕВЫХ 25

СЕКЦИЯ «ФИЗИКА ОКЕАНА» 27

Аксенов П.В., Иванов В.В.
ИЗМЕНЕНИЯ В ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЕ ВОД БАРЕНЦЕВА МОРЯ В 2007-2017 ГГ. 27

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Зацепин А.Г., Медведева А.И.
СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ПРОЦЕССЫ У ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СПУТНИКОВ LANDSAT И SENTINEL-2 29

Артамонова А.В., Козлов И.Е.
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕЙ В КРУГОВОРОТЕ БОФОРТА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 31

Атаджанова О.А., Зимин А.В.
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ОКТЯБРЕ-НОЯБРЕ 2018 ГОДА (ПО МАТЕРИАЛАМ 74-ГО РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ») 33

Базыкина А.Ю., Фомин В.В.
ОЦЕНКИ АМПЛИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛН ТИПА ЦУНАМИ НА КРЫМСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ЧЕРНОГО МОРЯ 35

Байдаков Г.А., Ермакова О.С., Кандауров А.А., Вдовин М.И., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И.
ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРСКОЙ ПЕНЫ ВОДЫ НА РАССЕЯНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА 37

Березина А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАРБОТАЖА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ В МЕЛКОВОДНОМ ВОДОЕМЕ 39

Вержевская Л.В.
РАЗРАБОТКА ВЕБ-АТЛАСА ПРОЯВЛЕНИЙ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ШЕЛЬФЕ КРЫМА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 41

Вязигина Н.А., Тимохов Л.А.
ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА И ИХ СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ 43

Гармашов А.В.
ШТОРМОВОЕ ВОЛНЕНИЕ В КАРКИНИТСКОМ ЗАЛИВЕ В 1995-2011 ГГ. . . 45

Гармашов А.В.
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ 47

Глуховец Д.И.
БИООПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОТОЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В МОРЯХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ, БАРЕНЦЕВОМ И БЕЛОМ ЛЕТОМ 2018 Г. 48

Гусев А.В., Фомин В.В., Залесный В.Б.
ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЁРНОГО МОРЯ С ДЕТАЛИЗИРОВАННЫМ ОПИСАНИЕМ ПРИБРЕЖНОЙ ДИНАМИКИ В РАЙОНЕ ГЕЛЕНДЖИКСКОГО ПОЛИГОНА ИО РАН 50

Дымова О.А., Маркова Н.В., Коршенко Е.А.
РЕКОНСТРУКЦИЯ ГЛУБИННЫХ ТЕЧЕНИЙ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МУЛЬТИМОДЕЛЬНЫХ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ . 52

Егорова Е.С., Вязигина Н.А.
МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ ГРЕНЛАНДСКОГО МОРЯ И ИХ ПРИЧИНЫ 54

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.
ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДВОДНЫХ ХРЕБТОВ НА ВДОЛЬБЕРЕГОВОЕ ДАУНВЕЛЛИНГОВОЕ ТЕЧЕНИЕ И СВЯЗАННЫЙ С НИМ ПРИДОННЫЙ ЭКМАНОВСКИЙ СЛОЙ 56

Журбас Н.В., Лыжков Д.А.
АНАЛИЗ T,S-ИНДЕКСОВ ВОД ЕВРАЗИЙСКОГО БАССЕЙНА АРКТИКИ С ПОМОЩЬЮ КЛАСТЕРНОГО МЕТОДА 58

Журбас Н.В.
АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЯ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В ЕВРАЗИЙСКОМ БАССЕЙНЕ (АРКТИКА) НА ОСНОВЕ CTD-ДАННЫХ NABOS ЗА 2002–2015 ГОДЫ 60

Зенкова П.Н., Панченко М.В., Терпугова С.А.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОГО АЭРОЗОЛЯ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В АКВАТОРИЯХ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ, СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ 62

Зотов Л.В., Бизуар К.
ВЛИЯНИЕ ОКЕАНА НА ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ 64

Игнатьева Е.С., Яковлева Д.А., Салюк П.А.
СПУТНИКОВЫЕ МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ОПТИЧЕСКИ-СЛОЖНЫХ ВОДАХ АМУРСКОГО ЗАЛИВА 65

Калавиччи К.А., Башмачников И.Л.
ВЛИЯНИЕ ОКЕАНИЧЕСКИХ И АТМОСФЕРНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА НА МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ68

Калинская Д.В.
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ, ПОЛУЧЕННЫХ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ ЗА 2017-2018 ГОД 70

Каралли П. Г., Копелевич О. В., Салинг И. В., Шеберстов С. В., Паутова Л. А., Силкин В. А.
ВАЛИДАЦИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ КОККОЛИТОФОРИДНЫХ ЦВЕТЕНИЙ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 72

Кессель А.С.
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕАНАЛИЗА NCEP/CFSR ДЛЯ АКВАТОРИИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ 74

Кивва К.К, Мурый Г.П., Серебренникова Е.А.
ПОТОК ТЕПЛА НА ГРАНИЦЕ МОРЕ-АТМОСФЕРА И ЗИМНЯЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ КОНВЕКЦИЯ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ 76

Козлов И.Е., Петренко Л.А., Плотников Е.В.
НАБЛЮДЕНИЕ ВИХРЕЙ В ПРОЛИВЕ ФРАМА И ВБЛИЗИ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ 78

Козлов И.Е., Фер И., Черных Д.В., Зубкова Е.В.
ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ В АРКТИКЕ: СИНТЕЗ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 80

Коник А.А., Зимин А.В.
КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ В РАЙОНЕ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН КАРСКОГО МОРЯ 81

Корчёмкина Е.Н., Воронцов К.В.
СПЕКТРАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЯРКОСТИ МОРЕЙ И ПРЕСНЫХ ВОДОЕМОВ И ФАКТОРЫ СРЕДЫ, ОБУСЛАВЛИВАЮЩИЕ ЕГО ИЗМЕНЧИВОСТЬ 83

Коршенко Е.А., Фомин В.В., Дианский Н.А.
РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕЧНЫХ ПЛЮМОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ 85

Шокуров М.В., Краевская Н.Ю.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НАД КРЫМСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ 87

Кубряков А.А., Белоненко Т.В., Станичный С.В.
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛН РОССБИ В ТИХОМ ОКЕАНЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ УРОВНЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ 89

Кубряков А.А., Станичный С.В.
ДИАПИКНИЧЕСКИЕ ПОТОКИ ТЕПЛА И СОЛИ В ЧЕРНОМ МОРЕ - ПРОТИВОПОЛОЖНАЯ РОЛЬ ЗИМНЕГО ВЫХОЛАЖИВАНИЯ И ВЕТРОВОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ 90

Кузнецова А.М., Байдаков Г.А., Досаев А.С., Ваха-Пиккио О., Туоми Л., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И.
АПРОБАЦИЯ АДАПТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ WAVEWATCH III В УСЛОВИЯХ КОРОТКИХ РАЗГОНОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА . 92

Кузнецова Д.А., Башмачников И.Л.
СВЯЗЬ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ И МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ОКЕАНИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ 94

Кукушкин В.М., Маркина М.Ю.
РОЛЬ СОЛЕНОСТИ В ТРАНСФОРМАЦИИ ВОД МИРОВОГО ОКЕАНА . . . 96

Лемешко Е.Е., Полозок А.А.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СГОННО-НАГОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В АЗОВСКОМ МОРЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ СИНОПТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ . 98

Липатов М.А., Смагин Р.Е., Густайтис А.Н.
ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЕ ПРИЛИВНОГО КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ В ГУБЕ КЕРЕТЬ БЕЛОГО МОРЯ 100

Липатов М.А.
КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДРЕЙФА ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ 102

Лишаев П.Н.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ АЛЬТИМЕТРИИ И ИЗМЕРЕНИЙ БУЕВ ARGO 104

Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В.
ПРОЯВЛЕНИЯ СОБЫТИЙ ЭЛЬ-НИНЬО В АТМОСФЕРНЫХ ПОЛЯХ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА 106

Лыжков Д.А., Журбас Н.В., Кузьмина Н.П.
ИЗУЧЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ВНУТРИТЕРМОКЛИННЫХ ВИХРЕЙ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 108

Малышева А.А., Белоненко Т.В., Кубряков А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ АГУЛЬЯСОВА ПЕРЕНОСА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ И БУЕВ АРГО 109

Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н., Лубков А.С.
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ТИПИЗАЦИЯ СОБЫТИЙ ЛА-НИНЬЯ И ЕЕ ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ 110

Медведев И.П.
СИНОПТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ 112

Медведев И.П., Куликов Е.А., Медведева А.Ю., Файн И.В.
ЦУНАМИ В АРКТИКЕ, ВЫЗВАННЫЕ СИЛЬНЫМИ УДАЛЕННЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В ТИХОМ ОКЕАНЕ 114

Медведева А.В., Плотников Е.В., Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.
ХАРАКТЕРИСТИКА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ И СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ 116

Медведева А.Ю., Куликов Е.А.
ЦУНАМИ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ: ИСТОРИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ И ВОЗМОЖНЫЙ НАИХУДШИЙ СЦЕНАРИЙ 118

Медведева А.Ю., Медведев И.П.
СЕЗОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ: ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ 120

Медведева А.Ю., Куликов Е.А.
ЦУНАМИ В ЧЕРНОМ МОРЕ: ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ 122

Мизюк А.И.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ С РАЗРЕШЕНИЕМ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ 124

Михайличенко С.Ю., Иванча Е.В.
КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ВОЛНОГАСЯЩИХ СВОЙСТВ ПОДВОДНЫХ ВОЛНОЛОМОВ 125

Мысленков С.А.
РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ С ДЕТАЛИЗАЦИЕЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ . . 127

Нечаев С.С., Маркова Н.В., Демышев С.Г., Белокопытов В.Н.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО МАССИВА КЛИМАТИЧЕСКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ И СОЛЕНОСТИ 129

Новоселова Е.В., Белоненко Т.В.
ОЦЕНКА БАРОКЛИННОГО РАДИУСА ДЕФОРМАЦИИ РОССБИ В МОРЯХ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА 131

Осадчиев А.А., Седаков Р.О., Щука С.А., Медведев И.П.
ВЛИЯНИЕ ЭСТУАРНЫХ И ДЕЛЬТОВЫХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЮМОВ БОЛЬШИХ РЕК В КАРСКОМ МОРЕ И МОРЕ ЛАПТЕВЫХ 133

Осадчиев А.А., Писарева М.Н., Спивак Э.А.
ПЕРЕНОС ПРЕСНЫХ ВОД МЕЖДУ КАРСКИМ МОРЕМ, МОРЕМ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКИМ МОРЕМ 135

Павлова А.В., Архипкин В.С., Мысленков С.А.
ОЦЕНКА РОЛИ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ВЫСОТЫ НАГОНОВ В СЕВЕРНОМ КАСПИИ . . 137

Павлушин В.А., Кубряков А.А.
ТЕРМОХАЛИННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕНГЕЛЬСКОГО АПВЕЛЛИНГА ПО СПУТНИКОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ 139

Коршенко Е.А., Панасенкова И.И., Фомин В.В., Дианский Н.А.
РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОТ ВЫПУСКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ГОЛУБОЙ БУХТЕ Г. СЕВАСТОПОЛЯ 140

Панфилова М.А.
ОСОБЕННОСТИ УЭПР ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ ПАДЕНИЯ ДЛЯ РАЗВИВАЮЩЕГОСЯ ВОЛНЕНИЯ 142

Прядун В.В., Иванова И.Н., Будников А.А., Малахова Т. В., Агафонов В.В., Панова Е.М.
ДЕТЕКТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАНОВЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ В МЕЛКОВОДНОЙ ЗОНЕ ПАССИВНЫМ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ 143

Пузина О.С., Мизюк А.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИДОННОГО ТРЕНИЯ НА КРУПНОМАСШТАБНУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ ЧЁРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 145

Пухлий В.А., Мирошниченко С.Т., Глушкова Е.В., Журавлев А.А., Пухлий П.В.
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ 147

Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.
ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ И КОНТАКТНЫМ ДАННЫМ 149

Рябкова М.С., Титченко Ю.А., Мешков Е.М., Панфилова М.А., Караев В.Ю.
ПОДВОДНЫЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ ВОЛНОГРАФ «КАЛЬМАР» НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОЛИГОНЕ ИО РАН «ГЕЛЕНДЖИК» ДЛЯ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ВСЕПОГОДНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ 151

Сандалюк Н.В., Белоненко Т.В.
ДИНАМИКА И ТЕРМОХАЛИННАЯ СТРУКТУРА МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ 153

Свергун Е.И., Зимин А.В.
КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ НА ШЕЛЬФЕ КАМЧАТСКОГО ПОЛУОСТРОВА ОСЕНЬЮ 2018 ГОДА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ . . . 155

Сендеров М.В., Мизюк А.И.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ 157

Сергеев Д.А., Кандауров А.А., Троицкая Ю.И.
ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ЯВЛЕНИЙ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИВОДЯЩИХ К ОБРАЗОВАНИЮ БРЫЗГ В РАМКАХ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕТРОВОЛНОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ 159

Сильвестрова К.П., Мысленков С.А.
АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОТОКОВ ЯВНОГО И СКРЫТОГО ТЕПЛА НА ГИДРОФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ИО РАН В 2013 ГОДУ 161

Мысленков С.А., Самсонов Т.Е., Архипкин В.С., Киселева С.В., Сильвестрова К.П.
ЭНЕРГИЯ ВЕТРА И ВОЛН В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ 163

Спивак Э.А., Осадчиев А.А.
СИНОПТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПЛЮМА РЕКИ ЛЕНА 165

Степанова Н.Б., Собаева Д.А.
ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРЫ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ НА ПРИМЕРЕ НАТУРНЫХ ДАННЫХ 2006 Г. 167

Стокоз А.К., Плинк Н.Л.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКАТА ДЛИННОЙ ВОЛНЫ НА СУХОЙ БЕРЕГ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЦУНАМИРАЙОНИРОВАНИЯ, НА ПРИМЕРЕ БУХТЫ ЮЖНО-КУРИЛЬСКАЯ (О. КУНАШИР) 169

Сумкина А.А., Богородский П.В.
ВОЗНИКНОВЕНИЕ КОНВЕКЦИИ В СЛОИСТОМ СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ МОРСКОГО ЛЬДА 171

Тароян В.К., Тараканов Р.Ю.
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВИХРЕВОГО ПОЛЯ В АНТАРКТИЧЕСКОМ ЦИРКУМПОЛЯРНОМ КОЛЬЦЕ СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ 173

Тюгалева А.И., Май Р.И.
РЕЖИМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ, РАССЧИТАННЫЕ ПО МОДЕЛИ ДРЕЙФА АЙСБЕРГА 175

Федоров А.М., Белоненко Т.В.
АНАЛИЗ ВИХРЕВОЙ ДИНАМИКИ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА GLORYS 12V1 177

Федотова А.А., Демидов А.Н., Кашин С.В.
ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ВОД МОРЯ СОДРУЖЕСТВА В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД 179

Фомин В.В., Дианский Н.А., Чумаков М.М., Степанов Д.В.
РЕТРОСПЕКТИВНЫЕ РАСЧЕТЫ ЦИРКУЛЯЦИИ И ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ОХОТСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОЙ МОДЕЛИ МОРСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ INMOM И МОРСКОГО ЛЬДА CICE 181

Фролова А.В., Кубряков А.А., БелоненкоТ.В.
ВОЛНЫ РОССБИ В АНТАРКТИЧЕСКОМ ЦИРКУМПОЛЯРНОМ ТЕЧЕНИИ 183

Химченко Е.Е., Серебряный А.Н.
КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В АРАЛЬСКОМ МОРЕ . . . 185

Черных Д.В., Космач Д.А., Шахова Н.Е., Саломатин А.С., Куриленко А.В., Семилетов И.П.
АКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЛАСТЕЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ РАЗГРУЗКИ МЕТАНА, НА ПРИМЕТЕ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ В М. ЛАПТЕВЫХ 187

Шапкин Б.С., Рубченя А.В.
ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В КОНЦЕ XX - НАЧАЛЕ XXI ВЕКОВ 189

Шиков А.П., Панфилова М.А., Понур К.А., Виноградов И.Д., Рябкова М.С., Караев В.Ю.
АЛГОРИТМ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ ДВУХЧАСТОТНОГО ДОЖДЕВОГО РАДИОЛОКАТОРА И РАДИОМЕТРА НА ПРИМЕРЕ ОХОТСКОГО МОРЯ 191

Шукало Д.М., Шульга Т.Я.
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ СЕЗОННОГО И ОСНОВНОГО ПИКНОКЛИНА НА ШЕЛЬФЕ КРЫМСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ 193

Юровская М.В., Кудрявцев В.Н.
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО ТЕЧЕНИЯ ПО МНОГОКАНАЛЬНЫМ ОПТИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ СО СПУТНИКА SENTINEL-2 195

Юровский Ю.Ю., Кудрявцев В.Н.
МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МОРСКИХ ТЕЧЕНИЙ ДОПЛЕРОВСКИМ СКАТТЕРОМЕТРОМ: ВАЛИДАЦИЯ В НАТУРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ 196

Яковлева Д.А., Башмачников И.Л.
СВЯЗЬ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ МОРЯ ЛАБРАДОР И ИНДЕКСА СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ (САК) 198

СЕКЦИЯ «БИОЛОГИЯ ОКЕАНА» 200

Абызова Г.А.
ГРЕБНЕВИКИ BEROE В АРКТИКЕ. НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВИДАХ И ИХ БИОГЕОГРАФИИ 200

Андреева А.Ю., Ефремова Е.С., Кухарева Т.А.
МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИДИЙ, MYTILUS GALLOPROVIN
LAM., В УСЛОВИЯХ ГИПОКСИИ 201

Беззубова Е.М., Романова Н.Д.
БАКТЕРИОПЛАНКТОН ОБЛАСТИ МАТЕРИКОВОГО СКЛОНА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В СЕНТЯБРЕ 2018 ГОДА 203

Бондаренко С.А., Георгиева М.Л., Сахарнов Г.В., Бубнова Е.Н.
ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГРИБОВ В МОРЯХ КАРСКОМ И ЛАПТЕВЫХ 205

Борзых О.Г., Орлова Т.Ю.
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СБОРУ, ПРОБОПОДГОТОВКЕ И ХРАНЕНИЮ МЯГКИХ ГЛУБОКОВОДНЫХ ГРУНТОВ 207

Борзых О.Г., Зверева Л.В.
ПЕРВЫЕ СВЕДЕНЬЯ О ГЛУБОКОВОДНЫХ ГРИБАХ ПОДВОДНОГО ВУЛКАНА ПИЙПА (МАССИВ ВУЛКАНОЛОГОВ, БЕРИНГОВО МОРЕ). 209

Веденин А.А., Галкин С.В., Кокарев В.Н., Гебрук А.В.
ФАУНА МЕТАНОВЫХ ВЫСАЧИВАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ . 211

Ефремова Е.С., Андреева А.Ю., Кухарева Т.А.
ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕМОЦИТОВ CRASSOSTREA GIGAS 213

Жукова К.А., Строганов А.Н., Лобырев Ф.С.
РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНОЙ СОСТАВ И ТЕМП РОСТА ТРЕСКИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ 215

Зинов А.А., Стоник И.В.
ВИДОВОЙ СОСТАВ, ПЛОТНОСТЬ ОСЕННЕГО ФИТОПЛАНКТОНА И СЛУЧАИ ЦВЕТЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ДИАТОМЕЙ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ 2012-2016 ГГ. 216

Кокорин А.И., Барымова А.А., Никитенко Е.Д.
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРОВ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛИТОРАЛИ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ ПЕСКОЖИЛА (ARENICOLA MARINA) НА ОНЕЖСКОМ БЕРЕГУ БЕЛОГО МОРЯ 217

Лепихина П.П., Канафина М.М., Голиков А.В., Сабиров Р.М.
МЕЙОБЕНТОС ЛИТОРАЛИ ГУБЫ ЧУПА БЕЛОГО МОРЯ 218

Лифанчук А.В., Федоров А.В.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ СТРУКТУРЫ ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ 220

Малахова Л.В., Лобко В.В., Скуратовская Е.Н., Шилова Ю.Б.
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОРГАНАХ МОРСКОГО ЕРША В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ МОРСКОЙ АКВАТОРИИ 222

Лобус Н.В.
МАКРО И МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В РАСТИТЕЛЬНОЯДНОМ ЗООПЛАНКТОНЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ: СВЯЗЬ С СОСТАВОМ СООБЩЕСТВА 224

Малахова Т.В., Мансурова И.М., Заговенкова А.Д.
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАНА В ЭВФОТИЧЕСКОМ СЛОЕ ПРИКРЫМСКОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ 102 РЕЙСА НИС "ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ" 226

Марченко Ю.Т., Хайтов В.М., Католикова М.В., Стрелков П.П.
СТЕПЕНЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ РАЗЛИЧИЙ СИМПАТРИЧЕСКИХ МИДИЙ MYTILUS EDULIS L. И M. TROSSULUS GOULD МЕНЯЕТСЯ В ГЕОГРАФИЧЕСКОМ МАСШТАБЕ 228

Мельник А.С., Ежова Е.Е.
ЦВЕТЕНИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ВОДАХ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ В ИЮЛЕ 2018Г. . . . 230

Прохорова Д.А., Водясова Е.А.
СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА GYRODACTYLUS (PLATYHELMINTHES: MONOGENEA) – ПАРАЗИТОВ МОРСКИХ РЫБ В ЧЕРНОМ И АЗОВСКОМ МОРЯХ 232

Салахов Д.О.
СПОСОБНОСТЬ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ FUCUS VESICULOSUS К ОЧИСТКЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ 234

Тарновецкий И.Ю., Меркель А.Ю., Гулин М.Б., Пименов Н.В.
РАЗНООБРАЗИЕ АРХЕЙ ПРИБРЕЖНЫХ МЕТАНОВЫХ СИПОВ ЧЕРНОГО МОРЯ 236

Шапкина А.О.
БЕСПОЛОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ AURELIA SPP. (CNIDARIA, SCYPHOZOA) ИЗ БЕЛОГО, ЧЕРНОГО, ЯПОНСКОГО МОРЕЙ ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ 238

Шульгина М.А., Шевченко О.Г.
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА THALASSIOSIRA NORDENSKIOELDII (BACILLARIOPHY В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ) . 240

Юрчак М.И., Мякишев М.С., Зеленников О.В.
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА ДИФФЕРЕНЦИРОВКУ ПОЛА У МОЛОДИ СИМЫ ONCORHYNCHUS MASU 242

Явид Е.Я.
ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ МЕТАБОЛИТНОГО СОСТАВА РДЕСТА ПРОНЗЕННОЛИСТНОГО (POTAMOGETON PERFOLIATUS L.) В РАЗНОТИПНЫХ МЕСТООБИТАНИЯХ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА 244

СЕКЦИЯ «ФИЗИКА И БИОЛОГИЯ ОКЕАНА» 245

Ваккер Н.Л.
ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РЫБ ПО УЛОВАМ НА СВЕТОВЫХ СТАНЦИЯХ 245

Василенко Н.В., Медведева А.В.
АНОМАЛЬНЫЕ ЦВЕТЕНИЯ СИНЕ-ЗЕЛЕНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В АЗОВСКОМ МОРЕ 247

Кивва К.К.
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ОСНОВНЫЕ ОБЪЕКТЫ РОССИЙСКОГО РЫБНОГО ПРОМЫСЛА: НАРАБОТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ 249

Конокова А.В., Мысленков С.А., Багаев А.В.
ПОДХОДЫ К ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПЕРЕХОДА ЧАСТИЦ В СИСТЕМЕ ВОДА/БЕРЕГ НА ПРИМЕРЕ МИКРОПЛАСТИКА 251

Литвинюк Д.А., Сахонь Е.Г., Багаев А.В.
МЕТОДИКА ОТБОРА ПРОБ, СЕПАРАЦИИ И КОЛИЧЕСТВЕННОГО УЧЁТА ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ 253

Маховиков А.Д., Лобанова П.В.
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ VGPM В ЯПОНСКОМ МОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ 255

Муравья В.О.
ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ПЕРЕМЕШАННОГО СЛОЯ НА РАЗВИТИЕ КОККОЛИТОФОРИДНОГО ЦВЕТЕНИЯ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД257

Рогинская М.О, Лобанова П.В.
СВЯЗЬ ВСТРЕЧАЕМОСТИ СЕРЫХ КИТОВ (ESCHRICHTIUS ROBUTUS) С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТЬЮ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А У ПОБЕРЕЖЬЯ ПОЛУОСТРОВА КАЛИФОРНИЯ 259

Чернов И.А., Толстиков А.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ МОРЯ СО ЛЬДОМ НА ПРИМЕРЕ БЕЛОГО МОРЯ 261

Филиппова Т.А., Васечкина Е.Ф.
ОЦЕНКА ОБЪЁМОВ ПРОДУЦИРОВАННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА И ВЫДЕЛЕННОГО РАСТВОРЁННОГО КИСЛОРОДА ФИТОЦЕНОЗАМИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КРЫМА 263

СЕКЦИЯ «МОРСКАЯ ГЕОЛОГИЯ» 265

Абрамова А.С., Зарайская Ю.А.
МЕТОД КАРТИРОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ ПО СОНАРНЫМ ДАННЫМ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТИРОВАНИЯ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ШЕЛЬФА И ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ 265

Аверкина Н.О., Талденкова Е.Е., Овсепян Я.С.
УСЛОВИЯ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ НА ВОСТОЧНОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ГОЛОЦЕНЕ НА ФОНЕ РАЗВИТИЯ ПОСЛЕЛЕДНИКОВОЙ ТРАНСГРЕССИИ 268

Афанасьева В.К., Хилленбранд К.Д., Кун Г., Клаггес Й.Ф., Лейченков Г.Л.
ИЗУЧЕНИЕ ПРОКСИМАЛЬНЫХ ЛЕДНИКОВО-МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВНУТРЕННЕГО ШЕЛЬФА МОРЯ АМУНДСЕНА (ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИКА) . . . 270

Буланова И.А., Соловьева М.А., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М., Старовойтов А.В.
НОВЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ОПОЛЗНЕВОЙ ДЕСТРУКЦИИ АВАНДЕЛЬТЫ Р. СЕЛЕНГА: ЕЛОВСКАЯ ПОГРЕБЕННАЯ СТРУКТУРА НА СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ CLASS@BAIKAL 272

Гуров К.И.
ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ 274

Закиров Р.Б.,Чубаренко Б.В.
МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДВОДНОГО ПЕСЧАНОГО БАРА НА ВХОДЕ В КАЛИНИНГРАДСКИЙ ЗАЛИВ КАК ИНДИКАТОРЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОДООБМЕНА ЗАЛИВА С МОРЕМ . . 276

Козина Н.В., Рейхард Л.Е.
АУТИГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ГЛУБОКОВОДНЫХ КОТЛОВИН КАСПИЙСКОГО МОРЯ 279

Колесник О.Н., Колесник А.Н.
ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА РОССИИ: СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ 281

Колтовская Е.В., Клювиткин А.А.
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТОКОВ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА НА МНОГОЛЕТНЕМ ТРАНСОКЕАНИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ В СУБПОЛЯРНОЙ АТЛАНТИКЕ . 282

Кондакова В.Н., Крылов А.А.
ВЛИЯНИЕ ОЛЕДЕНЕНИЙ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА НА УГЛЕВОДОРОДНУЮ СИСТЕМУ БАРЕНЦЕВА МОРЯ 284

Крылов А.А., Плотц А., Гайсслер В., Баранов Б.В., Шибаев С.В., Крюгер Ф., Хаберланд К., Цуканов Н.В.
НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСЕЙСМИЧНОСТИ ЛАПТЕВОМОРСКОГО РЕГИОНА 286

Кулешова Л.А.
РЕКОНСТРУКЦИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ВОД СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА В ГОЛОЦЕНЕ ПО КОМПЛЕКСАМ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР 288

Лапенков А.Е., Зуев Ю.А.
ВОДОЛАЗНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНОГО ЛАНДШАФТА НА ПРИМЕРЕ БУХТ ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА 290

Мустафина Ф.И., Шарма Р., Черкашов Г.А.
ОЦЕНКА ЗАПАСОВ И РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДОБЫЧИ МЕТАЛЛОВ НА СУШЕ 292

Овакимян В.В., Пасынков А.А.
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ФИЛЛОФОРНОГО ПОЛЯ ЗЕРНОВА 295

Овсепян Я.С., Талденкова Е.Е., Руденко О.В., Степанова А.Ю., Баух Х.А., Гречихина Н.О.
КОМПЛЕКСНЫЕ РЕКОНСТРУКЦИИ УСЛОВИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛОГО МОРЯ ДЛЯ ПОЗДНЕМОСКОВСКОГО И МИКУЛИНСКОГО ВРЕМЕНИ 297

Панкратова Е.М., Дорохова Е.В., Малафеев Г.В.
РОССЫПИ ТЯЖЕЛЫХ МИНЕРАЛОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ: ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ 299

Пономаренко Е.П.
ВАРИАЦИИ ЗАТОКОВ СЕВЕРОМОРСКИХ ВОД В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ В ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНОЕ ВРЕМЯ (ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР) 301

Рукавишникова Д.Д.
ОПОЛЗНЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СКЛОНА ОСТРОВА САХАЛИН 303

Соловьева М.А., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М.
ОТКРЫТИЕ ГИДРАТОНОСНОЙ СТРУКТУРЫ «МГУ» НА ДНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ В ЭКСПЕДИЦИИ CLASS@BAIKAL 305

Сухих Е.А.
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОННЫХ ОСАДКОВ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО ДАННЫМ 28-ГО И 38-ГО РЕЙСОВ НИС "АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ" 307

Тихонова А.В.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И РАЗНООБРАЗИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР В ДОННЫХ ОСАДКАХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ (60N) 309

СЕКЦИЯ «ХИМИЯ ОКЕАНА» 311

Борисенко Г.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКОВ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ "ИЛОВЫЕ ВОДЫ - ПРИДОННЫЙ ГОРИЗОНТ" НА ПРИМЕРЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ 311

Гусак Г.В., Лобанова П.В.
ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЗАКИСЛЕНИЕ ВОД ОКЕАНА В ТРОПИЧЕСКИХ ШИРОТАХ В 1998-2016 ГГ 313

Донец М.М., Цыганков В.Ю.
ХИМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ РОССИИ 315

Зологина Е.Н., Бережная Е.Д., Михайлик Е.В.
ПЛАТИНА В ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВОЙ КОРКЕ ГАЙОТА ДЕТРОЙТ 317

Кодрян К.В.
БИОГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДАХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ 319

Коссова С.А., Дубинина Е.О., Мирошников А.Ю.
ОПРЕСНЕНИЕ МОРСКИХ ВОД В ЗАЛИВАХ ЦИВОЛЬКИ И СЕДОВА (НОВАЯ ЗЕМЛЯ) ПО ИЗОТОПНЫМ (D, ^{18}O) ДАННЫМ 321

Кременчуцкий Д.А., Батраков Г.Ф.
БЕРИЛЛИЙ-7 В ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ 323

Куринная Ю.С., Гуров К.И., Котельянец Е.А.
ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И МЫШЬЯКОМ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ В 2018 Г. 325

Параскив А.А., Терещенко Н.Н., Проскурнин В.Ю., Чужикова-Проскурнина О.Д.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ПЛУТОНИЯ В БИОТИЧЕСКИХ И АБИОТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТАХ СОЛЕНЫХ ОЗЕР КРЫМА 327

Погожева М.П., Якушев Е.В., Петров И.Н., Яески Е.А., Полухин А.А., Маккавеев П.Н., Бротен Х.-Ф.
ВЛИЯНИЕ ТАЯНИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА БИОХИМИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКИХ ВОД 329

Полухин А.А., Пронина Ю.О.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АСИДИФИКАЦИИ ВОД МОРЕЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА (КАРСКОЕ, ЛАПТЕВЫХ, ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ) . . . 331

Проскурнин В.Ю., Терещенко Н.Н., Параскив А.А., Чужикова-Проскурнина О.Д.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $^{239+240}$PU В КОМПОНЕНТАХ ЭКОСИСТЕМЫ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕЙСОВ НА НИС "ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ"В 2016-2017 ГГ. 333

Свищев С.В.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АДАПТИВНОГО БАЛАНСА ВЛИЯНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АССИМИЛЯЦИОННОЙ ЕМКОСТИ МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ 335

Селиверстова А.М.
МОНИТОРИНГ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ 337

Семерюк И.А., Пастухов И.А., Намятов А.А., Махотин М.С.
ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРА ^{18}O В КАЧЕСТВЕ ТРАССЕРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСТАВА ВОДНЫХ МАСС БЕРЕНЦЕВА МОРЯ И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ 339

Довгий И.И., Товарчий Я.Ю., Шибецкая Ю.Г., Бежин Н.А., Кременчуцкий Д.А.
ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИЗОТОПОВ РАДИЯ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ 341

Цыганков В.Ю., Лукьянова О.Н., Боярова М.Д., Мазур М.А., Полянский Д.А., Гумовский А.Н., Журавель Е.В.
БИОИНДИКАТОРЫ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЯХ РОССИИ 343

Чайкин Д.Ю., Вертерич А.В., Козловская О.Н., Хлыстов В.А., Довгий И.И.
СУБМАРИННАЯ РАЗГРУЗКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНЕ МЫСА АЙЯ . 345

СЕКЦИЯ «МОРСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ» 347

Давыдова А.Ю., Дёмин В.В., Половцев И.Г., Ольшуков А.С.
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ DHC-ЗОНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНКТОНА И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ 347

Анисимов И.М., Белевитнев Я.И., Краснова В.В., Кузьмин В.Ю., Марин В.М.
СИСТЕМА ПАНОРАМНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ВИЗУАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 349

Воликов М.С., Лунев Е.Г., Быков Е.М.
ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОНОМНОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ АРКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ 351

Воронцов К.В., Шаповалов Р.О.
БУКСИРУЕМЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ АВТОНОМНЫЙ «БИТА» . 353

Глухов В.А., Гольдин Ю.А., Родионов М.А.
РЕГИСТРАЦИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН И НЕОДНОРОДНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЧЕРНОМ МОРЕ СУДОВЫМ ЛИДАРОМ ПЛД-1 355

Греков А.Н., Шишкин Ю.Е., Никишин В.В.
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ НА ОСНОВЕ АВТОНОМНОГО НАДВОДНОГО МИНИ-КОРАБЛЯ 357

Кудинов О.Б., Удовик В.Ф
РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ПРИБОРА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ИЗМЕНЧИВОСТИ РЕЛЬЕФА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ 359

Кудинов О.Б.
АВТОНОМНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СПЕКТРА ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА 361

Кудинов О.Б., Латушкин А.А.
ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОРСКОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ 363

Латушкин А.А., Кудинов О.Б.
АВТОНОМНЫЙ ЗОНДИРУЮЩИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ 365

Маевский А.М., Гайкович Б.А.
РАЗРАБОТКА МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ПЕРСПЕКТИВОЙ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ РЕЗИДЕНТНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ, НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТНОЙ РАБОТЫ ПО РАЗРАБОТКЕ ЛИНЕЙКИ АНПА «ГЛАЙДЕР-ГИБРИДНЫЙ ГЛАЙДЕР- I-AUV». 367

Мольков А.А., Лещев Г.В., Кудинов О.Б.
ПОГРУЖНОЙ СПЕКТРОГИДРОНЕФЕЛОМЕТР: ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 370

Мысленков С.А., Михайлов В.А.
ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛН В ГОЛУБОЙ БУХТЕ (ГЕЛЕНДЖИК) ПРИ ПОМОЩИ ВИДЕОКАМЕРЫ И РЕЙКИ 372

Нурисламова К.Р., Пелевин В.В.
ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНЫХ ВОДОЁМОВ ПРИ ПОМОЩИ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ЛИДАРА 374

Пасынков М.А., Рязанов В.А.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ РЕГИСТРАЦИОННОГО БЛОКА АКУСТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕЧЕНИЯ 376

Шатравин А.В.
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ПОДВОДНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ В МЕЛКОМ МОРЕ В ОСЕННИХ УСЛОВИЯХ 378

Шишкин Ю.Е., Греков А.Н.
МЕТОДЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВИДЕОРЕГИСТРАТОРА И АНАЛИЗАТОРА ПЛАНКТОНА 380

Шоларь С.А., Крамарь В.А.
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ 382

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В МИРОВОМ ОКЕАНЕ

Багаев А.В.[1], **Чубаренко И.П.**[2]

[1]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь,*
[2]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

a.bagaev1984@gmail.com

Ключевые слова: микропластик, Балтийское море, Чёрное море.

Исследование загрязнения мирового океана пластиковыми отходами - одно из активно развивающихся направлений в категории наук о Земле. Однако методология и терминология проводимых экспериментов и собранных данных еще далеки от унификации. Относительно установившимся можно считать разделение на микро- и макропластиковое загрязнения. Под макропластиком обычно понимают более привычный "пластиковый мусор", который можно наблюдать практически в любой части суши и Мирового океана благодаря почти повсеместному расселению человека, дешевизне производства пластика, его стойкости к деградации и низкому коэффициенту утилизации отходов, а также геофизическим причинам: ветру и течениям. Термин микропластик стал использоваться относительно недавно. Под ним принято понимать частицы искусственных полимеров с размерами менее 5 мм. Нижняя граница зачастую определяется целями исследования или использованным оборудованием. В некоторых работах частицы менее 0.5 мм называют также нанопластиком. Тенденции и угрозы пластикового загрязнения в антропосфере признаны и описаны в базовых документах UNEP, NOAA, GreenPeace и др. Определенные меры принимаются и на уровне национальных программ.

В случае с микропластиком оценки степени загрязнения, влияния на биоту и, в частности, на человека усложнены трудоемкостью и относительно высокой стоимостью проведения исследований. Кроме того, глобальный характер этого загрязнения требует унификации подходов, единиц измерения и методов идентификации.

Можно выделить три основных категории, в которых ведется исследование микропластика (МП) в Мировом океане:

- биолого-биохимическая: присутствие МП в пищеварительной и выделительной системах зоопланктона, рыб и животных, а также лабораторные исследования влияния МП на функционирование живых организмов, изучение процессов сорбции-десорбции тяжелых металлов, ПХБ и др. опасных загрязнителей;
- экономико-социальная: изучение объемов производства, транспорта и переработки пластика, методов утилизации и т.п.;
- физическая: процессы и механизмы разрушения пластика, его перенос в реках, морях и в океане, процессы обмена с берегом, численное моделирование.

В физической части главным представляется понимание принципов перемещения частиц на микроуровне, т.е. перенос с течениями и ветром, осаждение в толще воды, взмучивание и вынос на берег, аккумуляция в зависимости от условий окружающей среды, влияние формы и плотности и, наконец, процессы генерации микропластика из макропластика [1, 2]. Основной сложностью в физическом описании переноса частиц МП является,

во-первых, многообразие свойств частиц и, во-вторых, изменчивость этих свойств со временем «жизни» пластика в окружающей среде. Действительно, уже исходные плотности пластиков изменяются в широких пределах - от 0.01-0.05 кг/м^3 (у вспененных форм) до почти 3 кг/м^3, размеры частиц МП, обнаруживаемых в морской среде, характеризуются распределениями, а формы - чрезвычайно разнообразны [1]. При этом интегральная плотность частиц меняется со временем в результате старения материала, био-обрастания и/или агрегации с частицами органики или осадка, размеры частиц уменьшаются по мере фрагментации из-за механических нагрузок и УФ-излучения. Описание поведения объектов такого рода представляет трудную задачу. особенно в естественных условиях прибрежной зоны моря.

В задачах численного моделирования на данный момент решены глобальные задачи по переносу пластикового загрязнения на уровне океанов и морей, однако для разработки более надежных прогностических моделей необходимо накопление данных о концентрациях и изменчивости концентрации МП в водной толще [3] и на берегах [4], а также параметризация источников МП и процессов обмена с берегом [5]. В большинстве полевых исследований приводятся данные о мгновенных концентрациях МП в воде вне зависимости от текущей гидрометеорологической обстановки, преобладающих течений и без указания возможной временной изменчивости. Для изучения связи между концентрацией МП в водах антропогенно нагруженного и урбанизированного эстуария проводятся исследования в Севастопольской бухте, сопровождаемые численным моделированием.

Исследования проводятся при финансовой поддержке РФФИ в рамках международных научных проектов № 18-55-45024 и № 18-55-76001.

Список литературы

1) I. Chubarenko, A. Bagaev, M. Zobkov, E. Esiukova, On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment, Marine Pollution Bulletin, Volume 108, Issues 1–2, 2016, Pages 105-112, ISSN 0025-326X, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.048.

2) Efimova I., Bagaeva M., Bagaev A., Kileso A. and Chubarenko I.P. Secondary Microplastics Generation in the Sea Swash Zone With Coarse Bottom Sediments: Laboratory Experiments //Front. Mar. Sci. 5:313. 2018

3) M.B. Zobkov, E.E. Esiukova, A.Y. Zyubin, I.G. Samusev, Microplastic content variation in water column: The observations employing a novel sampling tool in stratified Baltic Sea, Marine Pollution Bulletin, Volume 138, 2019, Pages 193-205, ISSN 0025-326X, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.047.

4) Chubarenko I.P., Esiukova E.E., Bagaev A.V., Bagaeva M.A., Grave A.N. Three-dimensional distribution of anthropogenic microparticles in the body of sandy beaches // Science of the Total Environment. – 2018. – Volume 628-629. – Pages 1340-1351.

5) Chubarenko I., Esiukova E., Bagaev A., Isachenko I., Demchenko N., Zobkov M., Efimova I., Bagaeva M., Khatmullina L. Behavior of Microplastics in Coastal Zones //Microplastic Contamination in Aquatic Environments (Chapter 6). Elsevier. Editor(s): Eddy Y. Zeng. 2018. P. 175-223

ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В МОРСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Колесник А.Н.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

aiaks1986@mail.ru

Ключевые слова: цвет, цветометрия, морская геология, донные отложения океанов, морей, озер.

Цветометрия (колориметрия) - система знаний о методах измерения и количественном выражении цвета. В морской геологии цвет донных отложений является важным признаком, который дает первичное представление об их вещественном составе, среде осадконакопления и ее временной динамике (палеореконструкции), а также о степени и характере постседиментационных изменений.

Заявленный доклад носит обзорный характер и сопровождается примерами из наиболее значимых работ предшественников, современников [1-3, 6] и собственных исследований [4, 5]. Планируется рассмотреть некоторые основополагающие вопросы цветометрии с акцентом на возможностях и перспективах цветометрического анализа в морской геологии.

Структура доклада

1. Общее представление о цвете. Визуальное изучение объекта. Проблема субъективности цветоописания.

2. Измерение цвета. Количественные характеристики цвета. Цветовые модели. Цветовые шкалы и атласы.

3. Особенности цветометрического анализа донных осадков морей и водных бассейнов суши. Связь с гранулометрическими, минералогическими, геохимическими и другими характеристиками. Контролирующие факторы.

4. Основные достижения в цветометрии донных отложений (анализ отечественной и зарубежной литературы). Индикаторые возможности цветностных характеристик и их производных.

Результаты цветометрического анализа донных отложений обладают потенциальной практической ценностью и в комплексе с другими параметрами могут применяться в палеореконструкциях с последующим составлением прогнозов изменений климата, площади и толщины морского льда, биологической продуктивности, развития опасных природных процессов и общего экологического состояния окружающей среды, а также в поиске полезных ископаемых.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-10043).

Список литературы

1) Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / Изд. 3-е, исправл. и доп. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.

2) Гуревич М.М. Цвет и его измерение. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 268 с.

3) Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. М.: Мир, 1978. 592 с.

4) Колесник А.Н., Босин А.А., Колесник О.Н., Саттарова В.В., Вологина Е.Г., Талденкова Е.Е., Чистякова Н.О. Цветностно-яркостные характеристики в литостратиграфии донных отложений Чукотского плато, Северный Ледовитый океан // Геохимия. 2018. № 3. С. 258–268.

5) Колесник А.Н., Колесник О.Н., Астахов А.С., Вологина Е.Г. Первая цветометрическая характеристика донных отложений Чукотского моря // Доклады Академии наук (в печати).

6) Луизов А.В. Цвет и свет. Л.: Энергоатомиздат, 1989. 256 с.

ДИАГНОСТИКА ДЕФИЦИТА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА

Конюхов И.В., Воробьева О.В.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Биологический факультет, г. Москва

Vanka.kon@gmail.com

Ключевые слова: Флуоресценция хлорофилла, фитопланктон, минеральное питание, дефицит, NIFT

В докладе рассмотрен метод измерения флуоресценции хлорофилла на устройстве с импульсной модуляцией интенсивности возбуждающего света (англ. PAM). Прибор автоматически проводит серию из 10-20 измерений флуоресценции после адаптации микроводорослей к свету различной интенсивности. Это позволяет построить световую кривую скорости первичных реакций фотосинтеза (англ. ETR). Данная кривая характеризует способность клеток к усвоению световой энергии и показывает, выше какой интенсивности света наступает насыщение фотосинтеза [1]. Приведены результаты экспериментов на культурах одноклеточных водорослей, где показана зависимость световых кривых скорости фотосинтеза от температуры, от условий длительной световой адаптации культуры, а так же от дефицита азота. Таким образом, кривую ETR можно рассматривать как результирующую от видового состава фитопланктонной пробы и определенного сочетания основных физико-химических факторов среды - температуры, pH и концентрации элементов минерального питания, в т.ч. углекислого газа (карбонат-ионов) [2]. Сопоставление световой кривой ETR и интенсивности света на том горизонте водной толщи, с которого была взята проба фитопланктона, дает возможность подтвердить или исключить световой характер лимитирования роста клеток водорослей в природных условиях. Особое внимание уделено сравнительно новому экспериментальному подходу к экспресс-диагностике дефицита элементов минерального питания. Метод построен на регистрации (присутствии или отсутствии) так называемого NIFT-сигнала флуоресценции (Nutrient Induced Fluorescence Transient) в первые минуты после добавления питательных элементов в среду с клетками водорослей [3]. Приведены результаты модельных NIFT- экспериментов с культурами водоросли Chlorella vulgaris, выращенных на среде без минерального дефицита и на средах с дефицитом либо азота, либо фосфора. Показана селективность NIFT- сигналов флуоресценции хлорофилла к различным типам минерального дефицита, а так же возможность детекции NIFT- сигналов при содержании хлорофилла в пробе около 2 мкг/л на флуориметре собственной разработки с низким уровнем шума.

Список литературы

1) Figueroa F.L, Conde-Alvarez R, Gómez I. Relations between electron transport rates determined by pulse amplitude modulated chlorophyll fluorescence and oxygen evolution in macroalgae under different light conditions. Photosynth Res. 75: 259–275, 2003

2) Linda A. Franklin, Murray R. Badger A Comparison of Photosynthetic Electron Transport Rates in Macroalgae Measured by Pulse Amplitude Modulated Chlorophyll Fluorometry and Mass Spectrometry. J. Phycol. 37: 756-767, 2001

3) D. J. Suggett, O. Prášil, M. A. Borowitzka. Chlorophyll a Fluorescence in Aquatic Sciences: Methods and Applications. DEVELOPMENTS IN APPLIED PHYCOLOGY , Springer, 2010

ВЛИЯНИЕ ПРИЛИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА РЕЧНЫЕ ПЛЮМЫ И ОПРЕСНЕННЫЕ ЛИНЗЫ В КАРСКОМ МОРЕ И МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

Осадчиев А.А., Щука С.А., Медведев И.П.

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

osadchiev@ocean.ru

Ключевые слова: речной плюм, прилив, приливное перемешивание, стратификация, Енисей, Обь, Лена, Пясина, Карское море, море Лаптевых.

Работа посвящена исследованию влияния приливного перемешивания на речные плюмы и опресненные линзы, формируемые в Карском море и море Лаптевых. На основе натурных и спутниковых данных мы показываем, что интенсивная приливная циркуляция в ряде мелководных районов исследуемых морей регулярно приводит к поднятию верхней границы придонного слоя турбулентного перемешивания к поверхности моря, что вызывает интенсивное перемешивание опресненного поверхностного слоя с нижележащими солеными морскими водами. Из-за этого процесса речные плюмы и опресненные линзы Карского моря и моря Лаптевых резко трансформируются при распространении над этими мелководными районами, в частности, существенно уменьшаются их аномалия солености, толщина и стратификация. В теплые периоды года, когда температура речного плюма существенно выше температуры нижележащего слоя моря, этот процесс сопровождается существенным понижением поверхностной температуры, четко различимым на спутниковых снимках. Также для ряда мелководных областей, расположенных в основном в море Лаптевых, интенсивное приливное перемешивание приводит к ресуспензии донных отложений и их поднятию вместе с верхней границей турбулентного придонного слоя в поверхностный слой. Этот процесс приводит к повышенным концентрациям взвешенных веществ в поверхностном слое и четко различим на оптических спутниковых снимках.

С помощью трехмерной численной приливной модели AOTIM5 для Карского моря и моря Лаптевых было вычислено распределение параметра Хантера-Симпсона, характеризующего интенсивность приливного перемешивания поверхностного слоя. Полученное распределение параметра Хантера-Симпсона показало хорошее соответствие с расположением вышеописанных областей, где регулярно регистрируется пониженная температура и повышенная мутность в поверхностном слое моря. Области интенсивного приливного перемешивания поверхностного слоя, рассчитанные с помощью численного моделирования, занимают значительные части шельфа Карского моря (80 000 км^2) и моря Лаптевых (100 000 км^2). Наибольшая интенсивность приливного перемешивания поверхностного слоя наблюдается в западной части моря Лаптевых, к северу от Новосибирских островов, в центральной части Карского моря около Обской губы и в северной части Обской губы.

Расположение и интенсивность областей приливного перемешивания поверхностного слоя существенным образом влияет как на формирование речных плюмов, так и на их распространение и трансформацию в Карском море и море Лаптевых. Натурные измерения, выполненные в Карском море и море Лаптевых в 2015-2018 годах, показывают резкое увеличение поверхностной солености и уменьшение толщины плюмов и поверхностной температуры в областях повышенного приливного перемешивания поверхностного слоя, идентифицированных на спутниковых снимках и с помощью численного моделирования. На основе натурных данных и данных реанализа атмосферной циркуляции показана незначительная роль ветрового воздействия на перемешивание опресненного поверхностного слоя во время полевых измерений по сравнению с влиянием приливных течений. Большие речные плюмы, сформированные реками Лена, Обь и Енисей в течение периодов высокого стока, имеют четкие локальные максимумы солености в этих областях, не связанные

с расстоянием до источника пресноводного стока. Кроме того интенсивность приливного перемешивания поверхностного слоя значительно выше в районе, расположенном к северу от Обской губы, по сравнению с районом, расположенном к северу от Енисейского залива, в результате чего плюм Оби перемешивается с окружающим морем более интенсивно, чем плюм Енисея, что подтверждают натурные измерения.

Речные плюмы, сформированные реками меньшего размера или большими реками в период межени диссипируют областях интенсивного приливного перемешивания поверхностного слоя. Этот эффект наблюдается, во-первых, для плюма реки Обь, диссипировавшего над мелководной банкой в северной части Обской губы и не распространявшегося в открытое море поздней осенью 2016 года, и, во-вторых, для плюма реки Пясина в Карском море, диссипирующего в течение всего безледного периода года над мелководной банкой, расположенной к северу от Пясинского залива. Интенсивность приливного перемешивания поверхностного слоя относительно невелика в прибрежной части западной части моря Лаптевых (за исключением восточной части Оленекского залива), но значительна в прибрежной части восточного побережья. В результате этого среди плюмов крупных рек моря Лаптевых только плюм реки Яна испытывает незначительной влияние приливного перемешивания, в то время как плюмы Лены, Хатанги, Анабара и Оленька перемешиваются с нижележащими солеными морскими водами и трансформируются непосредственно в приустьевых и придельтовых областях.

Области сильного приливного перемешивания поверхностного слоя, расположенные в центральной части Карского моря, западной и центральной частях моря Лаптевых, также существенным образом влияют на распространение и трансформацию опресненных линз, тем самым влияя на крупномасштабный перенос пресноводного стока в этих морях. Интенсивное приливное перемешивание поверхностного слоя в западной и центральной частях моря Лаптевых препятствует формированию стратифицированного поверхностного слоя и уменьшает пресноводный перенос из Карского моря в море Лаптевых через пролив Вилькицкого. Приливное перемешивание в восточной части моря Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря, напротив, имеет малую интенсивность, в результате чего приливы оказывают незначительное влияние на пресноводный перенос из моря Лаптевых в Восточно-Сибирское море через проливы Дмитрия Лаптева и Санникова.

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания ФАНО России, тема 0149-2019-0003 (сбор натурных данных); при поддержке РФФИ, проекты 18-05-60302 (анализ натурных данных), 18-05-60069 (сбор спутниковых данных), 18-05-60250 (моделирование приливов) и 18-05-00019 (исследование речных плюмов); при поддержке РНФ, проекты 18-17-00089 (анализ натурных данных) и 14-37-00038 (анализ приливных данных); при поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК-6168.2018.5 (исследование переноса пресноводного стока).

ИЗМЕНЕНИЯ В ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЕ ВОД БАРЕНЦЕВА МОРЯ В 2007-2017 ГГ.

Аксенов П.В.[1], **Иванов В.В.**[2,3]

[1]*Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург*

[2]*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург*

[3]*Московский государственный универсистет, г. Москва*

akspeter@mail.ru

Ключевые слова: Баренцево море, гидрологический режим, ледяной покров, вертикальная структура, реанализ.

Потепление климата, выраженное главным образом уменьшением площади морского льда и трансформацией вертикальной структуры вод, в последние десятилетия особенно ярко проявляется в арктическом регионе. Здесь оно происходит неравномерно и в Баренцевом море усилено притоком тёплых и солёных атлантических вод – так называемой «атлантификацией» [1] – на юге и юго-западе, с одной стороны, и снижением импорта морского льда из Северного Ледовитого океана [2], с другой. В рамках данной работы авторы делают упор на изучение влияния вод атлантического происхождения как наиболее вероятной причины изменения термохалинной структуры вод Баренцева моря за период с 2007 по 2017 гг. по данным океанского реанализа МЕРКАТОР.

Временную и пространственную изменчивость термохалинных параметров (потенциальной температуры и солёности) на акватории Баренцева моря можно оценить с использованием данных океанского реанализа МЕРКАТОР (https://www.mercator-ocean.fr/) на горизонтах 0, 25, 50 и 150 метров. Несмотря на наблюдаемое резкое повышение температуры и солёности Северного Ледовитого океана с середины 2000-ых гг., в работе используются данные с 2007 г., поскольку сама система реанализа начала своё существование с этого года. Кроме того, применяется разделение исследуемого периода на два: 2007-2011 гг. и 2012-2017 гг., т.к. именно в 2012 г. наблюдался абсолютный минимум площади ледяного покрова в Северном Ледовитом океане.

С помощью программного пакета ГИС по осреднённым по сезонам исходным данным были построены карты распределения солёности, потенциальной температуры и ледовитости для акватории Баренцева моря (зимний сезон: декабрь-апрель; летний сезон: июль-октябрь).

Сравнение карт теплового состояния Баренцева моря для зимних сезонов 2007-2011 гг. и 2012-2017 гг. показывает снижение потенциальной температуры воды, восточнее архипелага Шпицберген. Распространение области повышенных значений потенциальной температуры в 2012-2017 гг. говорит об увеличении интенсивности притока тёплых атлантических вод с Нордкапским течением на горизонтах 50-150 м. Рост притока тёплых вод из Атлантики, как следствие, вызывает усиление термохалинной конвекции, что в свою очередь приводит к сокращения ледяного покрова Баренцева моря. Более обширные поля открытой воды накапливают в летний сезон большее количество тепла. Термохалинная конвекция захватывает тёплую атлантическую воду, поднимая её к поверхности. Изменение значений потенциальной температуры в летний сезон в сравнении 2007-2011 гг. и 2012-2017 гг. особенно заметно на горизонте 25 м. Так, ко второму рассматриваемому периоду область распространения атлантической воды практически достигает берегов архипелага Новая Земля.

Сравнение карт распределения солёности за периоды 2007-2011 гг. и 2012-2017 гг. подтверждает факт усиления притока атлантических вод в Баренцево море, т.к. наблюдается увеличение солёности вод у его юго-западной границы. Распространение атлантических вод с повышенной соленостью до архипелага Новая Земля отмечается также на горизонте 150 м как для летнего, так и для зимнего сезонов.

Карты распределения ледовитости на акватории Баренцева моря наглядно показывают влияние тёплых атлантических вод на состояния ледяного покрова. В зимний сезон 2007-2011 гг. ледовитость на большую часть акватории составляет $<5\%$. Основная масса льда сконцентрирована выше 77^{o} с.ш. (от 50 до 100% в северном направлении). В летний сезон этого же периода аналогично с 77^{o} с.ш. и далее на север располагается зона повышенной ледовитости. Южнее 77^{o} с.ш. лёд отсутствует. При сопоставлении карт распределения ледовитости Баренцева моря разных периодов видно, что площадь ледяного покрова сократилась как для зимнего, так и для летнего сезонов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-05-00558.

Список литературы

1) Аксёнов, П.В. «Атлантификация» как вероятная причина сокращения площади морского льда в бассейне Нансена в зимний сезон / П.В. Аксёнов, В.В. Иванов // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2018. – Т. 64. – №1. – С. 42-53.

2) Lind, S. Arctic warming hotspot in the northern Barents Sea linked to declining sea-ice import / S. Lind, R.B. Ingvaldsen, T. Furevik // Nature Climate Change. – 2018. – №8. – С. 634-639.

СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ПРОЦЕССЫ У ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СПУТНИКОВ LANDSAT И SENTINEL-2

Алескерова А.А.[1], Кубряков А.А.[1], Станичный С.В.[1], Зацепин А.Г.[2], Медведева А.И.[1]

[1] *Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

[2] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

Annete08@mail.ru

Ключевые слова: субмезомасштабные процессы, Landsat, Sentinel-2.

Субмезомасштабные процессы (L=1-10 км, T=1-10 суток) являются промежуточным звеном между крупномасштабной, синоптической циркуляцией океана и мелкомасштабными турбулентными процессами, отвечающими за перемешивание в океане. Они играют существенную роль в диссипации и каскаде энергии в океане, горизонтальном и вертикальном обмене. Интенсивность субмезомасштабных процессов возрастает в прибрежной зоне, где значительное влияние на динамику оказывает трение о берег и о дно, неоднородность ветрового воздействия, волновые процессы. Важное влияние на генерацию вихрей оказывает взаимодействие течений с береговой линией. Из-за высоких орбитальных скоростей и завихренности субмезомасштабные вихри способны значительно влиять на перенос взвешенного вещества в прибрежной зоне. Их можно наблюдать в поле трассеров, например, в поле взвеси по спутниковым оптическим измерениям [1, 2]. Субмезомасштабные процессы могут оказывать значимое влияние на вентиляцию шельфовой зоны, процессы выноса загрязнений, биогенных элементов в центральную часть моря, абразию и аккумуляцию берегов в наиболее важной для хозяйственных целей прибрежной зоне океана. Связь вихревой динамики с топографией может приводить к особенностям формирования береговой линии.

В настоящей работе на основе массива оптических данных высокого разрешения спутников Landsat-8 и Sentinel-2 проводится анализ основных особенностей субмезомасштабной вихревой динамики у берегов Крымского полуострова. Сложная орография Крымского побережья и различные динамические процессы значительно влияют на генерацию разнородных субмезомасштабных процессов. Несмотря на многообразие рассмотренных процессов можно выделить несколько основных механизмов их образования.

Наиболее часто субмезомасштабные вихри возникают на периферии мезомасштабных антициклонических вихрей. Данные вихри характеризуются высокими значениями завихренности, вследствие чего на границе антициклона возникает горизонтальный сдвиг скорости, что приводит к образованию более мелких, субмезомасштабных циклонических вихрей на их периферии. У берега трение и сдвиг возрастает, что усиливает этот эффект. Особенно интенсивное образование субмезомасштабных циклонов происходит при взаимодействии антициклонов с выступами берега (мысами). В этом случае топографический эффект - обтекание мыса и динамический эффект (сдвиговая неустойчивость) усиливает друг друга. Чаще всего такие процессы наблюдались у берегов Каламитского залива при образовании в данном районе крупного Севастопольского антициклона и реже у юго-восточного побережья Крыма.

Второй часто встречающийся механизм - обтекание мыса водными потоками. Область пониженного давления за мысом приводит к завихренности потока и образованию субмезомасштабных вихрей. Следует отметить, что при обтекании мыса течениями, направленными влево и вправо относительно берега, динамическая картина очень отличается. Если течение относительно берега движется вправо (в циклоническом направлении), то за

мысом образуется крупный антициклонический вихрь. Наглядным примером такого эффекта, является генерация антициклона за м. Меганом, которая часто наблюдается при действии сильных северо-восточных ветров. В тоже время, если поток движется влево относительно берега (в антициклоническом направлении), то за мысом часто можно наблюдать образование не одного вихря, а ряда субмезомасштабных циклонов. Количество субмезомасштабных циклонов за мысом в этом случае может доходить до десяти. Эти циклоны могут образовывать более сложные динамические структуры, например вихревые дорожки, или закручиваться в циклонический вихрь. Такой процесс наблюдается наиболее часто за узким, продолговатым м. Киик-Атлама и реже за м. Меганом, при ветрах юго-западных направлений, а также за м. Херсонес при северо-западных ветрах.

Третий механизм генерации субмезомасштабных вихрей связан с образованием грибовидных структур. Отмечено, что они возникают при торможении вдольбереговых или кросс-шельфовых потоков из-за взаимодействия с водами, имеющие другие динамические свойства. Например, они могут образовываться при действии сильных ветров, направленных от берега. В этом случае ветровые течения сталкиваются с находящими в покое водами открытого моря, что приводит к образованию грибовидной структуры [3]. Другой случай, вдольбереговое течение отрывается от берега у выступа и сталкивается с водами мористой части шельфа.

Крупные грибовидные структуры (более 10 км) чаще встречаются у западного берега Крыма, и небольшие (около 5 км) на юго-западном побережье. Вихри в них имеют размер от 1 км до 5км, при этом циклонические вихри больше, чем антициклонические.

При апвеллингах, которые встречаются у южного берега Крыма и у м. Тарханкут, часто можно наблюдать генерацию субмезомасштабных циклонов. Причина их возникновения заключается в том, что при натекании тяжелых холодными вод апвеллинга на более легкие воды в мористой части градиенты давления приводят к образованию области циклонической завихренности.

Исследование субмезомасштабных процессов выполнено при поддержке грантов РФФИ 19-05-00479 А и РФФИ 17-05-41102 РГО_а.

Список литературы

1) Костяной А. Г., Гинзбург А. И., Шеремет Н. А., Лаврова, О. Ю., Митягина М. И. Мелкомасштабные вихри Черного моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. №. 1. С. 248-259.

2) Lavrova, O., Serebryany, A., Bocharova, T., & Mityagina, M. Investigation of fine spatial structure of currents and submesoscale eddies based on satellite radar data and concurrent acoustic measurements //Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2012. – International Society for Optics and Photonics, 2012. – Т. 8532. – С. 85320L.

3) Zatsepin, A., Kubryakov, A., Aleskerova, A., Elkin, D., Kukleva, O. Physical mechanisms of submesoscale eddies generation: evidences from laboratory modeling and satellite data in the Black Sea // Ocean Dynamics. – 2019. – С. 1-14.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕЙ В КРУГОВОРОТЕ БОФОРТА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Артамонова А.В.[1], **Козлов И.Е.**[1,2]

[1]*Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

[2]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, Россия*

artamonowa.anastasya2011@yandex.ru

Ключевые слова: Океанские вихри, спутниковые радиолокационные изображения, спутниковая альтиметрия, море Бофорта, Чукотское море.

Амеразийский сектор Северного Ледовитого океана (СЛО) включает в себя одну из наиболее крупных систем океанической циркуляции в Арктике - антициклонический круговорот Бофорта (англ. Beaufort Gyre), в котором происходит генерация вихрей. Они способны переносить водные массы и различные трассеры на большие расстояния [1] и влияют на биогеохимические циклы, включая цветение фитопланктона. Исследование вихревой активности в данном районе до настоящего времени ограничивалось немногочисленными контактными измерениями [2-4] и модельными расчетами [1].

Целью данной работы является восполнение пробела в исследовании вихревой динамики в амеразийском секторе СЛО и получение более полной информации о мезо- и субмезомасштабных динамических процессах в этом районе.

В качестве основы для анализа использованы данные спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) Envisat ASAR с июня по октябрь 2007 и 2011 года [5-6], Sentinel 1A, 1B с июня по октябрь 2016 года и ALOS-2 PALSAR-2 с августа по октябрь 2016 года. Всего проанализировано 592 радиолокационных изображения (РЛИ), среди которых 372 РЛИ Envisat ASAR (147 РЛИ за 2007 г и 225 РЛИ за 2011 г.), 184 РЛИ Sentinel 1A/1B и 36 РЛИ ALOS-2 PALSAR-2.

В результате работы идентифицировано более 3500 вихрей в открытой воде (проявляющихся за счет пленок на поверхности, взаимодействия волн и течений) и более 5000 вихрей в прикромочной зоне льда (проявляющихся за счет ледовых трассеров) за 2007, 2011 и 2016 гг, определены ключевые районы их генерации, диаметры, знак вращения, тип проявления и глубина места, соответствующая центру вихря. Размеры наблюдаемых вихрей варьируются от 1 до 80 км для вихрей открытой воды и от 1 до 100 км для вихрей прикромочной зоны. Однако около 90% вихрей открытой воды имеют диаметры менее 10 км (среднее значение около 5 км), а средний диаметр вихрей прикромочной зоны - около 9 км.

Как в случае наблюдения вихрей открытой воды, так и при наблюдении вихрей прикромочной зоны наиболее часто встречаются вихри циклонического типа вращения (около 64% в целом). И те, и другие имеют два пика распределения над глубинами: в диапазоне 20-100 м и 1500-4000 м. Стоит отметить, что количество вихрей открытой воды, обнаруженных над мелководным шельфом с глубинами менее 200 м и глубоководьем (200 - 4000 м), в целом, было равно, а вихри в прикромочной зоне льда в 80% случаев были обнаружены над глубинами, превышающими 1000 м.

Из-за более продолжительного ледового сезона в северной части исследуемого района, вихри открытой воды встречаются преимущественно в его южной части на шельфе и над континентальным склоном, однако существенная их часть также наблюдается в районе круговорота Бофорта и над Чукотским плато. Из-за сезонного смещения прикромочной зоны льда вихри этой зоны имеют более-менее однородное пространственное распределение, но более часто они встречались над континентальным склоном на границе Чукотского

моря и моря Бофорта, в восточной части моря Бофорта, а также на отдельных участках Чукотского плато.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-35-20078 мол_а_вед и гранта РНФ №18-77-00082.

Список литературы

1) Manucharyan, G.E. Wind-driven freshwater buildup and release in the Beaufort Gyre constrained by mesoscale eddies / G.E. Manucharyan, M.A. Spall // Geophysical Research Letters. – 2016. – Vol. 43. – P. 273–282.

2) D'Asaro, E. Observations of small eddies in the Beaufort Sea // Journal of Geophysical Research. – 1988. – Vol. 93. – C6. – P. 6669–6684.

3) Zhao, M. Characterizing the eddy field in the Arctic Ocean halocline / M. Zhao, M.-L. Timmermans, S. Cole, R. Krisfield, A. Proshutinsky, J. Toole // Journal of Geophysical Research Oceans. – 2014. – Vol. 119. – 12. – P. 8800–8817.

4) Timmermans, M.-L. Eddies in the Canada basin observed from ice-tethered prfilers / M.-L. Timmermans, J. Toole, A. Proshutinsky, R. Krishfield, A. Plueddemann // Journal of Physical Oceanography. – 2008. – Vol. 38. – 1. – P. 133–145.

5) Зимин, А.В. Субмезомасштабные вихри в Белом море по данным спутниковых радиолокационных измерений / А.В. Зимин, О.А. Атаджанова, Д.А. Романенков, И.Е. Козлов, Б. Шапрон // Исследование Земли из космоса. – 2016. – №1–2. – С. 129–135.

6) Атаджанова, О.А. Наблюдение малых вихрей в Белом, Баренцевом и Карском морях по данным спутниковых радиолокационных измерений / О.А. Атаджанова, А.В. Зимин, Д.А. Романенков, И.Е. Козлов // Морской гидрофизический журнал. – 2017. – Т. 11. – № 2. – С. 338-345.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ОКТЯБРЕ-НОЯБРЕ 2018 ГОДА (ПО МАТЕРИАЛАМ 74-ГО РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»)

Атаджанова О.А.[1], **Зимин А.В.**[1,2,3]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,*

[2]*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,*

[3]*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск*

Oksanam07@list.ru

Ключевые слова: Баренцево море, температура, соленость, НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Океанографические условия Баренцева моря определяются соседством его с теплым Норвежским морем и холодными районами Арктического бассейна [1,2]. Важнейшей составляющей теплового баланса Баренцева моря является адвекция тепла течениями. Основной приток тепла в море осуществляется в его южных районах. Считается, что 60-65% тепла, вносимого в Баренцево море между мысом Нордкап и архипелагом Шпицберген, отдается в атмосферу и в окружающие Нордкапское течение воды в пределах южной части моря. В результате чего формируется значительная пространственная и временная изменчивость течений, температуры и солености.

Целью экспедиции в юго-западную часть Баренцева моря в октябре-ноябре 2018 года являлось получение данных о гидрологических условиях для изучения характеристик трансформированной атлантической водной массы в осенний период.

Экспедиционные работы выполнялись в районе моря, который находится под сильным воздействием циклонической циркуляции и теплого Нордкапского течения. В период с 29.10.2018 по 2.11.2018 была произведена полигонная съемка, включающая в себя 58 станций. Исследование гидрофизических характеристик вод проводилось с борта судна с помощью гидрологического зонда SBE-25 (США), который был оснащен измерительными каналами давления, температуры и электропроводности. Гидрологические работы выполнялись от поверхности до максимально возможного горизонта или дна. Данные зондирования на каждой станции осреднялись с шагом по глубине 1 м. Полученные данные использованы для построения общего полигона изменчивости гидрофизических характеристик, а также разрезов и графиков отдельных гидрологических станций.

Результаты данных экспедиционных наблюдений сопоставлялись с климатическими данными из базы WOA09 [3], системы ЕСИМО [4], по разрезу «Кольский меридиан» [5] и спутниковыми данными.

Предварительный анализ пространственной изменчивости гидрофизических полей по данным полигонной съемки и результаты сопоставления в целом показали следующее:

- распределение температуры и солености в районе имеет слабовыраженную двухслойную структуру, слой скачка расположен на глубинах 70-120 м;
- область полигона характеризовалась повышенными по сравнению с климатическими значениями температуры на 0.5-1 °C;
- в центральной части полигона наблюдается фронтальная зона, связанная с взаимодействием атлантической и прибрежной мурманской водных масс, которая хорошо прослеживается в поле солености.

Подробные результаты сопоставления разнородных данных будут представлены в докладе.

Авторы благодарят Коника А.А., Жегулина Г.В., Репину И.А. и Дебольского А.В. за участие в получении натурных наблюдений.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме №0149-2019-0015 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натурных экспериментальных работ».

Список литературы

1) Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Под ред. Ф.С. Терзиев. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 280 с.

2) Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В.К. Ожигин, В.А. Ившин, А.Г. Трофимов, А.Л. Карсаков, М.Ю. Анциферов; ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2016. – 260 с.

3) NOAA NODC WOA09: World Ocean Atlas 2009. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NODC/.WOA09/ (Дата обращения: 10.12.2018).

4) ЕСИМО. Атлас "Климат морей России и ключевых районов Мирового океана". Баренцево море. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.esimo.ru/atlas/Bar/index.html (Дата обращения: 15.12.2018).

5) ПИНРО. Кольский меридиан. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.pinro.ru/labs/hid/kolsec22.php (Дата обращения: 15.12.2018).

ОЦЕНКИ АМПЛИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛН ТИПА ЦУНАМИ НА КРЫМСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Базыкина А.Ю., Фомин В.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

aleksa.44.33@gmail.com

Ключевые слова: цунами в Черном море, накат волн на берег, амплитудные характеристики волн цунами, численное моделирование.

Черноморский бассейн относится к сейсмически активной зоне [1], где время от времени могут возникать землетрясения, порождающие цунами различной интенсивности. Зачастую волны цунами в этом районе имеют меньшую высоту, чем штормовые волны, однако они обладают не менее разрушительной энергией. Поэтому своевременное предупреждение этого опасного явления и установление наиболее подверженных воздействию волн цунами зон является одной из наиболее актуальных задач по исследованию данного региона. Однако вследствие редкой повторяемости здесь цунами и малого объема информации цунамиопасность Черноморского региона исследована недостаточно. Проведение численного моделирования для определения возможных высот волн при распространении волн цунами в прибрежной зоне Черного моря необходимо для решения ряда задач в рамках данного вопроса.

В настоящей работе выполнены численные эксперименты по моделированию распространения волн цунами на шельфе у Крымского побережья Черного моря с последующим накатом волн на берег. Для описания процесса распространения волн цунами использовалась нелинейная двумерная модель поверхностных длинных волн с учетом квадратичного по скорости донного трения. Начальные условия для расчетной области определялись на основе решения серии задач для полной акватории морей при разных положениях и интенсивности очагов возбуждения цунами. Параметры зоны генерации находились в зависимости от магнитуды землетрясения по эмпирическим формулам [2]. Для моделирования наката волны на сухой берег применен описанный в работе [3] алгоритм. Построены карты вертикального и горизонтального заплесков, а также глубин затопления прибрежной местности при разных типах начального возмущения. По мареограммам, рассчитанным для некоторых пунктов побережья Черного моря, найдены экстремальные характеристики смещений уровня моря и периодов волн цунами. Максимальные повышения уровня при накате волн на берег составляют порядка 2 - 3 м, а понижения уровня моря могут достигать свыше 3 м.

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»).

Список литературы

1) Moldovan I.A., Diaconescu M., Partheniu R. Constantin A.P., Popescu E., Toma-Danila D. Probabilistic seismic hazard assessment in the Black sea area // Romanian Journal of Physics. 2017. V. 62. N 809. 14 p.

2) Уломов В.И., Полякова Т.П., Шумилина Л.С. и др. Опыт картирования очагов землетрясений // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М.: ИФЗ РАН. Вып. 1. 1993. С. 99 – 108.

3) Kowalik Z., Murty T.S. Numerical simulation of two-dimensional tsunami runup // Marine Geodesy. 16. 1993. P. 87 – 100.

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРСКОЙ ПЕНЫ ВОДЫ НА РАССЕЯНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА

Байдаков Г.А., Ермакова О.С., Кандауров А.А., Вдовин М.И., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород,

baydakov@ipfran.ru

Ключевые слова: лабораторное моделирование, пена, радиолокация, спектр поверхностных волн.

Доклад посвящен серии лабораторных экспериментов по исследованию переноса импульса в пограничном воздушном слое в присутствии пены на поверхности воды, а также ее влияния на обратное рассеяние радиолокационного сигнала.

Эксперименты проводились на Высокоскоростном ветро-волновом канале Большого термостратифицированного бассейна ИПФ РАН. Канал имеет поперечное сечение 0,4х0,4 м над поверхностью воды и длину 10 м, диапазон скоростей воздушного потока на оси канала составляет 3-25 м/с. Измеренное значение коэффициента поверхностного натяжения составляет 0,07 Н/м. Для создания устойчивой пены с фиксированной плотностью на поверхности воды использовалось специально разработанное устройство (пеногенератор). Устройство состоит из двух диффузоров (трубок длиной 35 см диаметра 1 см с боковыми отверстиями диаметром 2 мм с шагом 7 мм), соединенных боковыми поверхностями друг с другом, обернутых в поролон. Устройство располагалось горизонтально, перпендикулярно каналу, с заглублением верхней части на 2.5 см. Расстояние от начала канала (входа воздушного потока) - 1.2 м. Через один из диффузоров под давлением высоты уровня 1.5 м поступает раствор пенообразующего вещества (основной компонент лаурилсульфат натрия), через второй диффузор подается сжатый воздух (1.5 атм) для продавливания раствора пенообразующего вещества через слой поролона. В результате на поверхности воды образуется мелкодисперсная пена. В ходе экспериментов уровень раствора вещества и давления сжатого воздуха поддерживались постоянными, что обеспечивало постоянный расход пены. Специальная серия измерений, направленных на оценку влияния пеногенератора на поверхностное волнение в случае, когда в систему подается только сжатый воздух, показала, что изменения параметров поверхностного волнения по сравнению с полностью отключенной системой пеногенерации незначительны.

Характеристики волнения в канале измерялись антенной их трех волнографов резистивного типа, расположенными в углах треугольника равной стороны со стороной 2,5 см, частота дискретизации данных составляла 100 Гц. Такая система позволяет восстанавливать пространственно-временные спектры поверхностных волн: от частоты волны, волнового числа и угла относительно направления ветра. Верхний предел спектра волновых чисел задается расстоянием между волнографами в антенне и равен 1,25 рад/см.

Анализ результатов показал, что наличие пены изменяет спектры поверхностных волн. Самым ярким эффектом является подавление эффекта снижения пиковых частоты и волнового числа с увеличением скорости ветра. Было показано, что присутствие пены вызывает заметное уменьшение энергии поверхностных волн. Этот эффект увеличения диссипации поверхностных волн в присутствии пены подтверждается зависимостями значимой высоты волны от скорости трения ветра. В сочетании со снижением пикового волнового числа это приводит к сильному уменьшению среднеквадратичного уклона. Следовательно, наличие пены на поверхности воды должно приводить к уменьшению нелинейности поля поверхностных волн и уменьшению сопротивления формы. Однако, несмотря на уменьшение сопротивления формы волны, коэффициент сопротивления поверхности увеличи-

вается, когда пена присутствует на поверхности воды, так как присутствие пены вызывает дополнительную шероховатость, не связанную с волнами.

Микроволновые измерения проводились с помощью когерентного доплеровского скаттерометра X-диапазона с длиной волны 3,2 см с последовательным приемом линейных поляризаций. Антенна скаттерометра представляла собой пирамидальный рупор с квадратным сечением 224×224 мм^2 и длиной 680 мм, который был оснащен разделителем ортогональных поляризаций (ОМТ) с разделением поляризаций более чем 40 дБ; ширина диаграммы направленности составляла 9°. Абсолютное значение эффективной площади рассеяния (ЭПР) взволнованной поверхности воды определялось путем сравнения рассеянного сигнала с сигналом, отраженным от калибратора с известным значением ЭПР – металлического шарика диаметром 6 см. Окно наблюдения имело размеры 40×40 см^2, угол падения составлял 30, 40 и 50 градусов в направлении навстречу ветру, расстояние до цели выбиралось равным 3,16 м, крышка рабочей части была изготовлена из радиопрозрачного материала (тефлона) толщиной 8 мм.

По результатам радиолокационных измерений был сделан вывод, что наличие пены снижает удельную ЭПР взволнованной водной поверхности. Пенные образования концентрируются в основном на гребнях и передних склонах ветровых волн, которые вносят основной вклад в рассеяния радиоволн. Это может объяснить эффект уменьшения суммарной удельной ЭПР: пена, обладающая меньшими отражающими свойствами, маскирует основные рассеиватели на взволнованной водной поверхности. Второй механизм, связан с влиянием пены на короткие волны, по аналогии с пленками ПАВ.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 18-05-60299, 18-35-20068, 19-05-00366.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАРБОТАЖА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ В МЕЛКОВОДНОМ ВОДОЕМЕ

Березина А.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

fisa4247@gmail.com

Ключевые слова: барботаж, вертикальная циркуляция, разрушение льда.

Одним из способов предотвращения нарастания льда на портовой акватории, особенно вблизи причалов, является установка барботажной системы. Система состоит из труб с отверстиями, проложенных по морскому дну и присоединенных к воздушному компрессору. С помощью компрессора воздух продавливается по трубам и выходит через отверстия в виде пузырьков. Этот процесс называют барботажем. Вместе с потоком пузырей в зимнее время более теплые воды нижнего слоя поднимаются к поверхности. Турбулентность в воде и поступление тепловой энергии подавляют формирование ледяного покрова [1, 2]. Имеется опыт успешного применения барботажных установок в портах Канады [3].

Для оценки эффективности применения барботирования в заданных условиях и количественных расчетов дополнительного притока тепла к поверхностным водам требуется знать параметры вертикальной циркуляции, определяющей теплообмен между верхним и нижним слоями водоема [4]. В данной работе исследуются особенности затягивания нижележащего слоя жидкости в пузырьковый поток и процесс всплытия конечного объема к поверхности. Изучается общая циркуляция, устанавливающаяся в мелководном водоеме.

В рамках работы для проведения серии экспериментов была собрана лабораторная установка. В бассейн объемом 800 литров, заполненный пресной водой до высоты 70 см, вдоль вертикальной штанги размещается трубка с соплом, направленным к верху. Через шланг с помощью компрессора подается воздух, который выходит в воду в виде пузырьков. По отдельной трубке с иглой на конце, подведенной чуть выше отверстия сопла, подавалась красящая жидкость с нейтральной плотностью. Во время экспериментов проводились измерения разности температур в верхнем и нижнем слоях водной толщи для отслеживания формирования стратификации и ее устранения. Также перед началом экспериментов производился контроль отсутствия вертикальных движений в воде.

Всплытие пузырей и распространение подкрашенной жидкости регистрировалось на видеокамеру с частотой съемки 240 кадров в секунду. Дополнительно производилась съемка области захвата потоков краски отдельным пузырем вблизи сопла. Кроме того, были проведены съемки водной поверхности бассейна с целью исследования поверхностной циркуляции посредством определения координат трассеров в различные моменты времени. При первичной обработке видеоданных отслеживалась траектория пузырей, определялась скорость пузырькового потока и увлекаемой им подкрашенной жидкости. Измерялось расстояние от вертикальной оси газожидкостного потока до подкрашенных объемов жидкости, при которых происходило их вовлечение в струю и дальнейшее всплытие.

В результате работы получены данные по вертикальной скорости пузырьков и подкрашенных объемов жидкости, увлекаемых к поверхности плавучим потоком. Скорость пузырьков варьировала от 21 до 28,6 см/с. В зависимости от скорости потока коэффициент увлечения изменяется в пределах от 0.29 до 0.37. В процессе экспериментов наблюдалось затягивание водных масс в вертикальную струю на некотором расстоянии от оси потока. Пузыри воздуха, всплывая, вызывают вертикальное поднятие вод в области струи, место которых занимают смежные объемы жидкости. Радиус затягивания зависит от скорости пузырькового потока и, соответственно, расхода воздуха при условии отсутствия стратификации.

На поверхности вследствие образования перекоса уровня над газожидкостным потоком формируется горизонтальная циркуляция, а на определенном расстоянии, так же зависящем от скорости потока, наблюдается формирование обратных вертикальных течений, несущих жидкость от поверхности в нижний слой.

На основании полученных данных по скорости пузырьков и вовлекаемой в поток воды, а также детального изучения механизма захвата жидкости отдельным всплывающим пузырьком, получено выражение для определения коэффициента увлечения в зависимости от параметров потока. Результаты могут быть использованы при проектировании и оценке эффективности барботажной системы.

Список литературы

1) Богородский В.В. Разрушение льда. Методы, технические средства. [Текст] / В.В. Богородский, В.П. Гаврило, О.А. Недошивин. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1983. – 232 с.
2) Huachen P., Eranti E. Applicability of Air Bubbler Lines for Ice Control in Harbours // China Oc. Eng. 2009. V. 21(2). pp. 215-224.
3) Abdelnour R., Howard D., Perchanok M. Ice managment in Thunder Bay Harbour, winter 1984: Summary report. // Report No. TP 5833E, Transport Canada. 1985.
4) Huachen P., Eranti E. Flow and heat transfer simulations for the design of the Helsinki Vuosaari harbour icecontrol system // Cold Regions Science and Technology. 2009. V. 55. pp. 304–310.

РАЗРАБОТКА ВЕБ-АТЛАСА ПРОЯВЛЕНИЙ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ШЕЛЬФЕ КРЫМА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Вержевская Л.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

liudmyla.ver@yandex.ru

Ключевые слова: база данных, Черное море, внутренние волны, веб-атлас.

Шельфовая зона Крыма представляет интерес для хозяйственной, в том числе рекреационной деятельности. В связи с этим прогноз процессов и явлений, происходящих в данной области является необходимым условием для устойчивого развития региона. Поскольку особенности Крымского шельфа создают предпосылки для генерации внутренних волн, изучение этих процессов представляется актуальной задачей.

В данной работе используются результаты наблюдений проявлений внутренних волн на спутниковых снимках и результаты математического моделирования, полученные сотрудниками ФГБУН МГИ. Данные о проявлениях внутренних волн со спутников Landsat-8 и Sentinel-2 за период с мая по август 2017 г. получены А.В. Медведевой. Координаты границ волновых пакетов и длины волн в пакете определены И.А. Свищевой. Теоретические оценки параметров внутренних волн получены Т.В. Шульгой и И.А. Свищевой на основании разработки и реализации алгоритма решения полной краевой задачи на основе данных контактных измерений температуры и солености из Банка океанографических данных МГИ за 1951-2007 гг (отбор произведен Т.В. Пластун) [1]. Средние значения глубины залегания пикноклина на выбранных разрезах определены Д.М. Шукало и Т.Я. Шульгой.

Спроектирована и построена база данных характеристик проявлений внутренних волн и результатов математического моделирования (совместно с А.В. Багаевым). Полученные результаты представлены в виде связанных таблиц (DBF) и векторных слоев (ESRI Shape-files) и загружены в облачное хранилище (Yandex Disk). Визуализация данных с геопривязкой проводилась с помощью ГИС QGIS 2.18. Совместно с А.В. Багаевым проведен статистический анализ данных с использованием языка программирования Python. С помощью сервиса QGIS Cloud был создан веб-атлас параметров внутренних волн вблизи Гераклейского п-ова https://qgiscloud.com/April/WebAtlasWaves2.

Данные, полученные с ИСЗ, представлены виде четырех слоев. Слой «Polygons» содержит полигоны в виде шестигранников, описывающих форму волновых пакетов. Каждый гексагон определяют 6 точек, по три для первой и последней волн в пакете. Для каждого полигона отображается информация о его пространственных характеристиках: длине и ширине волнового пакета, ширине фронта и длине волны, а также дата наблюдения и тип спутника.

Слой «Wave direction» представляет собой стрелки, указывающие направление распространения волнового пакета, построенные через точки, соответствующие середине первой и последней волны в пакете. Для каждой точки указаны данные о длине волны и длине волнового пакета, а также дате наблюдения и типе спутника.

Слои «Centres of the first wave in train» и «Centres of the last wave in train» состоят из точек, находящихся посередине первой и последней волны в пакете соответственно. Содержат данные о длине волны, глубине места по данным GEBCO, дате наблюдения и типе спутника.

Слой «Areas» содержит полигоны, ограничивающие три выделенных области поверхностного проявления внутренних волн. Содержит данные о количестве наблюденных про-

явлений внутренних волн в этой области, а также минимальное, максимальное, среднее и медианное значение длины волны.

Результаты моделирования содержатся в слое «Sections» и четырех слоях, соответствующих месяцам. Слой «Sections» представляет собой 18 разрезов в виде прямых линий, проведенных по нормали к берегу. Для каждого разреза можно отобразить полученные значения средней глубины залегания пикноклина и с.к.о. в разные месяцы.

Слои «May», «June», «July», «August» содержат информацию о глубине места, фазовой скорости, глубине и периоде внутренних волн первых трех мод по данным математического моделирования.

В дальнейшем планируется расширять функционал веб-атласа, чтобы обеспечить возможности поиска, фильтрации, выборки, и пополнять его аналитическими материалами.

Работа выполнена в рамках научного проекта РФФИ №18-45-920036 и частично в рамках государственного задания по теме 0827-2018-0004.

Список литературы

1) Ivanov V. et al. (2019) Internal Waves over the Continental Shelf of the Heracles Peninsula: Modeling and Observation. In: Karev V., Klimov D., Pokazeev K. (eds) Physical and Mathematical Modeling of Earth and Environment Processes (2018). Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА И ИХ СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Вязигина Н.А., Тимохов Л.А.

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санк-Петербург

naty_vyazik@mail.ru

Ключевые слова: Северо-Европейский бассейн, морской лёд, температура поверхности воды, долгопериодные изменения, статистические модели.

Выполнен анализ взаимодействия Северо-Европейского бассейнов с Северной Атлантикой по данным многолетних океанографических наблюдений и других гидрометеорологических характеристик [1]. Основой для расчетов стала база данных измерений термохалинных характеристик СЛО с 1948 по 2015 гг. База данных термохалинных характеристик размещена на сервере отдела океанологии ФГБУ «ААНИИ». Используя рабочую базу данных были рассчитаны поля средних значений поверхностной температуры в период с 1950 по 2015 гг.

В качестве показателя крупномасштабной атмосферной циркуляции использовались известные индексы AO (Arctic Oscilation), PNA (Pacific North America), AD (Arctic Dipole), http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/. Месячные значения температуры воздуха Ta и теплового баланса B для акватории арктических моря были рассчитаны по данным, приведенным на сайте / http://iridl.ldeo.columbia.edu/.

Выполнено исследование многомерной статистической связи температуры поверхности Норвежского (T_Ny) и Баренцева (T_By) морей, площади льдов в августе Баренцева (IceB(VIII)) и Гренландского (IceGr(VIII)) морей с различными гидрометеорологическими индексами. Путем выбора наиболее значимых индексов (предикторов) были получены уравнения.

В разработанных уравнениях межгодовые изменения среднегодовой температуры поверхности Норвежского моря зависят не только от поступления через 1 год теплых вод из Северной Атлантики (в уравнение входит индекс AMO), а также зависят от колебаний температуры воздуха и интенсивности атмосферной циркуляции в летний период (индексы AD, AO, NAO). Именно многофакторность формирования межгодовых изменений температуры воды и является одной из причин размытости пиков на диаграммах кросскорреляционного анализа [2-4]. В уравнениях, описывающих межгодовые изменения температуры моря и ледовитости, присутствует влияние Северной Атлантики (индекс AMO), проявляющееся через 4 года после возникновения аномалии температуры в Северной Атлантики [5-7]. Однако, в уравнении входит также термическое и динамическое (индексы AO, AD, NAO) воздействие атмосферных процессов, которые усложняют картину кросскорреляционного анализа.

Для решения проблемы эмпирического описания долгопериодных и климатических процессов в Северного Ледовитого океана нами выдвинута концепция, заключающаяся в объединении эмпирических исследований долгопериодных гидрометеорологических процессов с включением геофизических и астрономических воздействий на атмосферные и океанические процессы. Исследована продуктивность этого подхода, путем разработки замкнутой относительно гидрометеорологических характеристик системы уравнений, которая описывает долгопериодные изменения Северо-Европейского бассейна с учетом геофизических и астрономических влияний на исследуемую область. Изменчивость ледяного покрова Баренцева и Гренландского морей и температуры поверхности Северо-Европей-

ского бассейна является хорошим индикатором в многолетних изменениях системы атмосфера-лед-океан, а установленные эмпирические закономерности имеют важное значение для понимания процесса формирования ледового и температурного режима и могут быть использованы при построении статистических моделей диагноза и прогноза ледовитости и температуры поверхности морей.

Список литературы

1) Тимохов, Л.А. Особенности сезонной и межгодовой изменчивости ледяного покрова Гренландского моря [Текст] / Л.А. Тимохов [и др.] // Лёд и Снег. – 2018. – Т. 58. – №1. – С. 127-134.
2) Захаров В.Ф. Льды Арктики и современные природные процессы [Текст] / Л.: Гидрометеоиздат, 1976. [U+2012] 96с.
3) Зубакин Г.К. Крупномасштабная изменчивость состояния ледяного покрова морей Северо[U+2012] Европейского бассейна [Текст] / Л.: Гидрометеоиздат, 1987. [U+2012] 160 с.
4) Миронов Е.У. Ледовые условия в Гренландском и Баренцевом морях и их долгосрочный прогноз [Текст] / СПб.: изд. ААНИИ, 2004. [U+2012] 319 с.
5) Никифоров Е.Г., Шпайхер А.О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана [Текст] / Л.: Гидрометеоиздат, 1980. [U+2012] 269 с.
6) Шулейкин В.В. Физика моря [Текст] / М., Изд. АН СССР, 1969. – 1083 с.

ШТОРМОВОЕ ВОЛНЕНИЕ В КАРКИНИТСКОМ ЗАЛИВЕ В 1995-2011 ГГ.

Гармашов А.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

ant.gar@mail.ru

Ключевые слова: ветровое волнение, высота волн, Черное море, измерение, ветер, мониторинг.

С декабря 1995 г. на морской стационарной газодобывающей платформе (МСП) «Голицыно-4», расположенной на северо-западном шельфе Черного моря в точке с координатами 45°42,5' с.ш., 31°52,5' в.д. (расстояние от берега примерно 50 км), было установлено оборудование для гидрометеорологического мониторинга [1]. Для измерения высот волн использовался витой резистивный волнограф с дискретностью опроса 4 Гц и возможностью регистрации высот волн до 10 м. Датчик для измерения скорости и направления ветра (М63) располагался на высоте 37 метров над уровнем моря. В данной работе скорость ветра приводилась к стандартной высоте 10 м по формуле, предполагающей наличие логарифмического подслоя и нейтральной стратификации. Регистрация ветро-волновых характеристик проводилась в течении периода 1995-2002 гг. и 2008-2011 гг., который с перерывами охватывает 12 лет. За весь период наблюдений было накоплено более 31 000 волнограмм с продолжительностью от 20 мин. до 60 мин. и более 25 000 записей характеристик ветра.

Цель настоящей работы состояла в анализе измеренного штормового волнения на МСП с привлечением ветровых измерений и данных реанализа MERRA.

Всемирная метеорологическая организация (ВМО) не дает четкого разделения штормов по высотам волн, поэтому в данной работе используется критерий, приведенный в [2], причем в данной работе применяется более жесткое условие: высоты волн соответствуют штормовым при волнении моря более 5 баллов. Из всех случаев ветрового волнения было выделено 226 ситуаций с высотой значительных волн более 2,5 м, которые относятся к 36 штормам. Шторма разделись между собой исходя из динамики высот волн, скорости и направления ветра. Каждый шторм характеризовался максимальной высотой значительных волн, максимальной высотой волны, скоростью и направлением ветра. Для 5 штормов по причине отсутствия ветровых измерений были привлечены данные реанализа MERRA [3]. Коэффициент корреляции между измерениями модуля скорости ветра на МСП и данными реанализа, интерполированными в точку расположения МСП, составляет 0,79, а смещение равняется 0,09 м/с.

Получено, что наибольшее количество штормов (23) было вызвано ветрами южных румбов (Ю - 10, ЮЗ - 12, ЮВ - 1), на ветра северных румбов приходилось 10 штормов (С - 4, СЗ - 3, СВ - 3), З и В ветра вызвали соответственно 1 и 2 шторма. Только в 9 из 36 штормов высота значительных волн превышала 3 м. Скорость ветра практически для всех случаев с Hs>2,5 м находилась в пределах 11-18 м/с. Наибольшая скорость ветра, зарегистрированная во время шторма, составляла 21,5 м/с.

Анализ изменения индекса аномальности (Hmax/Hs) в рассматриваемых штормовых случаях показал, что индекс аномальности находился в пределах 1,5-2,3 и в среднем составляет 1,85. Данная величина также характерна и для ситуаций с волнением моря 1-5 баллов в северо-западной части Черного моря [4].

Исследование выполнено при финансовой поддержке темы Государственного Задания № 0827-2018-0001.

Список литературы

1) Толокнов Ю.Н., Коровушкин А.И., Козлов К.Г. Автоматизированный гидрометеорологический комплекс. // Сб. Системы контроля окружающей среды, 1998. – С. 12 – 17.

2) Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море. // МЧС и НАН Украины, Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. – Севастополь. 2012. – 421 с

3) Rienecker, M.M., M.J. Suarez, R. Gelaro, R. Todling, J. Bacmeister, E. Liu, M.G. Bosilovich, S.D. Schubert, L. Takacs, G.-K. Kim, S. Bloom, J. Chen, D. Collins, A. Conaty, A. da Silva, et al. MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. J. Climate, 2011, 24, 3624-3648, doi:10.1175/JCLI-D-11-00015.1.

4) Гармашов А.В., Толокнов Ю.Н., Коровушкин А.И. Ветровое волнение в северо-западной части Черного моря в 1995 - 2002 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря, 2017. – № 2. – С. 4-10.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

Гармашов А.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

ant.gar@mail.ru

Ключевые слова: Севастопольская бухта, температура, соленость, измерения, экспедиция.

Исследование прибрежных акваторий является одним из приоритетных направлений при решении проблем рационального природопользования и остается актуальной задачей на протяжении многих лет. Севастопольская бухта расположена на юго-западной оконечности крымского полуострова и представляет собой полузамкнутую акваторию эстуарного типа с затрудненным водообменном. Длина от входа до вершины бухты составляет ~ 7 км при максимальной ширине ~ 1 км и средней глубине 12 м. Площадь поверхности бухты 7,96 км^2. После постройки в 1977 - 1978 гг. защитного мола ширина входа в бухту сузилась с 940 до 550 м, что повлекло за собой существенное изменение характеристик водообмена.

Начиная с 1998 года МГИ выполняет мониторинг гидролого-гидрохимических характеристик вод Севастопольской бухты. Результаты этой работы представлены в ряде научных публикаций.

Цель данной работы - изучение гидрологических характеристик вод Севастопольской бухты по данным экспедиционных исследований МГИ в 2006 - 2018 гг.

В настоящей работе используются данные 34 съемок, выполненных в 2006-2018 гг. Исследования во время большинства съемок проводились на сетке из 36 станций, причем 3 станции выполнялись непосредственно перед ходом в бухту, остальные - в самой Севастопольской бухте. В зимние месяцы было выполнено 11 экспедиций, весенние - 8, в летние - 2, в осенние - 13.

Измерения проводились с помощью зондирующего СТД-комплекса «ШИК-01» с каналом кислорода и автоматической кассетой батометров, а также автономных комплексов «ГАП-12» и «ГАП-16».

За период наблюдения (с 2006 по 2018 гг.) были отмечены значительные колебания (до 10°С) придонной температуры, связанной с затоком холодных вод. В районе Графской бухты за счет речного стока р. Черной соленость менялась в пределах 14-17,5‰. В целом, в холодные месяцы температура поверхности моря опускалась до 6°С, в летние месяцы прогревалась до 26°С, соленость поверхностных вод составляла 17,5-17,75‰.

Исследование выполнено при финансовой поддержке темы Государственного Задания № 0827-2018-0001 и гранта РФФИ 18-05-8002.

БИООПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОТОЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В МОРЯХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ, БАРЕНЦЕВОМ И БЕЛОМ ЛЕТОМ 2018 Г.

Глуховец Д.И.[1,2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Московский физико-технический институт (ГУ), г. Долгопрудный*

glukhovets@ocean.ru

Ключевые слова: биооптические исследования, флуоресценция морской воды, показатель поглощения, хлорофилл «а», растворенное органическое вещество, поверхностный слой, моря северной Атлантики, Баренцево море.

В 71-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в июне-августе 2018 г. были проведены биооптические исследования морей северной Атлантики, а также Баренцева и Белого морей. Одна из целей исследований - установление связи между оптической структурой вод и обусловливающими ее факторами [1]. В докладе представлены результаты, полученные в поверхностном слое вод как на дрейфовых станциях (131 станция), так и непрерывно на ходу судна (общая протяжённость разрезов - 9956 км). Данные проточного измерительного комплекса [2] позволили получить пространственные распределения пяти параметров: интенсивностей флуоресценции (I_{fl}, R.U.) окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ) и хлорофилла «а» (Хл), показателя ослабления (c, м$^{-1}$), а также температуры (T, °C) и солености (S, епс) морской воды на глубине 1-2 м. Эти измерения проводились практически по всему маршруту экспедиции, незначительные перерывы происходили из-за волнения, превышающего 4 балла. В рейсе была разработана и внедрена методика калибровки измерений интенсивности флуоресценции, выполненных с помощью проточного флуориметра. В результате калибровки значения I_{fl} приводятся к абсолютным (Рамановским) единицам (R.U.). Для этого используется двухканальный лазерный спектрометр, обеспечивающий спектральные измерения проб морской воды, регулярно отбираемых из проточной системы. Спектры флуоресценции и поглощения морской воды, полученные с помощью лазерного, светодиодного [3] спектрометров и интегрирующей сферы ICAM [4] на дрейфовых станциях, использовались для исследования пространственной изменчивости пигментов фитопланктона и ОРОВ. Кроме того, спектральные значения компонент показателя поглощения морской воды оценивались по спектрам яркости выходящего из воды излучения с помощью модели GIOP [5]. Измеренные и восстановленные значения находятся в хорошем качественном соответствии.

В море Лабрадор с помощью проточного измерительного комплекса были зарегистрированы проявления внутренних волн. Их влияние выразилось в виде синхронных колебаний всех пяти измеряемых величин. Период колебаний составлял порядка 10 минут. Наибольшая амплитуда колебаний наблюдалась в канале температуры - изменения превышали 1 °C.

Результаты измерений в Баренцевом море показали, как теплые (T = 8-10 °C) и соленые ($S > 35$ епс) атлантические воды Нордкапского течения смешиваются с холодными ($T < 6$ °C) арктическими водами с пониженной соленостью (S < 34,5 епс), поступающими с севера. Положение Полярного фронта - границы между арктическими и атлантическими водами, определенное по данным термосоленографа, соответствует пространственному распределению интенсивности флуоресценции Хл: арктические воды характеризуются низкими значениями I_{fl} Хл, что согласуется с результатами прямых определений его концентрации и пространственным распределением показателя ослабления.

Исследование кокколитофоридного цветения в Баренцевом море входило в число основных задач экспедиции. К сожалению, погодные условия не позволили выполнить подспутниковые измерения, тем не менее цветение удалось «поймать», в первую очередь благодаря измерениям на ходу судна с помощью проточной системы. Как индикатор использовался показатель ослабления - его значения в области цветения резко возрастали. Как и в 2017 г., область цветения располагалась к югу от Полярного фронта [1]. В других регионах цветение не наблюдалось.

Результаты, полученные в Белом море, продемонстрировали широкий динамический диапазон проточного измерительного комплекса. Разрез соответствовал переходу из соленых баренцевоморских вод ($S \sim 35$ епс) к пресным речным водам Северной Двины ($S = 0$ епс). Распределения S и I_{fl} ОРОВ показали, что воды Баренцева моря распространяются в Белое вдоль Терского берега Горла, а речные воды движутся вдоль Зимнего. На разрезе зарегистрирована серия резких фронтов. При хорошем совпадении положений фронтов S и I_{fl} ОРОВ относительные амплитуды их изменений не совпадают. На границе области лавинной седиментации зафиксировано резкое повышение значений показателя ослабления.

Экспедиционные исследования выполнены в рамках государственного задания по теме № 0149-2018-0002 и гранта РНФ 14-50-00095. Обработка и анализ спектров флуоресценции и поглощения морской воды выполнены в рамках государственного задания по теме 0149-2019-0003 и проекта РФФИ № 18-35-00525. Гранты предоставлены через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Автор выражает благодарность к.т.н. Б.А. Гурееву за помощь в подготовке проточного измерительного комплекса; В.А. Артемьеву, А.Н. Храпко, П.Г. Каралли и В.О. Муравья за помощь при проведении измерений; проф. С.И. Погосяну (биологический факультет МГУ) за предоставленную возможность использования измерителя поглощения ICAM.

Список литературы

1) Копелевич О.В., Артемьев В.А., Глуховец Д.И., Муравья В.О., Салинг И.В., Вазюля С.В., Шеберстов С.В. 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.

2) Гольдин Ю.А., Шатравин А.В., Левченко В.А., Венцкут Ю.И., Гуреев Б.А., Копелевич О.В. Исследования пространственной изменчивости интенсивности флуоресценции морской воды в западной части Черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т.8. № 1. С.17-26.

3) 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». ИО РАН, 2017. С. 42-45.

4) Погосян С.И., Дургарян А.М., Конюхов И.В., Чикунова О.Б., Мерзляк М.Н. Абсорбционная спектроскопия микроводорослей цианобактерий и растворенного органического вещества: измерения во внутренней полости интегрирующей сферы // Океанология. 2009. Т. 49. С. 934–939.

5) Werdell P.J., Franz, B.A., Lefler J.T., Robinson W.D., Boss E. Retrieving marine inherent optical properties from satellites using temperature and salinity-dependent backscattering by seawater // Optics Express. 2013. V. 21. No. 26. P. 32611-32622.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЁРНОГО МОРЯ С ДЕТАЛИЗИРОВАННЫМ ОПИСАНИЕМ ПРИБРЕЖНОЙ ДИНАМИКИ В РАЙОНЕ ГЕЛЕНДЖИКСКОГО ПОЛИГОНА ИО РАН

Гусев А.В.[1,2], **Фомин В.В.**[3], **Залесный В.Б.**[1]

[1] *Институт вычислительной математики им. Г.И.Марчука РАН, г. Москва*

[2] *Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва*

[3] *Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова, г. Москва*

anatoly.v.gusev@gmail.com

Ключевые слова: Чёрное море, численное моделирование, прибрежная циркуляция, синоптическая изменчивость, распространение загрязнений.

В работе представлена методика расчёта циркуляции и распространения консервативного загрязняющего вещества в Чёрном море с детализированным описанием прибрежной динамики в районе геленджикского полигона ИО РАН [1]. Численная модель морской циркуляции, используемая в работе, разработана в Институте вычислительной математике им. Г.И.Марчука РАН и получила в международной практике название INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model). INMOM основана на примитивных уравнениях крупномасштабной гидродинамики, которые формулируются на сфере в ортогональной по горизонтали системе координат с произвольным расположением полюсов и изобатической σ-системе координат по вертикали [2]. Повышение горизонтального разрешения в прибрежной зоне достигается за счёт смещения полюса в окрестность выделяемой подобласти. Данная методика обладает следующими особенностями:

- ортогональная сетка позволяет точно воспроизводить геострофический баланс, важный для описания мезомасштабной изменчивости, и обладает, по сравнению с неструктурированными (треугольными и др.) сетками, лучшими спектральными, аппроксимационными и другими характеристиками;
- квазиравномерность шагов по горизонтали и естественное аналитическое изменение шага позволяют уменьшить ошибку воспроизведения волновых процессов, поскольку отсутствуют районы искусственного сгущения сетки внутри области, приводящего к эффектам отражения волн от “внутренних” границ;
- расчёты проводятся “сквозным счётом” на единой сетке без открытых границ с интерактивным учётом взаимного влияния крупномасштабной циркуляции и динамики прибрежных процессов;
- используется математически точная аналитическая сферическая система координат, исключающая топологические искажения при расчёте полей течений, в отличие от зачастую используемых псевдодекартовых систем координат, адаптируемых для сферичной поверхности Земли;
- экономичное распределение вычислительных ресурсов путём сгущения сетки только в исследуемой подобласти.

С помощью модели INMOM проведены численные расчёты полей течений, уровня моря, температуры и солености в локально-вихреразрешающей конфигурации на повёрнутой неискажённой сферической сетке с переменным шагом. Северный координатный полюс смещён в окрестность г. Геленджик, вследствие чего шаг сетки изменяется от 150 м в прибрежной зоне до 4.6 км в юго-западной части моря. Расчёты проведены при синоптическом

атмосферном воздействии, полученном с помощью региональной негидростатической модели атмосферы WRF (Weather Research and Forecasting) [3]. Модель INMOM успешно воспроизводит крупномасштабную циркуляцию Чёрного моря, а также мезо- и субмезомасштабную изменчивость прибрежных течений. Расчёты демонстрируют активность и изменчивость бароклинной динамики в зоне высокого пространственного разрешения. Наблюдаются значительные изменения структуры струйных прибрежных течений: отход ОЧТ от берега, разбиение его на отдельные струи, формирование прибрежных противотечений, циклонических и антициклонических мезомасштабных и субмезомасштабных вихревых образований [4].

Проведены расчёты распространения консервативного загрязнения, демонстрирующие процесс самоочищения Геленджикской бухты. Для расчёта переноса загрязняющего вещества использовалась монотонная схема, гарантирующая неотрицательность концентрации переносимой субстанции. Такие расчёты позволили не только оценить концентрацию загрязнения в воде, но и изучить процессы формирования и изменчивости циркуляции в Чёрном море. Так, короткопериодные колебания (1-2 суток) прибрежных течений ярко прослеживаются на картинах распространения загрязнения. В течение месяца Геленджикская бухта почти полностью очищается.

Работа выполнена в ИВМ РАН при поддержке РФФИ (грант № 18-05-00117) в части формулировки задачи расчёта морской циркуляции и РНФ (грант № 19-77-20151) в части проведения расчётов и анализа их результатов.

Список литературы

1) Гусев А.В., Залесный В.Б., Фомин В.В. Методика расчета циркуляции Черного моря с улучшенным разрешением в районе полигона ИО РАН // Океанология. 2017. - Т. 57. № 6. - С. 978–989.

2) Дианский Н.А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия. - М.: Физматлит, 2013. - 272 с.

3) Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda M.G., Huang X.-Y., Wang W., and Powers J.G. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. - NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 2008. - 113 pp.

4) Залесный В.Б., Гусев А.В., Агошков В.И. Моделирование циркуляции Черного моря с высоким разрешением прибрежной зоны // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. - 2016. - Т. 52. № 3. - С. 316–333.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ГЛУБИННЫХ ТЕЧЕНИЙ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МУЛЬТИМОДЕЛЬНЫХ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Дымова О.А.[1], **Маркова Н.В.**[1], **Коршенко Е.А.**[2]

[1]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

[2]*Государственный Океанографический Институт имени Н.Н.Зубова, г. Москва*

olgdymova@rambler.ru

Ключевые слова: Черное море, численное моделирование, мультимодельный подход, течения, глубоководная циркуляция, натурные данные.

Целью работы является исследование глубоководной динамики Черного моря, восстановленной с помощью современных моделей циркуляции океана и данных измерений. В работе представлены результаты двух численных экспериментов по моделированию циркуляции с использованием реального атмосферного форсинга за 2011 г. Первый расчет выполнен с использованием z-модели МГИ [1] с горизонтальным разрешением 1,6 км, второй - с помощью σ-модели INMOM [2] с разрешением 1 км.

Для валидации модельных полей температуры, солености и скорости были использованы данные зондирующего комплекса «Аквалог», полученные в июне 2011 г. в ходе глубоководной съемки на полигоне Института океанологии РАН в районе Геленджика [3], а также данные буев ARGO. Было рассмотрено 377 глубоководных профилей температуры и солености, предоставленных базой ARGO (http://www.argodatamgt.org: буи №№ 7900465, 7900466, 1901200, 6900803, 6900804, 6900805) и выполненных преимущественно в абиссальной части Черного моря во все сезоны, и 30 профилей компонент скорости, выполненных в летний сезон зондом «Аквалог» в районе северо-восточного свала глубин. Валидация результатов моделирования показала хорошую точность воспроизведения моделями температуры и солености вод Черного моря. Наибольшие отклонения по температуре выявлены в слое 5 - 30 м, по солености - в слое 30 - 100 м. По результатам второго эксперимента также выявлены отклонения температуры в слое 800 - 1500 м.

Анализ полей скорости течений, рассчитанных по модели МГИ, показал, что на глубине 900 - 1100 м около континентального склона во все сезоны наблюдались интенсивные течения, направленные на юго-восток, тогда как в верхнем слое течения были ориентированы на северо-запад. Средние скорости противотечений достигали 5 - 7 см/с, продолжительность от нескольких дней до 4 - 5 недель в зависимости от месторасположения и сезона, ширина 5 - 8 км, длина 200 - 300 км. Следует отметить, что наибольшей интенсивности противотечения достигали в период ослабления Основного Черноморского течения (ОЧТ), когда средняя скорость в стрежне ОЧТ была 25 - 30 см/с. С увеличением глубины магнитуда течения уменьшалась в среднем до 3 - 4 см/с на горизонтах порядка тысячи метров.

Было выполнено сопоставление прямых измерений скорости глубинных течений Черного моря с рассчитанными данными высокого разрешения. В ходе натурного эксперимента на полигоне в г. Геленджик было зафиксировано юго-восточное противотечение, ядро которого (скорости около 3 см/с) залегает в слое 700 - 800 м, в то время как в верхнем слое доминирует северо-западный перенос, соответствующий ОЧТ. Результаты численных экспериментов согласуются с этими измерениями. Так, по данным модели МГИ в точке, ближайшей к станции измерений, скорость течений на поверхности преимущественно направлена на северо-запад, а в глубине - на юго-юго-восток. При анализе модельных и измеренных профилей компонент скорости получено, что модельные величины ослабевали

с глубиной медленнее, чем реальные данные, а смена знака скорости происходила глубже. Несмотря на то, что увеличение модуля скорости наблюдалось на разных глубинах, значения модельной и измеренной скорости были близки по средней величине.

Для анализа глубоководных течений, полученных по модели INMOM, строились средние за август 2011 г. значения вдольбереговых компонент скорости глубоководных течений на нормальных к берегу разрезах рядом с двумя локациями: Болгарское (28°0' в.д.; 42°0' с.ш.) и Кавказское (39°12' в.д.; 43°54' с.ш.) побережья. Получено, что величина и направление компонент скорости подтверждает наличие некоторых особенностей глубоководных течений, не характерных для общепринятой схемы циклонической циркуляции вод Черного моря. На глубинах ниже 800 м выявлены потоки антициклонической направленности со скоростями, достигающими 1,5 см/с. Величина глубинной антициклонической циркуляции несколько ниже данных, полученных по модели МГИ и по измерениям, что, возможно, является следствием отклонений модельных значений температуры от измерений в слое 800 - 1500 м, обусловленных усвоением климатического профиля температуры в модели INMOM.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-05-00353 а, № 18-35-00512 мол_а.

Список литературы

1) Демышев, С.Г. Численная энергосбалансированная модель бароклинных течений океана с неровным дном на сетке С / С.Г. Демышев, Г.К. Коротаев // Численные модели и результаты калибровочных расчетов течений в Атлантическом океане: атмосфера-океан-космос-программа "Разрезы": сб. науч. статей / Институт вычислительной математики РАН. – Москва, 1992. – 284 с. – Библиогр.: с. 163 – 231.

2) Дианский, Н.А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия [Текст] / Н.А. Дианский. – М. : Физматлит, 2013. – 272 с. – Библиогр.: с. 16 – 55. – 300 экз. – ISBN 978-59221-1433-2.

3) Островский, А.Г. Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции [Текст] / А.Г. Островский, А.Г. Зацепин, В.А. Соловьев [и др.] // Океанология. – 2013. – Т. 53. – № 2. – С. 259 – 268. Библиогр.: с. 266 – 267.

МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ ГРЕНЛАНДСКОГО МОРЯ И ИХ ПРИЧИНЫ

Егорова Е.С.[1,2], **Вязигина Н.А.**[1]

[1] *Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург*

[2] *Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург*

lizaam@bk.ru

Ключевые слова: Гренландское море, морской лёд, ледовитость, межгодовая изменчивость, вклад гидрометеорологических и гелиогеофизических факторов.

Проанализирована структура межгодовой изменчивости площади зимнего (февраль-март) и летнего (август-сентябрь) ледяного покровов Гренландского моря за период с 1950 по 2012 гг. Отмечено, что сезонные колебания ледовитости имеют отрицательный линейный тренд, т.е. площадь льда в море уменьшается; скорость её убывания в зимний период значительно больше, чем в летний. Анализ спектральной плотности межгодовых изменений зимней и летней ледовитостей показывает доминирующие 4-летнюю и 1-2-летнюю цикличности, соответственно. Также отмечаются колебания и более длительных периодов, среди которых наблюдаются вариации 6-7 и 14 лет для зимнего периода, а также 5-6 и 11 лет для летнего [1, 2].

С целью выявления оказывающих влияние на межгодовые колебания ледовитости Гренландского моря гидрометеорологических процессов и гелиогеофизических факторов был проведён многофакторный (мультирегрессионный) анализ связей с помощью программного статистического пакета "STATISTICA"с последующей оценкой вклада статистически значимых предикторов в общую дисперсию предиктанта. Предварительное проведение процедуры кросскорреляционного анализа связей переменных с предиктантом позволило выделить значимые коэффициенты корреляции на определённых временных лагах. Кроме того, в испытуемый ряд возможных предикторов были добавлены такие факторы, использование которых следует из физических соображений. Мультирегрессионный анализ исключил перекрёстные связи выбранных предикторов, оставив значимые. Таким образом, в состав зависимых характеристик, воздействующих на сезонный ледяной покров моря, вошли следующие: среднегодовая температура воздуха над акваторией Норвежского моря T_aN с заблаговременностью 1 и 2 года, индекс теплового состояния северной части Атлантического океана третьей декады года AMO_{III} с временным лагом 3 и 4 года, среднегодовая величина притока тихоокеанских вод через Берингов пролив в Арктический бассейн Ber с заблаговременностью 6 лет, индекс атмосферной циркуляции Арктического колебания за период "май-сентябрь"AO_{V-IX} на текущий год; среднегодовые значения чисел Вольфа $Volf$ с временным лагом 1 год и индексов геомагнитной активности K_p на текущий год, а также скорость вращения Земли, выраженная через продолжительность земного дня, LOD с заблаговременностью 5 лет. В результате были получены физико-статистические уравнения межгодовой изменчивости зимней и летней ледовитости Гренландского моря:

Зима: (1) $L_w = -9.97 \times T_aN(-2) - 4.23 \times LOD(-5) - 29.20 \times AMO_{III}(-4) - 0.06 \times Volf(-1) + 35.30 \times Ber(-6) + 797.32$;

Лето: (2) $L_s = -18.53 \times AMO_{III}(-3) - 0.50 \times K_p + 4.86 \times AO_{V-IX} - 3.05 \times LOD(-5) - 6.50 \times T_aN(-1) + 526.69$.

Общий коэффициент корреляции для зимней ледовитости составляет 0.68, для летней 0.74; коэффициенты детерминации равны 0.47 и 0.55, соответственно; значит, подобранные предикторы описывают от 47 до 55 % дисперсии исследуемых сезонных площадей льдов в Гренландском море. Поскольку дисперсия левой части уравнений (1) и (2) равна сумме

дисперсий предикторов правой части, умноженных на квадрат коэффициентов пропорциональности, легко рассчитываются вклады факторов в общую дисперсию [3]. Так, состояние зимнего ледяного покрова в значительной степени определяется термическими факторами, выраженными через температурные режимы Северной Атлантики (индекс AMO_{III}; на 26 %) и Норвежского моря (T_aN; на 7 %); влияние тихоокеанских вод, поступающих в Арктический бассейн (Ber) и теплового баланса поверхности Земли, отражающегося в изменении чисел Вольфа ($Volf$), описывают 7 и 8 % дисперсии предиктанта, соответственно; наконец, вклад в 7 % вносит скорость вращения Земли (LOD). Основные термические характеристики, воздействующие на зимнюю площадь льдов (AMO_{III} и T_aN), влияют и на изменчивость летней ледовитости моря, только с меньшей заблаговременностью и с большим вкладом: на 37 и 10 %, соответственно; режим атмосферной циркуляции, выраженный Арктическим колебанием весенне-летнего периода текущего года (AO_{V-IX}), на 8 % определяет состояние летнего ледяного покрова; геомагнитная активность Солнца (K_p), влияющая на термобарическое поле атмосферы и вследствие на температурный режим высокоширотных областей [4], ответственна за 9 % общей дисперсии; скорость вращения Земли (LOD) вносит вклад в 13 %.

Таким образом, в обе физико-статистические модели входят члены, выражающие влияние Солнца на атмосферные процессы, однако их воздействие вносит гораздо меньшую долю в изменчивость площади ледяного покрова, чем термические. На сезонное уменьшение площади льдов также оказывает влияние скорость вращения Земли, которая связана с увеличением межширотного обмена теплом в северном полушарии [5]. Стоит отметить, что летнее состояние ледяного покрова моря более чувствительно к изменениям температурного режима Норвежского моря и северной части Атлантического океана, чем зимнее, о чём говорят заблаговременности гидрометеорологических предикторов.

Рассчитанные по модели значения сезонных площадей ледяного покрова в Гренландском море в целом адекватно повторяют фактические, за исключением пика ледовитости 1968 г. Вероятно, следует расширить число предикторов для описания аномально высоких/низких значений ледовитости.

Список литературы

1) Тимохов, Л.А. Особенности сезонной и межгодовой изменчивости ледяного покрова Гренландского моря / Л.А. Тимохов [и др.] // Лёд и Снег. – 2018. – Т. 58. – №1. – С. 127-134.

2) Трегубова, М.В. Многолетняя динамика ледовитости Гренландского моря в условиях современных климатических изменений / М.В. Трегубова, О.М. Прокофьев, А.В. Мухина. // Международный научный журнал «Символ науки». – 2015. – №5. – С. 265-267.

3) Бронштейн, И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев, под ред. К.Ф. Брудно. – М.: Изд. «Наука». – 1964. – 608 с.

4) Жеребцов, Г.А. Влияние солнечной активности на температуру тропосферы и поверхности океана / Г.А. Жеребцов [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. – 2013. – Т. 6. – № 1. – С. 61–79.

5) Сидоренков, Н.С. Природа нестабильностей вращения Земли / Н.С. Сидоренков. // Природа. – 2004. – №8.

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДВОДНЫХ ХРЕБТОВ НА ВДОЛЬБЕРЕГОВОЕ ДАУНВЕЛЛИНГОВОЕ ТЕЧЕНИЕ И СВЯЗАННЫЙ С НИМ ПРИДОННЫЙ ЭКМАНОВСКИЙ СЛОЙ

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.

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

dmelkin@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, континентальный склон, подводный хребет, опускание вод, конвекция, лабораторное моделирование

При наличии прибрежного течения, достигающего дна моря, образуется придонный экмановский слой (ПЭС), в котором перенос воды происходит перпендикулярно направлению течения и влево от него (в Северном полушарии). В случае прибрежного циклонического вдольберегового течения, или антициклонического течения вокруг острова (в общем случае - даунвеллингового вдольберегового течения), в ПЭС происходит перенос воды от берега и ее опускание по склону дна. При наличии устойчивой плотностной стратификации водной среды, достигая определенной глубины, менее плотная вода в ПЭС останавливается и конвективным образом перемешивается с вышележащими водами [1]. Морское дно имеет сложный рельеф, и этот процесс зачастую происходит при наличии хребтов, каньонов, возвышенностей и впадин.

Цель работы - изучение динамики даунвеллингового вдольберегового течения и связанного с ним ПЭС в лабораторных условиях, при наличии вдольсклонового хребта на наклонном дне во вращающейся жидкости при наличии и отсутствии стратификации.

Опыты проводились в цилиндрическом бассейне, сделанном из оргстекла и расположенном на вращающейся платформе. В центре бассейна установлен усеченный конус с нижнем основанием на дне бассейна. На внешней стороне к образующей усеченного конуса перпендикулярно наклонной поверхности прикреплена тонкая пластинка треугольной формы, вершинный угол которой меньше угла конической поверхности к горизонтали. Пластинка расположена так, чтобы вершинный угол касался верхнего основания, а сторона противоположная этому углу располагалась вблизи стенки бассейна. В центре верхнего основания усеченного конуса сделано отверстие, соединенное шлангом с сосудом Мариотта. Над этим отверстием осесимметрично расположен пустотелый цилиндр. 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 красителем. Поступающая в бассейн вода образует «прибрежное» (прижатое к боковой поверхности цилиндра) фронтальное течение. Из-за трения о дно в области этого течения возникает ПЭС, в котором происходит опускание подкрашенной воды источника. На протяжении каждого опыта вид прибрежного течения и связанного с ним ПЭС снимался сверху и сбоку с помощью видеокамер. Для определения скорости вдольберегового течения на поверхность воды помещались бумажные пелетки.

Ранее были проведены две серии опытов. В опытах первой серии ставилась задача определения закономерностей распространения ПЭС вниз по поверхности гладкого конуса в баротропном случае ($r_1 \approx r_0$). Эксперименты проводились при различных значениях скорости вращения платформы и различных значениях расхода жидкости из щелевого источника. Вода, поступавшая 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 течения вниз по склону, выходящего со временем далеко за пределы фронтальной зоны слоя прибрежного течения [1].

Если плотность подкрашенной жидкости прибрежного течения и ПЭС такая же, что и вода в бассейне, то при натекании на вдольсклоновый хребет течение замедлялась. Поэтому перед хребтом уровень жидкости повышался по сравнению с удаленными от хребта районами. Такое поле давления перед хребтом опускало воду прибрежного течения и связанного с ним ПЭС вниз, а за хребтом - поднимало ее вверх по склону.

Опыты второй серии проводились при разных значениях солености воды в бассейне. При этом вода в источнике была пресной. В случае небольшого различия плотности вод ($r_1 < r_0$), более легкие воды касались дна и общий характер влияния хребта на прибрежное течение и ПЭС не изменялся. Однако в окрестности хребта наблюдалось утолщение ПЭС. Это приводило к более раннему развитию конвекции. Конвекция имела вид трехмерных вихревых структур, в которых подкрашенная вода ПЭС поднималась вверх, вплоть до свободной поверхности жидкости. Как и прежде, перед хребтом вода прибрежного течения опускалась значительно глубже, чем в отсутствии хребта.

При большем различии плотности вод ($r_1 \ll r_0$), без хребта подкрашенная менее плотная вода прибрежного течения распространялась со временем радиально и осесимметрично. При наличии хребта прибрежное течение теряло симметричность: перед хребтом оно опускалось вниз, а за ним поднималось вверх. При этом его вода не касалась дна и не попадала в ПЭС.

Описанные результаты лабораторных опытов хорошо согласуются с некоторыми результатами натурных наблюдений. Данные лабораторные опыты по исследованию воздействия подводных хребтов на прибрежные баротропные и бароклинные течения показали, что наличие подводного хребта сильно интенсифицирует водообмен между мелководной и глубоководной частями бассейна [2].

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы 0149-2019-0004 и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-00381.

Список литературы

1) Елкин Д.Н., Зацепин А.Г., Подымов, О.И., Островский А.Г. Опускание вод в экмановском слое, образованном прибрежным даунвеллинговым течением над наклонным дном // Океанология. 2017. Т. 57. № 4. с. 531-537.

2) Didkovskii V.L., Semenov A.V., Zatsepin A.G. Mesoscale currents upon the smooth sloping bottom and in the presence of ridges and canyons. – In: Oceanic Fronts and Related Phenomena (Konstantin Fedorov International memorial Symposium). UNESCO, IOC, Workshop report N 159, 2000. P.89-94.

АНАЛИЗ T,S-ИНДЕКСОВ ВОД ЕВРАЗИЙСКОГО БАССЕЙНА АРКТИКИ С ПОМОЩЬЮ КЛАСТЕРНОГО МЕТОДА

Журбас Н.В., Лыжков Д.А.

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

nvzhurbas@gmail.com

Ключевые слова: программа NABOS, кластерный анализ, Евразийский бассейн (Арктика).

Для анализа T,S-индексов вод Евразийского бассейна в данной работе были использованы CTD-данные, полученные на перпендикулярных континентальному склону разрезах в Евразийском бассейне в диапазоне 31-126° в. д., выполненных в рамках программы NABOS (Nansen and Amundsen Basins Observing System).

Воды Атлантического происхождения (АВ) оказывают важнейшее влияние на формирование термохалинной структуры, циркуляцию и вентиляцию водных масс в Северном Ледовитом океане. Часть АВ поступает в Евразийский бассейн через пролив Фрама (Фрамовская ветвь АВ) и распространяется в виде прилегающего к континентальному склону приповерхностного бароклинного течения на восток. Данное течение легко идентифицируется на разрезах, сделанных в районе 31° в. д., в виду того, что его ядро имеет повышенную температуру и соленость относительно окружающих его водных масс. Другая часть АВ поступает в бассейн в районе желоба Св. Анны после прохождения через Баренцево и Карское моря (Баренцевоморская ветвь АВ). Воды данной ветви АВ являются существенно охлажденными вследствие перемешивания с водами арктических шельфовых морей. В районе 80-90° в. д. обе ветви АВ встречаются и затем продолжают циклонически распространяться вдоль континентального склона Евразийского бассейна [3]. Неудивительно, что термохалинная структура водных масс в районе слияния двух ветвей АВ имеет сложный характер вследствие их взаимодействия, причем из-за влияния различных факторов, например, таких, как периодическое потепление вод Фрамовской ветви АВ (подобное явление наблюдалось в 2006 году, [2]), картина их взаимодействия характеризуется сильной межгодовой изменчивостью.

Основными задачами исследования термохалинной структуры водных масс в районах, где происходит взаимодействие вод различных T,S-свойств, являются, во-первых, определение количества присутствующих на рассматриваемых разрезах водных масс с различными свойствами, и, во-вторых, идентификация того, к какому типу относится та или иная водная масса. Для решения подобных задач успешно применяются методы кластерного анализа. С примерами использования такого подхода для исследования термохалинной структуры вод западной части Средиземного моря можно ознакомиться в [1].

В представленной работе приведены результаты анализа ансамблей T,S-кривых АВ, распространяющихся вдоль границ Евразийского бассейна. Для анализа применялись стандартные методы описания T,S-кривых, а также кластерный метод. Данный метод позволяет определять такие группы T,S-индексов, внутри которых T,S-индексы близки по величине, но имеют значительные различия с T,S-индексами, относящимися к любой другой группе. Для анализа использовалась бесплатная библиотека Scikit-learn для языка программирования Python. В качестве алгоритма кластеризации был выбран наиболее популярный метод k-средних. Действие алгоритма таково, что он стремится минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров этих кластеров - центроидов. В качестве входного набора данных для анализа брались расположенные ниже горизонта 200 м точки в координатах T,S на нескольких разрезах за различные годы.

Рассмотренная в данном исследовании конкретная задача, для которой был использован кластерный метод, сводилась к следующему. На основе разрезов, полученных в разные годы вдоль 103° в. д. и 126° в. д., были построены отдельно для каждого разреза T,S-диаграммы для горизонтов, лежащих ниже квазиоднородного слоя. Анализировались два варианта: а) полагалось, что точки T,S-индексов, полученные на каждом разрезе, лежат в двух кластерах; б) те же точки T,S-индексов лежат в трех кластерах. Такой подход был мотивирован тем, что АВ, наблюдаемые восточнее желоба Св. Анны, формируются слиянием двух ветвей АВ – Фрамовской и Баренцевоморской, при этом термохалинные характеристики водных масс разных ветвей существенно различны. Для каждого случая а) и б) определялись центроиды кластеров и анализировались изменения положения центроидов в различные годы. Проводился тест для выбора лучшей методики кластерного анализа T,S-диаграмм. Проведенный анализ позволил найти статистически значимые оценки изменения средней температуры и солености АВ в разные годы, а также на основе расположения центроидов в T,S-координатах выявить годы, когда наблюдались сильное потепление и осолонение АВ в Евразийском бассейне.

Исследования, проведенные Журбас Н.В. (сбор и анализ CTD-данных, применение адаптированного кластерного метода для анализа T,S-индексов вод Евразийского бассейна и интерпретация полученных результатов), выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-10080).

Список литературы

1) Emelianov M., Font J., Turiel A. et. al. Transformation of Levantine Intermediate Water tracked by MEDARGO floats in the Western Mediterranean // Ocean Science. 2006. V. 2. P. 281–290.

2) Polyakov I., Alexeev V., Ashik I. et al. Fate of Early 2000s Arctic Warm Water Pulse // Bulletin of the American Meteorological Society. 2011. V. 92. № 5. P. 561–566. doi:10.1175/2010BAMS2921.1.

3) Rudels B., Jones E.P., Anderson L.G., and Kattner G. On the intermediate depth waters of the Arctic Ocean // In: The Role of the Polar Oceans in Shaping the Global Climate / O.M. Johannessen, R.D. Muench, J.E. Overland (eds) // Washington, DC: American Geophysical Union. 1994. P. 33–46.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЯ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В ЕВРАЗИЙСКОМ БАССЕЙНЕ (АРКТИКА) НА ОСНОВЕ CTD-ДАННЫХ NABOS ЗА 2002–2015 ГОДЫ

Журбас Н.В.

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

nvzhurbas@gmail.com

Ключевые слова: программа NABOS, анализ CTD-данных, расход геострофического течения, временная и пространственная изменчивость термохалинного поля, Евразийский бассейн (Арктика).

CTD-данные, полученные на перпендикулярных континентальному склону разрезах в Евразийском бассейне и бассейне Макарова в диапазоне 31-159° в. д., выполненные в рамках программы NABOS (Nansen and Amundsen Basins Observing System) в 2002-2015 годах, были преобразованы в единый удобный для использования формат и обработаны. Также были использованы данные с CTD-разреза, начинающегося на континентальном склоне бассейна Нансена в районе 92° в. д. и пересекающего весь Евразийский бассейн и хребет Ломоносова (данный разрез был сделан в 1996 году на научно-исследовательском судне «Polarstern»). Данные использовались для анализа временной и пространственной изменчивости T,S-индексов и оценок расхода геострофического течения, переносящего Атлантические воды (АВ) вдоль континентального склона Евразийского бассейна. Для оценок расхода применялся динамический метод, основанный на классических уравнениях, описывающих геострофическое течение.

Как известно, часть АВ поступает в Евразийский бассейн через пролив Фрама и формирует прилегающее к континентальному склону восточное приповерхностное бароклинное течение с ядром, характеризующимся повышенной температурой и соленостью (Фрамовская ветвь Атлантических вод). Другая часть АВ поступает в бассейн в районе желоба Св. Анны и состоит из водных масс, существенно охлажденных вследствие перемешивания с водами арктических шельфовых морей - Баренцева и Карского (Баренцевоморская ветвь Атлантических вод). Таким образом, в районе 80-90° в. д. обе ветви АВ встречаются, и водные массы, получившиеся в результате их взаимодействия, продолжают циклонически распространяться в Евразийском бассейне, следуя топографии морского дна.

Проведенный анализ показал, что геострофическое течение в диапазоне 31-126° в. д. характеризуется высокой пространственной изменчивостью. Рассмотрение распределений термохалинных характеристик на разрезах показало, что тип течения АВ в разных областях бассейна различен: в зависимости от расположения разреза относительно зон затока АВ в Евразийский бассейн термохалинная стратификация на разрезе может соответствовать как приповерхностному течению или течению промежуточного слоя, так и придонному гравитационному течению.

Расход геострофического течения существенно уменьшается по мере удаления от зон затока АВ в Евразийский бассейн. Данное уменьшение, прежде всего, может быть связано с уменьшением скорости геострофического течения. Другой причиной снижения интенсивности потока АВ является ослабление горизонтальных градиентов потенциальной плотности вследствие выноса водных масс в направлении, перпендикулярном восточному геострофическому течению, т.е. по направлению к центру бассейна. Этот процесс может быть обусловлен формированием интрузионного расслоения и образованием вихрей, которые являются типичной особенностью термохалинной структуры вод промежуточного и глубинного слоев Евразийского бассейна [1, 2].

Рассмотренные данные позволяют также судить и о временной изменчивости термохалинного поля и расходов течения в Евразийском бассейне. В 2006 году наблюдалось интенсивное потепление АВ, о котором впервые было сообщено в работе [3]. В настоящей работе получено, что в 2006 году имело место не только увеличение температуры АВ, но и увеличение солености и расхода геострофического течения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-10080).

Список литературы

1) Кузьмина Н.П., Руделс Б., Журбас Н.В. О структуре интрузий и фронтов в глубинном слое Евразийского бассейна и Бассейна Макарова (Арктика) // Океанология. 2013. Т. 53. № 4. С. 463–475.

2) Dmitrenko I.A., Kirillov S.A., Ivanov V.I., Woodgate R. Mesoscale Atlantic water eddy off the Laptev Sea continental slope carries the signature of upstream interaction // J. Geophys. Res. 2008. V. 106. № 113. C07005. doi:10.1029/2007JC004491.

3) Polyakov I., Alexeev V., Ashik I., Bacon S., Beszczynska-Möller A., Carmack E., Dmitrenko I., Fortier L., Gascard J-C., Hansen E., Hölemann J., Ivanov V., Kikuchi T., Kirillov S., Lenn Y-D., McLaughlin F., Piechura J., Repina I., Timokhov L., Walczowski W., and Woodgate R. Fate of Early 2000s Arctic Warm Water Pulse // Bulletin of the American Meteorological Society. 2011. V. 92. № 5. P. 561–566. doi:10.1175/2010BAMS2921.1.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОГО АЭРОЗОЛЯ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В АКВАТОРИЯХ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ, СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

Зенкова П.Н., Панченко М.В., Терпугова С.А.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академиии наук, г. Томск

polinazenkova1303@gmail.com

Ключевые слова: Морская атмосфера, аэрозоль, микрофизические характеристики, конденсационная активность, НИС «Академик Мстислав Келдыш», НЭС «Академик Федоров», восстановление оптических характеристик.

Около 70% земной поверхности занимают океаны. Морская и океаническая поверхности являются самыми мощными первичными источниками субмикронных аэрозольных частиц. Важной составляющей изучения аэрозоля в высоких широтах является наблюдения, выполняемые на борту научно-исследовательских судов. За последние годы проведены исследования аэрозоля Белого, Баренцева и Карского морей, Северной и Южной Атлантики [1]. Основные измеряемые характеристики - это оптические параметры и дисперсионный состав аэрозоля в приводном слое атмосферы, химический состав аэрозоля, спектральные коэффициенты аэрозольного поглощения и концентрации поглощающего вещества (черного углерода, «сажи») в составе аэрозольных частиц.

Атмосфера в удаленных регионах Мирового океана представляет собой химически динамическую систему, в которой происходит, в частности, образование морского солевого аэрозоля (в результате разрушения водяных капель, попадающих под воздействие морского волнения в атмосферу) и несолевого аэрозоля как продукта газофазных реакций преобразования выбрасываемого из океана в атмосферу биогенного диметилсульфида [2]. В видимой области спектра оптические свойства атмосферной дымки (наиболее типичного аэрозольного замутнения атмосферы), определяются мелкодисперсной фракцией, которая хорошо аппроксимируется одномодальным логарифмически-нормальным распределением частиц по размерам. Для модельных расчетов в качестве исходного распределения частиц по размерам при заданной относительной влажности с медианным радиусом rm=0,2 мкм и полушириной σ=0.26.

Относительная влажность воздуха является одним из основных факторов, обуславливающих вариации оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля [3]. Представленные модельные данные позволяют детально описать изменчивость свойств аэрозоля во всем диапазоне относительной влажности при трансформации его частиц в поле переменной относительной влажности, реализующемся в атмосфере

Конденсационная активность частиц разных размеров обычно аппроксимируется формулой Кастена-Хенеля [4], в которой реакция аэрозоля на увлажнение задается зависимостью параметра Хенела [5]. Показатели преломления и поглощения при изменении относительной влажности воздуха определялись как функции радиуса по правилу смеси в предположении, что объем частиц при увлажнении увеличивается только за счет конденсации паров воды.

Совместно разработанная сотрудниками лаборатории оптики аэрозоля ИОА СО РАН модель расчета оптических характеристик, с учетом поглощения и гигроскопичности частиц, опирается на предположение об однородности и сферичности аэрозольных частиц, когда рассеяние света описывается теорией Ми [6]. Она позволяет восстановить полный

комплекс оптических характеристик аэрозоля в приводном слое по исходным распределениям счетных концентраций частиц и массовой концентрации поглощающего вещества, полученных в ходе морских экспедиций.

Полученные расчеты полезны для радиационных оценок распространения оптического излучения в аэрозольных средах типа мелкодисперсной фракции атмосферного аэрозоля с одномодальной функцией распределения частиц по размерам. Данные позволяют исследовать динамику оптических свойств аэрозоля при укрупнении частиц и изменении величины показателя преломления и поглощения, что может наблюдаться в естественных условиях при трансформации частиц в процессе увлажнения.

Работа выполнялась при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН II.1 (проект № 0368-2018-0014).

Список литературы

1) Терпугова С.А., Зенкова П.Н., Кабанов Д.М., Полькин В.В., Голобокова Л.П., Панченко М.В., Сакерин С.М., Лисицын А.П., Шевченко В.П., Политова Н.В., Козлов В.С., Ходжер Т.В., Шмаргунов В.П., Чернов Д.Г. Результаты исследований характеристик аэрозоля в атмосфере Карского и Баренцева морей в летне-осенний период 2016 г.. // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 05. С. 391–402.

2) Кондратьев К.Я. Аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. 2. Прямое и косвенное воздействие на климат. // Оптика атмосферы и океана. 2002. Т. 15. № 04. С. 301-320.

3) Георгиевский Ю.С., Розенберг Г.В. Влажность как фактор изменчивости аэрозоля // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1973. Т. 9. № 2. С. 126-138.

4) Hanel G. The properties of atmospheric aerosol particles as function of relative humidity at the thermodynamic equilibrium with surrounding moist air // Adv. in Geophys. 1976. V. 19. P. 73–188.

5) Терпугова С.А., Панченко М.В., Свириденков М.А., Докукина Т.А. Соотношения между оптическими и микрофизическими параметрами конденсационной изменчивости приземного аэрозоля. // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 07. С. 629-634.

6) Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. // Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 664 с.

ВЛИЯНИЕ ОКЕАНА НА ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ

Зотов Л.В.[1,2], **Бизуар К.**[3]

[1] *Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, Москва*

[2] *Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова*

[3] *Служба параметров вращения Земли, Парижская обсерватория, Франция*

wolftempus@gmail.com

Ключевые слова: вращение Земли, угловой момент океана, Чандлеровское колебание, изменения климата.

Обмен угловым моментом между океаном, атмосферой и твердой Землей выступает основной причиной колебаний положения полюса и неравномерностей в скорости вращения планеты.

Модели океанической циркуляции, такие как ECCO, позволяют рассчитать угловой момент океана (УМО) с 1990-х годов по н.в. Эти данные используются для вычисления возбуждающих функций, влияющих на вращение Земли. Сравнение моделей с наблюдениями за массой океана по данным GRACE и за уровнем моря по данным альтиметрии позволяет судить о влиянии климатических изменений на массовую и стерическую компоненты уровня моря, делать выводы о возможных изменениях в циркуляции океана. Океан является важным звеном, посредством которого между изменениями климата и вращением Земли может устанавливаться взаимосвязь.

Приливы замедляют скорость вращения Земли и приводят к возникновению соответствующих периодичностей в длительности суток LOD, воздействуя как на твердую Землю, так и на океан.

Существенен вклад океана в период, амплитуду и затухание Чандлеровского колебания полюса. Важным звеном обратной связи, требующим детального изучения, является полюсный прилив в океане. Он имеет величину в несколько сантиметров и вызван отклонениями в положении оси вращения Земли.

В докладе мы попытаемся сделать обзор проблематики влияния океана на вращение планеты, уделив внимание перечисленным выше темам.

Работа выполнена при поддержке гранта “111” (No. B17033) Уханьского университета, КНР.

Список литературы

1) Зотов Л.В., Исследование связей между вращением Земли и геофизическими процессами. Докторская диссертация, М. 2019 г.

2) Bizouard C., Zotov L., Asymmetric effects on polar motion, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, Vol.116, Iss. 2, pp. 195-212, 2013

СПУТНИКОВЫЕ МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ОПТИЧЕСКИ-СЛОЖНЫХ ВОДАХ АМУРСКОГО ЗАЛИВА

Игнатьева Е.С.[1], **Яковлева Д.А.**[1], **Салюк П.А.**[2]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2] *Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, г. Владивосток*

seimira@ya.ru

Ключевые слова: цвет моря, оптика океана, биооптические алгоритмы, спутниковый мониторинг, Амурский залив.

Амурский залив расположен в заливе Петра Великого в Японском море. Его воды испытывают значительную антропогенную нагрузку: сток реки Раздольная, сброс сточных вод, активное судоходство и т.д. Следует регулярно проводить мониторинг состояния залива. Один из наиболее эффективных методов - спутниковое зондирование цвета поверхности моря. Цвет содержит информацию о распределении оптически активных компонентов воды (ОАК), дающих представление о гидробиологических и гидрологических процессах в поверхностных водах [1]. Ключевые ОАК - клетки фитопланктона (и содержащийся в них хлорофилл-а (хл.-а)), растворённое органическое вещество (РОВ) и взвешенные вещества (ВВ). С помощью спутниковых радиометров можно получать 5-10 изображений поверхности моря в дневное время над всей акваторией залива. Но необходимо учитывать, что влияние облачности, атмосферного аэрозоля [2], непостоянство соотношений вкладов ОАК в цвет моря [3], влияние сигналов, отражённых от дна или от макроводорослей искажают результаты. Существует ряд алгоритмов атмосферной коррекции, позволяющих учесть проявление атмосферных процессов, и биооптических алгоритмов, разделяющих вклады различных ОАК в цвет моря. Стандартные алгоритмы корректно работают для вод первого оптического типа [4], но в водах второго типа дают сбои, какими и являются оптически сложные воды Амурского залива с высоким содержанием ВВ и РОВ.

Цель работы заключается в выявлении механизмов формирования цвета моря в Амурском заливе и в проверке возможностей оптического спутникового зондирования для изучения гидрооптических характеристик залива. Проведены подспутниковые судовые и лабораторные исследования пространственного распределения гидрооптических и гидрологических параметров на 13 станциях и собран массив спутниковых данных сканеров цвета моря с ежедневным покрытием исследуемой акватории 17 и 19.08.2018. С помощью гидрологического профилографа SeaBird SBE 19plus осуществлены измерения профилей температуры, электропроводности, давления с помощью встроенных датчиков, мутности и концентрации хл.-а вспомогательными датчиками Seapoint и концентрации РОВ датчиком WetLabs. Отобраны пробы на определение концентрации хл.-а по ГОСТ 17.1.4.02-90, коэффициентов поглощения света РОВ с помощью измерений флуоресценции лабораторным спектрофлуориметром Varian Cary Eclipse и массы ВВ путём фильтрации проб и взвешивания фильтров. Использованы данные спутниковых датчиков MODIS (Aqua и Terra), NPP VIIRS, GOCI, OLCI и SGLI, обработанные по стандартному алгоритму атмосферной коррекции Near-infrared (NIR), и данные Центра спутникового мониторинга ДВО РАН, где осуществляется потоковая обработка данных MODIS Aqua и Terra для залива Петра Великого с применением алгоритма атмосферной коррекции MUMM [2].

В результате натурных измерений выявлено, что максимальные концентрации РОВ (17.5 мг/м^3 при $<$5 мг/м^3 ниже 10 м и в открытых частях залива) наблюдаются в при-

брежных областях в зоне влияния речного стока в поверхностных слоях моря, где коррелируют с низкими плотностью и солёностью и высокой мутностью. Концентрация хл.-а имеет высокие значения в поверхностном слое в районе прихода морских водных масс со стороны Японского моря через пролив Босфор Восточный (>1 мг/м^3) и в придонном холодном и солёном слое (1-12 мг/м^3). На основе данных о связи коэффициентов ослабления света и содержания хл.-а и РОВ в водах залива Петра Великого получено, что распределение ОАК в верхнем 10-метровом слое воды оказывает 95-97% вклада в цвет моря, регистрируемого дистанционно, а 3-5% определяются ОАК в слое 10-15 м. Оптические характеристики вод ниже 15 м не влияют на формирование цвета моря, как и отражённое от дна или макроводорослей излучение.

Спутниковые данные за 19.08.2018 неоднородны: между широтами 43°N и 43°6'N различие в концентрации хл.-а C_{SAT} с разных сканеров достигает десяти раз (3 и 30 мкг/л), что наблюдается и для одного сканера VIIRS-NPP на снимках, полученных с интервалом в 1,5 часа, что невозможно объяснить природными причинами. Основная причина несоответствий - неверная работа алгоритмов атмосферной коррекции над водами Амурского залива. Для сравнения разных алгоритмов атмосферной коррекции NIR и MUMM проведено сопоставление между концентрациями хл.-а C_{CTD}, измеренных с помощью профилографа SBE-19 plus и усредненных с учетом оптического веса, и индексами цвета R_{SAT}, рассчитанных из спутниковых измерений коэффициентов яркости моря Rrs на длинах волн 488 и 555 нм по формуле $R_{SAT} = Rrs(488)/Rrs(555)$, на логарифмических масштабах. Сравниваемые величины должны иметь значимую обратную корреляцию, но при обработке спутниковых данных с атмосферной коррекцией NIR корреляция положительна и статистически не отличается от нуля с достаточной доли вероятности (R=0.69, p-значение =31%, n=4). При использовании атмосферной коррекции MUMM обратная зависимость становится статистически значимой (R=-0.96, p-значение 4.3%, n=4, точки равномерно распределены в диапазоне C_{CTD} 0.48-0.74 мкг/л, R_{SAT} 0.87-1.01). Результаты являются предварительными ввиду малого количества синхронных спутниковых и судовых измерений и требуют дальнейшего накопления статистики.

Таким образом, выводы для вод Амурского залива следующие. На всей акватории обязательно применение атмосферной коррекции спутниковых данных, учитывающей особенности повышенного содержания ВВ в верхнем слое. Спутниковые данные корректны при глубинах дна от 15 м и больше. Основной вклад в формирование цвета поверхности оказывают ОАК до 8-10 метров от поверхности. Необходима разработка сезонных биооптических алгоритмов для оценки содержания ОАК.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Дальний Восток» (проект № 18-01-10).

Список литературы

1) Штрайхерт Е.А., Захарков С.П. О пространственно-временной изменчивости концентрации хлорофилла-а на шельфе залива Петра Великого при зимне-весеннем цветении фитопланктона по спутниковым и подспутниковым данным // Исследование Земли из космоса. – 2016. – № 1-2. – С. 173.

2) Алексанин А.И., Качур В.А. Особенности атмосферной коррекции спутниковых данных цвета океана в дальневосточном регионе // Исследование Земли из космоса. – 2016. – № 6. – С. 56-57.

3) Салюк П.А. и др. Разработка эмпирических алгоритмов восстановления концентрации хлорофилла-а и окрашенных растворенных органических веществ для дальне-

восточных морей из дистанционных данных по цвету водной поверхности // Исследование Земли из космоса. – 2013. – № 3. – С. 45.

4) Morel A., Prieur L. Analysis of variations in ocean color // Limnology and Oceanology. – 1977. – Vol. 22. – p. 709-722.

ВЛИЯНИЕ ОКЕАНИЧЕСКИХ И АТМОСФЕРНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА НА МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

Калавиччи К.А.[1], **Башмачников И.Л.**[1,2]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2] *Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», г. Санкт-Петербург*

katrina.calavicci@mail.ru

Ключевые слова: Баренцево море, атмосферные и океанические потоки тепла, ледяной покров.

С начала XXI века наблюдается общее замедление роста среднегодовой приземной температуры воздуха Северного полушария, но в Арктическом регионе повышение температуры воздуха продолжается прежними темпами. Одной из основных гипотез причин этого «Арктического усиления» является изменение радиационного баланса Арктики при общем уменьшении площади ледяного покрова. В данной работе рассматриваются причины изменения площади ледяного покрова одного из наиболее изменчивых регионов Арктики – Баренцева моря. В среднегодовых значениях площади ледяного покрова Баренцева моря выделяется отрицательный линейный тренд, отмеченный в предыдущих исследованиях [1, 6]. На данный момент нет единого мнения об основных причинах продолжающегося сокращения площади ледяного покрова в Баренцевом море. Одни авторы называют основополагающим фактором адвекцию тепла океаном [5], другие же считают, что на межгодовую изменчивость ледяного покрова большее влияние оказывает характер атмосферной циркуляции, а также интенсивность теплообмена океана и атмосферы [6]. В свою очередь, атмосферная циркуляция определяет не только величину потока атмосферного тепла в регион, но и изменение характера переноса льда в регионе. При этом, изменчивость атмосферной циркуляции может оказывать влияние на общую площадь ледяного покрова Баренцева моря, как посредством изменения объема приносимого и выносимого льда, так и за счет крупномасштабного перераспределения льда внутри моря [4].

В данной работе исследуется роль океанического и атмосферного потоков тепла в долгосрочной динамике ледяного покрова в Баренцевом море.

Для расчета площади ледяного покрова Баренцева моря мы использовали данные Арктической региональной системы наблюдения за океаном – Arctic ROOS (https://arctic-roos.org/node/94) с дискретностью 1 месяц. В расчетах океанических потоков тепла были использованы данные по температуре воды и скорости течения базы ARMOR (http://marine.cope с пространственным разрешением 0,25 градуса и дискретностью 1 месяц. Для расчета потока атмосферного переноса тепла использовались данные по температуре воздуха и скорости ветра базы ERA-Interim (http://apps.ecmwf.int/datasets/). Конвергенция атмосферного переноса тепла рассчитывалась суммированием потоков тепла по четырем разрезам на границах моря (20°в.д.,70°с.ш. и 55°в.д.,70°с.ш.; 20°в.д.,70°с.ш. и 20°в.д.,80°с.ш.; 20°в.д.,80°с.ш. и 55°в.д.,80°с.ш.; 55°в.д.,80°с.ш. и 55°в.д.,70°с.ш.). Атмосферные потоки тепла через границы Баренцева моря рассчитывались в слое от поверхности до 750 гПа по формуле:

$$Q_a = t_a \cdot v_a \cdot \rho \cdot C_p \cdot dz \cdot dx, \tag{1}$$

где t_a — температура воздуха, K; v_a — скорость воздуха; ρ — плотность воздуха; C_p — удельная теплоемкость воздуха; dz — высота; dx — расстояние.

Океанический поток тепла рассчитывался как перенос тепла через разрез на западной границе моря (70°с.ш., 20°в.д. и 75°с.ш., 20°в.д.). Интегрирование проводилось по длине разреза и от поверхности моря до дна, путем суммирования значений потоков в точках наблюдений:

$$Q_o = t_w \cdot v_w \cdot \rho \cdot C_p \cdot dz \cdot dx, \tag{2}$$

где t_w — температура воды; v_w — тскорость течения; ρ — плотность воды; C_p — удельная теплоемкость воды; dz — толщина слоя; dx — расстояние между точками наблюдений;

В рассчитанных нами среднегодовых значениях океанического потока тепла был выделен значимый положительный линейный тренд, а в среднегодовых значениях атмосферного потока тепла, наоборот, выделялся отрицательный тренд, который, впрочем, не был значимым. Последний вывод согласуется с результатами исследований [2, 3], где отмечается ослабление меридионального атмосферного потока тепла в нижней тропосфере в Баренцево море. Это позволяет предположить ведущую роль океанического потока тепла в междекадной изменчивости океанического потока тепла в изменчивости площади ледяного покрова Баренцева моря. При этом, межгодовая изменчивость площади ледового покрова может быть связана с атмосферными процессами, на что, в частности, указывалось в работах [1] и [6]. Зная общее изменение по тренду переносимого океаном тепла в Баренцево море и общее изменение площади ледяного покрова, полученное увеличение потока океанического тепла переводится в объем растаявшего льда. При этом учитывается изменчивость интенсивности теплопотерь с поверхности моря в виде вертикальных потоков явного и скрытого тепла, а также изменчивость радиационного баланса поверхности моря, как разницы поглощённой коротковолновой солнечной радиации и длинноволнового излучения с поверхности моря.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01151)

Список литературы

1) Михайлова Н.В., Юровский А.В. Анализ главных компонент полей концентрации морского льда в Баренцевом море // Морской гидрофизический журнал. 2017. №2 (194)

2) Сорокина С.А., Эзау И.Н. Меридиональный поток энергии в Арктике по данным архива радиозондирования IGRA// Изв. РАН. Физика атмосферы и океана 2011. Т. 45, № 5. С. 622-633.

3) Smedsrud, L. H., A. Sorteberg, K. Kloster. Recent and future changes of the Arctic sea-ice cover// Geophys. Res. Lett., 35, 2008

4) Миронов Е.У. Ледовые условия в Гренландском и Баренцевом морях и их долгосрочный прогноз. СПб.: Изд. ААНИИ, 2004. 320 стр.

5) Årthun M., Eldevik T., Smedsrud L.H. et al. Quantifying the influence of Atlantic heat on Barents Sea ice variability and retreat // J. Clim. – 2012. – 25. – P. 4736 – 4743.

6) Sorokina S.A., Li C., Wettstein J.J. et al. Observed atmospheric coupling between Barents Sea ice and the Warm-Arctic Cold-Siberian anomaly pattern // J. Clim. – 2016. – 29. – P. 495 – 511.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ, ПОЛУЧЕННЫХ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ ЗА 2017-2018 ГОД

Калинская Д.В.

Морской гидрофизический институт РАН , г. Севастополь

kalinskaya_ d_ v@mail.ru

Ключевые слова: фотометр SPM, CALIPSO, AERONET, Черное море, аэрозольная оптическая толщина.

Поглощающий аэрозоль ухудшает качество стандартных спутниковых продуктов, что подтверждается как модельными расчётами, так и конкретными примерами обработки спутниковых данных над Чёрным морем [1].

Решение задач атмосферной коррекции, а также различных оценок радиационного воздействия невозможно без анализа исследований оптических свойств аэрозоля, так как аэрозоль играет важную роль в процессе рассеяния и поглощения света. Актуальность исследований атмосферных аэрозолей также обусловлена тем, что в приземном слое аэрозольные частицы являются загрязнителями атмосферы, а в глобальном масштабе - это один из важных факторов, который влияет на климат. Существенная изменчивость, свойственная аэрозолю, обусловлена многообразием типов аэрозольных частиц (химического состава, размеров) и процессов их трансформации в атмосфере под влиянием многочисленных факторов - метеоусловий, атмосферной циркуляции, солнечной инсоляции, а также вида подстилающей поверхности как одного из важных источников аэрозоля. Значительные изменения аэрозольной оптической толщины (АОТ) во время вторжения в атмосферу большого количества пылевого аэрозоля изменяют прозрачность атмосферы [2], а также влияют на безопасность работы авиации.

Цель и задачи исследования: проанализировать основные оптические характеристики аэрозоля, полученные посредством данных измерений солнечного фотометра SPM в экспедициях по Черному морю за 2016-2018 год.

Аппаратура, сбор данных и методика их обработки. Портативный солнечный фотометр SPM [3] предназначен для измерений спектральной прозрачности атмосферы в экспедиционных и мобильных условиях. По данным измерений прозрачности атмосферы с помощью программных модулей информационной системы рассчитываются спектральные АОТ и влагосодержание атмосферы. При нормальных условиях эксплуатации и калибровочных данных, погрешность определения АОТ составляет 0.01-0.02, а влагосодержания $\sim$0.1 г/см^2.

Результаты. За 2017-2018 года посредством фотометра SPM были проведены измерения ослабления прямого солнечного излучения в 6 экспедициях: 2 на Горьковском водохранилище и 4 экспедиции на борту НИС «Профессор Водяницкий» и на океанографической платформе (пос. Кацивели). Эти замеры и использовались для сопоставления с многолетними данными СЕ-318.

Был проведен статистический анализ количества полученных данных за исследуемый период. Количество измерений фотометром SPM за 2017-2018 год составило 160 дней (740 часов). За период исследований изменчивости оптических свойств атмосферы 30.08 по 09.10.2018 были выявлены даты с завышенными относительно фоновых значениями аэрозольной оптической толщины: 31.08 и 1.09.2018. Основываясь на значениях измерений АОТ, данные обратных траекторий перемещения воздушных масс и на данные визуального наблюдения можно сделать вывод, что данный аэрозоль является аэрозолем

аридного происхождения. Значения аэрозольной оптической толщины на длине волны 500 нм (AOT(500)), полученные по результатам измерений ослабления прямой солнечной радиации с 31 августа по 1 сентября на борту НИС «Профессор Водяницкий» AOT(500) = 0,31 и AOT(500) = 0,3 соответственно, отличается от среднегодового значения AOT(500) = 0,16 за 2017 год и AOT(500) = 0,14 за 2018 год более, чем в 2 раза. Также были проанализированы данные AERONET [4] соседней Черноморской станции Eforie (Румыния). За 31.08 и за 01.09.2018 данные аэрозольной оптической толщины имели завышенные значения: AOT(500) = 0,35 и AOT (500) = 0,34 соответственно, тогда как среднегодовое значение аэрозольной оптической толщины на длине волны 500 нм для этой станции составляет 0,19, а среднемесячное (за август) составляет 0,18. Сравнить данные AOT(500) за 1.09.2018 со среднемесячным значением за сентябрь не объективно, т.к. с 3 сентября 2018 года эта станция прекратила осуществлять измерения аэрозольных характеристик в рамках международной программы AERONET. Такое увеличение значений AOT может быть обусловлено тем, что в период экспедиции по Черному морю по спутниковым данным радиометра CALIPSO и типизации аэрозоля [5] за исследуемые даты над Черноморским регионом преобладал пылевой и загрязненный пылевой аэрозоль.

Вывод: Фотометр SPM позволяет продолжить ряды наблюдений изменчивости AOT на станции Sevastopol и осуществлять исследования пространственной изменчивости основных оптических характеристик по данным измерений, полученных на океанографической платформе и судовых измерениях. Анализ результатов, полученных в 2017-2018 годах показал хорошую корреляцию полученных с помощью фотометра SPM основных оптических характеристик со значениями за предыдущие года.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-05-00140 (обработка спутниковых данных) и темы госзадания № 0827-2018-0002 (осуществление измерений характеристик атмосферного аэрозоля посредством фотометра SPM и их анализ). Автор благодарит Сакерина С.М. и Кабанова Д.М. за предоставление фотометра SPM и программное обеспечение к нему и Латушкина А.А. за помощь в проведении измерений в экспедициях.

Список литературы

1) Suetin V.S., Korolev S.N., Suslin V.V., Kucheryavyi A.A. Improved interpretation of the data of observations of the Black Sea by a SeaWiFS satellite instrument in autumn 1998 // Physical Oceanography. – 2008. . – vol. 18. № 2. – P. 106-115.

2) Dubovik O., King M.D. A flexible inversion algorithm for the retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements //J. Geophys. Res. – 2000. – vol. 105, № D16. – P. 20673-20696

3) Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А., Князев В.В. Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях // Оптика атмосферы и океана. 2012, Т. 25, № 12, с. 1112-1117.

4) Holben B.N., T.F. Eck, I. Slutsker, D. Tanre, J.P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J.A. Reagan, Y. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenu, I. Jankowiak, and A.Smirnov: AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization, Rem. Sens. Environ., 1998. vol. – 66, P. 1-16.

5) Omar, A. H., J.G. Won, D. M. Winker, S.C. Yoon, O. Dubovik, and M. P. McCormick Development of global aerosol models using cluster analysis of Aerosol Robotic Network (AERONET) measurements, J. Geophys. Res., –2005. – vol. 110, № D10S14, doi:10.1029/2004JD004874

ВАЛИДАЦИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ КОККОЛИТОФОРИДНЫХ ЦВЕТЕНИЙ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Каралли П. Г.[1,2], Копелевич О. В.[1], Салинг И. В.[1], Шеберстов С. В.[1], Паутова Л. А.[1], Силкин В. А.[1]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2] *Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Долгопрудный*

karalli.pg@phystech.edu

Ключевые слова: дистанционные методы, Баренцево море, кокколитофоридное цветение, биооптические характеристики, оценка ошибок.

Кокколитофоридные цветения (КЦ), занимающие площади в десятки и даже сотни тысяч км^2 во многих морях и океанах, относятся к числу климатически значимых явлений, их исследованию по-прежнему уделяется большое внимание, в том числе в Баренцевом море. Важнейшую роль в исследовании КЦ играют спутниковые наблюдения со сканеров цвета, причем для оценки климатически важных проявлений КЦ (влияние на баланс CO_2 в системе атмосфера-океан, увеличение альбедо водной толщи [1]) по спутниковым данным требуется определять количественные параметры КЦ, а не только их относительные изменения. Основные количественные характеристики цветений, рассчитываемые по спутниковым данным, — это концентрация взвешенного неорганического углерода (Particulate Inorganic Carbon — PIC) — стандартный продукт, доступный на сайте НАСА (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov), и концентрация клеток кокколитофорид N_{coc} [1, 2]. В данной работе последняя величина рассчитывается с помощью регионального алгоритма ИО РАН, предложенного в [3]. Как PIC, так и N_{coc} рассчитываются по значениям показателя рассеяния назад взвешенными частицами b_{bp}, в предположении, что эти значения целиком определяются клетками кокколитофорид и отделившимися кокколитами, а «некокколитофоридный» вклад в b_{bp} пренебрежимо мал. Показатель b_{bp} рассчитывается по спутниковым данным: соответствующий алгоритм ИО РАН описан в [4], описание алгоритма НАСА можно найти на сайте (http://oceancolor. gsfc.nasa.gov). Количественные расчеты параметров КЦ по данным дистанционных определений должны сопровождаться оценками точности полученных результатов. Сделать такие оценки можно только посредством прямого сопоставления рассчитанных значений с данными натурных измерений, так как теоретические оценки связаны с трудностями учета совокупности многих изменяющихся факторов. Данные для валидации были получены в 65-м и 68-м рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш»; измерения в Баренцевом море проводились 5—7.07.2016 г. и 23.07—16.08.2017 г. Выполненная валидация включала, во-первых, оценку ошибок атмосферной коррекции путем сопоставления значений Rrs, рассчитанных по спутниковым данным и данным судового спектрорадиометра. Во-вторых, — валидацию «дистанционных» значений показателя b_{bp} и концентрации N_{coc}, используя данные прямых определений концентраций клеток кокколитофорид и отделившихся кокколитов на отобранных пробах морской воды. В-третьих, сопоставление рассчитанных значений N_{coc} и PIC. Результаты работы показывают, что при благоприятных погодных условиях по спутниковым данным можно получать приемлемые оценки концентрации N_{coc}. Получено уравнение регрессии для связи между среднемесячными значениями N_{coc} и PIC для июля-августа с коэффициентом детерминации 0.82 и относительной ошибкой 18% для расчета PIC через N_{coc}.

Авторы выражают признательность зав. отделом оптики и биофизики моря МГИ РАН (Севастополь) проф. М. Е. Ли за предоставленную возможность использовать палубный спектрофотометр МГИ в 65-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Результаты исследований в 68-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» получены в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0002). Остальные результаты за счет средств РНФ (проект № 14-50-00095).

Список литературы

1) Копелевич О.В., Вазюля С.В., Григорьев А.В., Храпко А.Н., Шеберстов С.В., Салинг И.В. Проникновение солнечной радиации видимого диапазона в воды Баренцева моря в зависимости от облачности и кокколитофоридных цветений // Океанология. 2017. Т. 57. № 3. С. 445–453.

2) Копелевич О.В., Каралли П.Г., Лохов А.С., Салинг И.В., Шеберстов С.В. Перспективы улучшения точности оценки параметров кокколитофоридных цветений в Баренцевом море по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из косомоса. 2017. Т. 14. № 7. С. 267-279.

3) Копелевич О.В., Буренков В.И., Вазюля С.В., Шеберстов С.В. Проблемы индикации кокколитофоридных цветений по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 241–250.

4) Буренков В.И., Ершова С.В., Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Шевченко В.П. Оценка пространственного распределения взвеси в водах Баренцева моря по данным спутникового сканера цвета океана SeaWiFS // Океанология. 2001. Т. 41. № 5. С. 653-659.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕАНАЛИЗА NCEP/CFSR ДЛЯ АКВАТОРИИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Кессель А.С.

ООО "Фертоинг", г. Санкт-Петербург

a.kessel@fertoing.ru

Ключевые слова: реанализ NCEP/CFSR, температура воздуха, скорость ветра, Балтийское море.

Проведение инженерно-гидрометеорологических изысканий в рамках действующего в России законодательства предусматривает получение расчетных оперативных и экстремальных гидрометеорологических характеристик для района работ. Нередко возникает проблема отсутствия данных натурных исследований. Численное моделирование позволяет отчасти решить эти проблемы. Так, для получения расчетных параметров по ветровому режиму акватории могут быть использованы данные реанализа, а для характеристик ветрового волнения может быть получен ряд результатов расчета модели, входными данными ветрового режима для которой могут также служить данные реанализа. Как показано в статье [1] данные о приземном ветре из реанализа NCEP/CFSR, использованные в качестве вынуждающей силы, существенно улучшают качество воспроизводимых полей ветрового волнения и увеличивают корреляцию с рядами натурных измерений.

С целью более детального рассмотрения данных реанализа и оценки его применимости при получении расчетных характеристик, а также использования в качестве входных данных для моделирования ветрового волнения, был проведен анализ основных метеорологических параметров на акватории Балтийского моря (исключая Ботнический залив). В качестве источников были взяты данные наблюдений 58-ми береговых (в том числе островных) гидрометеорологических станций (ГМС), размещенные в открытом доступе на портале [2] и данные реанализа NCEP/CFSR с шагом сетки 0,25 $^\circ$ x0,25 $^\circ$. Для сравнения данные реанализа были интерполированы в точки местоположения ГМС. Для каждой ГМС были построены диаграммы рассеяния для u,v-компонент скорости ветра по срочным данным (дискретность 6 часов), температуры и относительной влажности воздуха, а также с осреднением за одни сутки и за пять суток, и получены параметры регрессии. Затем была рассчитана среднеквадратическая ошибка для u,v-компонент и модуля средней скорости ветра также с различной степенью осреднения исходных данных. Аналогичные расчеты были проведены также и для скалярных величин.

Полученные результаты схожи с результатами сравнения данных реанализа с данными, измеренными на дрейфующей станции «Северный полюс» [3]. Получена относительна хорошая согласованность между данными NCEP/ CFSR и наблюдаемым ветром. Значения среднеквадратичных отклонений для модуля скорости ветра составляют 3-4 м/с при анализе срочных данных и 1-2 м/с при пятисуточном осреднении). Измеренная в ходе стандартных метеорологических наблюдений температура воздуха находится в хорошем согласии с данными реанализа особенно для зимнего периода. Значения среднеквадратичных отклонений в летний период достигают 1 $^\circ$C, в зимний до 2,5 $^\circ$C. Данные относительной влажности хуже воспроизводятся реанализом.

Работа выполнена в рамках проведения инженерно-гидрометеорологических изысканий на акватории Балтийского моря.

Список литературы

1) Медведева А.Ю., Архипкин В. С., Мысленков С. А., Зилитинкевич С. С. Волновой климат Балтийского моря на основе результатов, полученных с помощью спектраль-

ной модели SWAN // Вестник Московского университета. – 2015. – Сер.5 География. – № 1.– С.12–22.

2) "Расписание погоды" [электронный ресурс] // Сайт. URL: https://rp5.ru/

3) Кулаков М.Ю., Макштас А.П., Шутилин С.В. Верификация данных реанализа NCEP/NCAR по результатам наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс» // Проблемы Арктики и Антарктики – №1 (95) – 2013 – С.88–95.

ПОТОК ТЕПЛА НА ГРАНИЦЕ МОРЕ-АТМОСФЕРА И ЗИМНЯЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ КОНВЕКЦИЯ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

Кивва К.К, Мурый Г.П., Серебренникова Е.А.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва

kirill.kivva@gmail.com

Ключевые слова: Каспийское море, теплообмен, зимнее выхолаживание, конвекция, перемешивание, продуктивность.

Каспийское море - уникальный замкнутый солоноватый водоём, имеющий большое хозяйственное значение, определяемое не только эксплуатацией углеводородных месторождений, но также рыбохозяйственным, транспортным и рекреационным потенциалом [1, 2]. Прямые исследования экосистем моря сосредоточены в основном на летнем сезоне. Однако основа первичного продуцирования, во многом определяющего и функционирование экосистем, и вертикальные потоки вещества, на акватории моря ежегодно закладывается именно зимой, когда происходит конвективное перемешивание водной толщи (зимняя вертикальная циркуляция - ЗВЦ), ведущее к возобновлению запаса минеральных форм биогенных элементов в продукционном слое. Исследования конвективного перемешивания в глубоководных котловинах Каспия начаты в середине XX в. [3], результат был получен только для нескольких лет. Цель данного исследования - характеристика потоков тепла на границе море-атмосфера в глубоководных котловинах Каспийского моря, их межгодовой изменчивости и её влияния на мощность слоя вод, охватываемого ЗВЦ.

Текущее исследование развивает подход, предложенный в работе [4]. Использованы данные о потоках тепла на границе море-атмосфера из метеорологического реанализа Национального центра прогноза окружающей среды и Национального центра атмосферных исследований США (NCEP/NCAR) за 1979-2017 гг. [5]. А именно: данные результирующего потока (с учётом отражения) коротковолновой и длинноволновой радиации, явного и скрытого турбулентного теплообмена. Суммарный поток тепла на границе море-атмосфера (B) получен суммированием этих компонент. Выбрано разрешение 1 сут. $\times$ 1,875° $\times$ 1,9047° по времени, широте и долготе. Данные интерполированы в точки наибольших глубин Среднего и Южного Каспия (41,60833° с.ш., 50,13667° в.д. и 39,04247° с.ш., 50,62636° в.д. соответственно), над которыми в большинстве рейсов выполнялись гидрологические станции. Общая теплоотдача за время зимнего выхолаживания (F_W, [МДж м$^{-2}$ сезон$^{-1}$]), определялась как суммарный поток тепла за сезон выхолаживания. За момент начала выхолаживания принимался последний день года, когда B был положительным (положительные значения потока соответствуют охлаждению поверхности моря), но сумма B за предшествующие 30 дней была отрицательной. Момент окончания выхолаживания определялся как первый день года с положительным значением B, сумма B для 30 следующих за которым дней была отрицательной. Расчёт мощности слоя, захватываемого ЗВЦ (H_{mix}, [м]), выполнен по методу Н.Н. Зубова [6] с учётом уравнения состояния воды и удельной теплоёмкости для Каспийского моря [7]. Использовано допущение, что вклад адвекции в изменение вертикальной термохалинной структуры вод во время сезона выхолаживания в наиболее глубоких местах Дербентской и Южнокаспийской котловин незначителен.

F_W над Дербентской котловиной в 1980-2017 гг. варьировал от 1300 до 3400 МДж м$^{-2}$ сезон$^{-1}$. Выхолаживание водной толщи в Среднем Каспии в указанные годы начиналось в период с конца августа по начало октября, в среднем - в начале сентября. Окончание выхолаживания в разные годы наблюдалось с конца января-начала февраля по середину марта, в среднем - в конце февраля. H_{mix} более тесно связана с датой начала выхолаживания и длительностью выхолаживания, чем с датой окончания выхолаживания.

H_{mix} в Дербентской котловине в 1999-2017 гг. варьировала в пределах 25-220 м. Соответствующие значения для Южнокаспийской котловины составили от 36 до 210 м. Наименьшие значения H_{mix} для обоих котловин получены для начала 2000-х годов, наибольшие - для 2008-2012 гг. При этом максимальное перемешивание ($>$ 200 м) в Южном Каспии наблюдалось в 2007 г., а в остальные годы, за которые имеются данные о термохалинной структуре, не превышало 110 м.

H_{mix} зависит не только от того, какое количество тепла было отдано морем в атмосферу, но и от особенностей вертикальной структуры вод до начала выхолаживания. Поэтому наиболее сильное зимнее выхолаживание не всегда соответствует наиболее глубокому перемешиванию. Изменчивость величины H_{mix} определяется изменчивостью суммарного выхолаживания только приблизительно на 20 %. Остальная часть межгодовой изменчивости H_{mix} определяется изменчивостью распределения температуры и солёности в водной толще до начала выхолаживания.

Исследование показало высокую степень межгодовой изменчивости H_{mix} как в Дербентской, так и в Южнокасписйкой котловинах. В годы с более глубоким перемешиванием большее количество минеральных форм биогенных элементов поступает на поверхность моря. Соответственно, в эти годы суммарная чистая первичная продукция увеличивается. В годы с незначительной ЗВЦ годовая первичная продукция должна быть минимальной. Оценки зависимости первичной продукции от глубины проникновения ЗВЦ будут получены при продолжении работ.

Список литературы

1) Чичерина О.В., Леонов А.В., Фащук Д.Я. Географо-экологический портрет Каспийского моря и современные тенденции изменения его экосистемы // Водные ресурсы. – 2004. – Т. 31. – № 3. – С.299-317.
2) Мирзоян А.В., Калмыков В.А., Канатьев С.В., Ходоревская Р.П. Современное состояние промысловых запасов и резервы промысла морских рыб Каспийского моря // Труды ВНИРО. – 2018. – Т. 171. – С. 141-156.
3) Косарев А.Н. Конвективное перемешивание // Каспийское море: Гидрология и гидрохимия. М.: Наука, 1986. – С. 177-182.
4) Кивва К.К., Архипкин В.С., Тужилкин В.С. Глубина проникновения конвекции и вентиляция глубоководных впадин Каспийского моря // Геология морей и океанов: Материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. М.: ГЕОС, 2011. 330-334.
5) Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1996. – Vol. 77. – Pp. 437-472.
6) Зубов Н.Н. Динамическая океанология. М.-Л.: Гидрометеоиздат, 1947. – 430 с.
7) Скороход А.И., Цыцарин А.Г. Об уравнениях состояния каспийских вод // Тр. ГОИН. – 1995. – Вып. 3. – С. 63-72.

НАБЛЮДЕНИЕ ВИХРЕЙ В ПРОЛИВЕ ФРАМА И ВБЛИЗИ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ

Козлов И.Е.[1,2], **Петренко Л.А.**[1], **Плотников Е.В.**[1]

[1] *Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

[2] *Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург*

igor.eko@gmail.com

Ключевые слова: Океанские вихри, спутниковые радиолокационные изображения, пролив Фрама.

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию механизмов перемешивания и переноса тепла в верхнем слое Северного Ледовитого океана (СЛО) [1]. Результаты экспериментальных исследований и численного моделирования с высоким пространственным разрешением показывают важную роль мезо- и субмезомасштабных вихрей в этих процессах [2-4].

В данной работе представлены результаты наблюдений вихревых структур в проливе Фрама и вблизи арх. Шпицберген, полученные на основе анализа изображений спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) Envisat ASAR за летне-осенний период 2007 г и Sentinel-1 за отдельные даты 2016-2018 гг. Эти данные продемонстрировали свою эффективность при исследовании различных динамических процессов в арктических морях России [2, 5, 6].

Район исследований представляет собой область сложного взаимодействия выносимого Восточно-Гренландским течением из Арктического бассейна тающего льда и холодных распресненных вод с более теплыми и солеными атлантическими водами Западно-Шпицбергенского течения.

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 и в прикромочной зоне льда. Рассмотрено влияния ветра на процесс генерации вихревых структур в прибрежной зоне и у кромки дрейфующих льдов. Оценено относительное время «жизни» отдельных вихрей. На основе близких по времени последовательных РСА изображений сделана оценка орбитальной скорости вихрей, а также скорости их перемещения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов РНФ №18-77-00082, РФФИ №18-35-20078 мол_а_вед, а также в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002.

Список литературы

1) Polyakov, I.V. Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean / I.V. Polyakov, A.V. Pnyushkov, M.B. Alkire, I.M. Ashik, T.M. Baumann, E.C. Carmack, I. Goszczko, V.V. Ivanov, T. Kanzow, R. Krieshfield, R. Kwok, A. Sundfjord, J. Morison, R. Rember, A. Yulin // Science. –2017. – Vol. 356. – 6335. – P. 285–291.

2) Зимин, А.В. Субмезомасштабные вихри в Белом море по данным спутниковых радиолокационных измерений / А.В. Зимин, О.А. Атаджанова, Д.А. Романенков, И.Е. Козлов, Б. Шапрон // Исследование Земли из космоса. – 2016. – №1–2. – С. 129–135.

3) Hattermann, T. Eddy-driven recirculation of Atlantic Water in Fram Strait / T. Hattermann, P.E. Isachsen, W.-J. von Appen, J. Albretsen, A. Sundfjord // Geophysical Research Letters. – 2016. – Vol. 43. – 7. – P. 3406–3414.

4) Wekerle, C. Eddy-resolving simulation of the Atlantic Water circulation in the Fram Strait with focus on the seasonal cycle / C. Wekerle, Q. Wang, W.-J. von Appen, S. Danilov, V. Schourup-Kristensen, T. Jung // Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2016. – Vol. 122. – P. 8385–8405.

5) Атаджанова, О.А. Наблюдение малых вихрей в Белом, Баренцевом и Карском морях по данным спутниковых радиолокационных измерений / О.А. Атаджанова, А.В. Зимин, Д.А. Романенков, И.Е. Козлов // Морской гидрофизический журнал. – 2017. – Т. 11. – № 2. – С. 338-345.

6) Kozlov, I.E. Internal solitary waves in the Laptev Sea: first results of spaceborne SAR observations / I.E. Kozlov, E.V. Zubkova, V.N. Kudryavtsev // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2017. – Vol. 14. – 11. – P. 2047–2051.

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ В АРКТИКЕ: СИНТЕЗ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Козлов И.Е.[1,2], **Фер И.**[3], **Черных Д.В.**[4], **Зубкова Е.В.**[2]

[1]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

[2]*Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург*

[3]*Geophysical Institute, University of Bergen, Bergen, Norway*

[4]*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток*

igor.eko@gmail.com

Ключевые слова: внутренние волны, спутниковая радиолокация морской поверхности, Северный Ледовитый океан, вертикальное перешивание, приливы.

В работе представлены результаты исследования короткопериодных внутренних волн, полученные на основе совместного анализа спутниковых радиолокационных наблюдений и контактных измерений в отдельных районах Арктики. Основу для анализа составили измерения спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой Envisat ASAR и Sentinel-1 A, B за летний период 2007-2018 гг. По данным спутниковых наблюдений выделены районы, где, согласно данным прямых измерений, наблюдаются интенсивные внутренние волны больших амплитуд. Приводятся результаты прямых измерений, выполненных летом 2018 г. к северу от арх. Шпицберген, позволивших зарегистрировать внутренние волны рекордных амплитуд с высотой колебаний до 40-50 м. Показано, что прохождение внутренних волн большой амплитуды приводит к интенсивному вертикальному перемешиванию как в слое пикноклина, так и в более глубоких слоях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-35-20078 мол_а_вед
а также в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ В РАЙОНЕ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН КАРСКОГО МОРЯ

Коник А.А.[1,2], **Зимин А.В.**[1]

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

[2] *Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург*

konikrshu@gmail.com

Ключевые слова: температура поверхности моря, градиент температуры, Стоковая и Прикромочная фронтальные зоны, фронтальные разделы, Карское море.

Исследование фронтальных зон в океане важно, как для развития фундаментальных представлений об изменчивости климата Мирового океана, так и для решения прикладных задач, связанных, например, с освоение биоресурсов .

За последнее десятилетие в Арктике происходят значительные климатические изменения, которые, прежде всего, связаны с сокращением многолетнего ледяного покрова, аномалиями температуры воды и воздуха, влияющие, в том числе и на фронтальные зоны Карского моря [1].

Многообразие выделенных в Карском море сезонных фронтов [2] формирует две обширные фронтальные зоны, которые наиболее интересны с точки зрения их генезиса. Первая зона находится в северной части моря, и далее мы будем называть её Прикромочная, а вторая зона располагается в южной части моря, и далее будем называть её Стоковая. Прикромочная фронтальная зона, является сезонной и формируется за счет течения Персея и течения Святой Анны [3], а также под влиянием таяния льдов. Стоковая фронтальная зона также прослеживается только в теплый период года, так как всецело зависит от речного стока Оби и Енисея [2]. В работе [4] представлена классификация речного стока в Карском море. На основе данной классификации в работах [4,5] Стоковый фронт фиксируется с помощью прямых измерений температуры поверхности вод. Однако систематических сведений о динамике изменчивости и внутренних характеристиках обоих фронтов нет до сих пор.

Целью данной работы являлось систематическое описание особенностей внутримесячной и внутрисезонной динамики Стоковой и Прикромочной фронтальных зон Карского моря и их основных фронтов в годы с минимальной площадью ледового покрова.

В данной работе для исследования характеристик фронтальных зон в качестве исходных данных используется температура из модели GHRSST OSTIA Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis с июля по сентябрь 2007 и 2011 года.

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 использовались три меридиональных разреза в западной, центральной и восточной частях моря. Выделенные максимальные градиенты выбирались за положение основного фронтального раздела внутри фронтальной зоны. По данным трех разрезов также определялись: средняя ширина фронтальной зоны (производился расчет расстояния по координатам между двумя максимумами градиентов) и максимальный градиент ТПО на фронте по месяцам и декадам.

В результате работы получены среднемесячные и среднедекадные оценки характеристик фронтальных зон в теплый период года. Средний градиент температуры при декадном осреднении данных внутри Стоковой фронтальной зоны составляет 0,029 °С/км, при

ширине около 137 км. В Прикромочной фронтальной зоне - 0,027 °С/км при ширине около 104 км. В сентябре у Прикромочного, а в августе у Стокового фронтов отмечается пик внутрисезонной изменчивости положения, очевидно связанный с процессами синоптического характера, таянием арктического льда и ветровой динамикой.

Установлено, что в рассматриваемые годы положение Стокового фронта хорошо согласуется с западным типом распространения речных вод [4]. Результат обработки экспедиционных данных научно-исследовательской экспедиции №59 на НИС «Академик Мстислав Келдыш» показал, что фронтальные зоны были зарегистрированы на втором и четвертом разрезе и они хорошо совпадают с положением Стокового среднемесячного фронта в сентябре 2011 года, выделенным по представленной в работе методике. Стоит отметить, что особенностью выделения Стокового фронта является получение его местоположения по данным ТПМ, а не по данным солености или хлорофиллу «а», как это делается в других работах [4,5].

Автор работы выражает особую благодарность за предоставление данных измерений ТПО 59-ой научно-исследовательской экспедиции на НИС «АМК» Зацепину Андрею Георгиевичу.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме №0149-2019-0015 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натурных экспериментальных работ».

Список литературы

1) Алексеев Г.В., Радионов В.Ф. Изменение климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики 2015. №1 (103). С. 32-41.

2) Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Баранов В.И., Кременецкий В.В., Недоспасов А.А., Поярков С.Г., Очередник В.В. О ветровом механизме трансформации линзы опресненных речным стоком вод в Карское море // Океанология. 2017. Т. 57. № 1. С.5-12.

3) Сергеева В.М., Суханова И.Н., Дружкова Е.И., Сажин А.Ф., Демидов А.Б., Мошаров С.А., Кременецкий В.В., Полухин А.С. Структура и распределение фитопланктона в глубоководных районах северной части Карского моря // Материалы научной конференции «Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований». Москва, 27–29 мая 2015 года. М.: АПР, 2015. С.111–115.

4) Полухин А.А. Формирование гидрохимической структуры вод Карского моря под влиянием континентального стока. Дис. . . . канд. Географических наук: 25.00.28. М. 2017. 149 с.

5) Буренков В.И., Гольдин Ю.А., Артемьев В.А., Шеберстов С.В. Оптические характеристики вод Карского моря по судовым и спутниковым наблюдениям. Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С.716–729.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЯРКОСТИ МОРЕЙ И ПРЕСНЫХ ВОДОЕМОВ И ФАКТОРЫ СРЕДЫ, ОБУСЛАВЛИВАЮЩИЕ ЕГО ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Корчёмкина Е.Н., Воронцов К.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

lisenik@mail.ru

Ключевые слова: коэффициент яркости моря, растворенное органическое вещество, фитопланктон, взвесь, Черное море, пресноводные водоемы.

Освоение и рациональное использование Мирового океана напрямую сопряжено с необходимостью сохранения его экологического состояния. Во многом оно определяется антропогенной деятельностью, последствия которой, нарастая и аккумулируясь, переносятся при движении водных масс от внутренних водоемов к морям и океанам. Постоянный поток воды несет в себе огромные массы взвешенных частиц минерального и органического происхождения, растворенные химические соединения и бытовой мусор. Совокупный вклад их продолжительного воздействия на водную среду приводит к значительному ухудшению качества воды с точки зрения гидрохимии, а также к формированию благоприятных условий для обильного цветения воды, сопровождаемого выделением опасных токсинов.

Проблема регулярного оперативного мониторинга водной среды решается с помощью космических сканеров цвета, являющихся на сегодняшний день самым востребованным инструментом оценки биопродуктивности водоемов. Успех такой оценки зависит от качества выполнения двух задач: атмосферной коррекции и биооптического алгоритма, обладающего ярко выраженной региональностью. Стандартные подходы решения каждой из этих задач изложены в работах [1] и [2] соответственно. На их основе возможно достоверное определение концентраций хлорофилла «а», растворенного органического вещества (РОВ) и минеральной взвеси только для вод открытого океана (воды типа 1). При использовании этих же алгоритмов для вод типа 2 обычно наблюдается относительно низкая точность восстановления концентраций оптически активных компонентов [3].

Известно, что ключевой характеристикой, на основе которой строится решение обратной задачи спутникового мониторинга водоемов, является спектральный коэффициент яркости водной толщи. Яркость выходящего из водной толщи излучения в основном формируется в фотическом слое и зависит от концентрации взвешенных частиц (минеральная взвесь, клетки фитопланктона, детрит) и РОВ. Соотношение вклада этих веществ в суммарное поглощение и рассеяние определяет не только величины коэффициента яркости, но и форму его спектра.

В данной работе рассматриваются особенности спектров коэффициента яркости, полученных как по спутниковым, так и по контактным измерениям, характерные для прибрежных морских вод различных районов, а также для пресноводных водоемов.

В чистых водах, например, Средиземного моря (данные получены в рейсе НИС «Bilim» в 1999 году [4]) рассеяние и поглощение чистой водой обуславливают резкое уменьшение коэффициента яркости с ростом длины волны, а влияние поглощения органическими примесями, вследствие малого их количества, проявляется только в ближней УФ-области. Максимум спектра, если он наблюдается, проявляется в диапазоне 390-400 нм и составляет около 3%. С увеличением продуктивности воды, т.е. с появлением большего количества фитопланктона и продуктов его жизнедеятельности (РОВ), максимум спектра будет смещаться в сторону более длинных волн. Спектры, полученные для Черного моря в июле 2007 и 2010 гг. [5] и Горьковского водохранилища [6] в августе 2016 г. имеют максимумы,

составляющие около 1,5%, в среднем на 490 и 560 нм соответственно. При этом, поскольку спектр поглощения неживой органики (РОВ и детрита) представляется монотонно убывающей функцией, а спектр поглощения пигментами имеет максимумы и минимумы, то вследствие различного соотношения данных компонентов форма спектра коэффициента яркости может существенно измениться. Наличие в воде неживой органики вызывает более сильный монотонный спад коэффициента яркости в сторону коротких волн, тогда как большие концентрации пигментов фитопланктона приводят к появлению провала в области 440 нм. С другой стороны, повышение содержания минеральной взвеси приводит к практически равномерному росту значений коэффициента яркости без изменения формы, что можно наблюдать во время сильного цветения микроводорослей кокколитофорид в 2012 [5] и 2017 гг., приводящего к росту количества минеральной взвеси в воде. В Черном море в этих условиях были получены значения максимума коэффициента яркости до 6%.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ №17-77-10120 (исследования на Горьковском водохранилище).

Список литературы

1) Wang M. (ed.) Atmospheric Correction for Remotely-Sensed Ocean-Colour Products. Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group. IOCCG, Dartmouth, Canada. 2010.

2) Lee Z.-P. (ed.) Remote Sensing of Inherent Optical Properties: Fundamentals, Tests of Algorithms, and Applications. Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group. IOCCG, Dartmouth, Canada. 2006.

3) Kopelevich O.V., Burenkov V.I., Ershova S.V., Sheberstov S.V., Evdoshenko M.A. Application of SeaWiFS data for studying variability of bio-optical characteristics in the Barents, Black and Caspian Seas // Deep-Sea Research II. 2004. Vol. 51. P. 1063–1091.

4) Sancak S., Besiktepe S.T., Yilmaz A., Lee M., Frouin R. Evaluation of SeaWiFS chlorophyll-a in the Black and Mediterranean Seas // Int. J. Remote Sens. 2005. Vol. 26. №10. P. 2045–2060.

5) Корчёмкина Е.Н., Ли М.Е. Аномальные оптические характеристики прибрежных вод Черного моря в июле 2012г. и их связь с концентрацией минеральной взвеси в воде // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т. 10. №1. С. 39–43.

6) Мольков А.А., Калинская Д.В., Капустин И.А., Корчёмкина Е.Н., Осокина В.А., Пелевин В.В. О перспективах дистанционной оценки гидробиооптических характеристик вод внутренних пресных водоемов по результатам экспедиций на Горьковском водохранилище в 2016 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2017. №2. С. 59–67.

РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕЧНЫХ ПЛЮМОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Коршенко Е.А.[1], **Фомин В.В.**[1], **Дианский Н.А.**[1,2,3]

[1] *Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва*

[2] *МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

[3] *Институт вычислительной математики РАН, г. Москва*

kekapon@gmail.com

Ключевые слова: численное моделирование, морская циркуляция, Черное море, речной плюм.

В работе проводится апробация модели морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) при расчете распространения загрязняющих веществ в виде пассивной примеси. Были проведены эксперименты по моделированию распространения плюмов рек северо-восточного побережья Черного моря (ЧМ) в районе Большого Сочи (БС). Ранее в рамках совместной работы [1] с ИО РАН (Институт Океанологии Российской Академии Наук) уже исследовался вынос, распространение, перемешивание и оседание взвешенных и растворенных веществ, поступивших в прибрежную зону северо-восточной части ЧМ с материковым стоком под воздействием среднесезонных и паводковых условий с помощью лагранжевой модели STRiPE, которая в качестве входных гидрологических данных использует результаты расчетов по модели INMOM, реализованной для акватории ЧМ со сгущением сеточной области в районе БС.

Для расчета течений за 2011 год реализована версия гидродинамической модели морской циркуляции INMOM [2] для всей акватории ЧМ со сгущением сеточной области в прибрежной области БС. Для реализации сгущения использовалась сферическая система координат с положением одного из полюсов в точке с географическими координатами 40.205^0E и 43.84^0N в районе города Сочи. Шаги по пространству составляют порядка 200 м в районе БС и доходят до 4.5-5 км на западе ЧМ. Сеточная область в горизонтальной плоскости содержит 642x715 узлов. По вертикали задаются 20 неравномерно распределенных по глубине σ-уровней.

Для верификации модели INMOM было проведено сравнение общего количества рассчитанного взвешенного вещества на поверхности ЧМ в районе БС как с результатами расчета по модели STRiPE [1], так и со спутниковыми данным EnviSat MERIS L1 (http://merisfrs-merci-ds.eo.esa.int/merci и ftp://cmems.isac.cnr.it).

Моделирование распространения речных плюмов с помощью модели морской циркуляции INMOM со сгущением в окрестности БС проводилось в несколько этапов. На первом этапе был проведен расчет гидродинамических характеристик на период с 1 января по 25 мая 2011 г. Для крупных рек ЧМ, среди которых были Дунай, Днестр, Днепр, Риони, Ингури, Ешильырмак, Кызылырмак, Сакарья и малых рек БС (Мзымта, Кудепста, Мацеста, Сочи, Хоста) задавались реальные климатические расходы стоков и водообмен через Керченский пролив и через пролив Босфор на основе имеющихся в открытом доступе данных [3]. В результате проведенного расчета была получена контрольная точка с данными для второго этапа моделирования - расчета общего количества взвешенного вещества, поступающего со стоком малых рек БС (Пшада, Вулан, Джубга, Шапсухо, Нечепсухо, Ту, Небуг, Агой, Туапсе, Шепси, Аше, Псезуапсе, Дагомыс, Мацеста, Хоста, Кудепста, Сочи, Шахе, Мзымта, Псоу).

Так, для периода 25 мая-6 июля 2011 года (весенне-летнее половодье), во время которого несколько раз происходило формирование дождевых паводков на протяженных участках побережья, были рассчитаны объемы стока пресной воды и терригенной взвеси

из 20 малых рек исследуемого региона. Значения стоков крупных рек на данном этапе задавались аналогично первому этапу, в качестве стока рек Сочи и Мзымты использовались ежедневные для данного периода данные натурных измерений (http://gis.vodinfo.ru/), на основе которых восстанавливались используемые среднесуточные значения расходов остальных малых рек [4]. Среднесуточные значения общего количества взвешенного вещества. выносимого вместе со стоком рек и учитываемого при расчете, определялись на основе спутниковых данных и данных натурных измерений [1].

В целом, результаты расчета переноса загрязнений по модели STRiPE (Лагранжев подход) и по методу (схеме) направленных разностей (Эйлеров подход) хорошо согласованы. Однако, как и ожидалось, в Лагранжевом подходе концентрации ЗВ менее «размазаны» и имеют бо'льшую схожесть со спутниковыми наблюдениями. Это связано с тем, что схема первого порядка направленных разностей обладает излишней схемной диффузией. Поэтому в дальнейшем, при применении Эйлерова подхода, предполагается использовать схему более высокого порядка и/или перспективную схему Кабаре [5]. Кроме того, в модели STRiPE после момента выноса частиц из устья реки перенос ЗВ определяется внутренней динамикой речного плюма, а уже после после достижения зоны перемешивания речных и морских вод, горизонтальные движения определяются течениями, рассчитанными по модели INMOM, а вертикальные перемещения определяются вертикальной диффузией и скоростью осаждения. Следует отметить, что ЗВ могут уходить на глубину и за счет излишней схемной вертикальной диффузии в методе Эйлера, что также может уменьшать их концентрацию.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 18-35-00512, № 17-05-41101.

Список литературы

1) Osadchiev A. and Korshenko E. Small river plumes off the northeastern coast of the Black Sea under average climatic and flooding discharge conditions // Ocean Sci. – 2017. – V. 13. – P. 465-482. doi:10.5194/os-13-465-2017.

2) Дианский Н.А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия. – М.: Физматлит, 2013. – 272 с.

3) Джаошвили Ш.В. Реки Черного моря. –Тб.: Европейское агентство по охране окружающей среды, Технический отчет № 71, 2003. – 186 с.

4) Osadchiev A. A method for quantifying freshwater discharge rates from satellite observations and Lagrangian numerical modeling of river plumes // Environ. Res. Lett. – 2015. – 10. – №8. doi: 10.1088/1748-9326/10/8/085009

5) Головизнин В.М., Самарский А.А. Некоторые свойства разностной схемы "Кабаре" // Журнал Математического моделирования. – 1998. – 10, №1. – С. 101-116.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НАД КРЫМСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ

Шокуров М.В., Краевская Н.Ю.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

krayevskaja@gmail.com

Ключевые слова: бризовая циркуляция, гравитационное течение, численное моделирование, атмосферная циркуляция, Крымский регион.

Бризовая циркуляция является важным атмосферным процессом, влияющим на погоду и климат прибрежных регионов [1].

Наиболее часто используемыми методами исследования бриза являются: анализ данных метеостанций, численное моделирование, спутниковые наблюдения. В статье [2], например, использовались два метода исследования бриза для Кантабрийского берега Испании. Для Крымского полуострова такого детального исследования не проводилось, за исключением численного моделирования в работе [3].

Настоящая работа посвящена описанию особенностей бриза и возникающей из-за него конвекции. Задачей работы является численное моделирование реальной бризовой циркуляции с использованием мезомасштабной модели с целью детального описания всех региональных географических особенностей бриза в Крыму. Второй инструмент, используемый для исследования − спутниковые данные.

Моделирование выполнялось с использованием численной мезомасштабной модели WRF-ARV, что дало возможность рассмотреть особенности развития бриза в течении суток с высоким пространственным разрешением. В модели WRF-ARV используется система негидростатических уравнений, записанных для сжимаемой атмосферы. Для построения конечных разностей по времени и пространству используются схемы высоких порядков точности. В модели широкий набор опций для описания физических процессов в пограничном планетарном слое, радиации, микрофизики, кучевой конвекции и других атмосферных процессов. В целом, модель предназначена для моделирования мезомасштабных явлений с высоким разрешением по времени и пространству.

Вторым источником информации о бризовой циркуляции над Крымом являлись данные спутников MODIS Terra и MODIS Aqua. Использовались данные в видимом диапазоне, с разрешением по пространству 250 м. Указанные спутники проходят над одной и той же точкой поверхности с разницей в 3 часа, что дает возможность наблюдать бризовую циркуляцию в развитии. Индикатором бриза на спутниковых снимках является характерная кучевая облачность, образующаяся перед бризовым фронтом.

При рассмотрении реальной бризовой циркуляции можно отметить, что бриз в нижней части атмосферы представляет гравитационное течение холодного морского воздуха, распространяющегося над более теплой поверхностью суши. Над гравитационным течением существует обратная ветвь ячейки циркуляции, направленная в сторону моря. Обычно, дневной бриз распространяется на 50 -100 км вглубь суши. Из-за того, что Крымский полуостров со всех сторон окружен морями, формируются несколько гравитационных течений, которые продвигаются от берега и образуют область конвергенции при сближении. При столкновении гравитационных течений возникают вертикальные движения (подъем), что способствует формированию глубокой кучевой конвекции в центре Крымского полуострова. Указанное явление подтверждается как численным моделированием, так и спутниковыми наблюдениями.

Во второй половине дня градиент температуры между сушей и морем ослабевает, дневная бризовая циркуляция постепенно затухает и сменяется ночным бризом. Ночной бриз

имеет меньшую интенсивность из-за более слабых градиентов температуры над сушей и морем. Поэтому обнаружение ночного бриза в реальной ситуации является трудной задачей. Тем не менее в данной работе были выделены и описаны особенности ночного бриза в Крымском регионе.

Таким образом, в данной работе выделены особенности формирования бризовой циркуляции и связанной с ней облачности над Крымским полуостровом. Результаты численного моделирования достаточно хорошо согласуются со спутниковыми наблюдениями.

Работа выполнена в рамках темы Морского гидрофизического института № 0827-2018-0001 «Взаимодействие океана и атмосферы».

Список литературы

1) Simpson J. E. Sea breeze and local winds. – Cambridge University Press, 1994. – 234 p.
2) Arrilaga J. et al. A characterisation of sea-breeze events in the Cantabrian coast(Spain) from observational data and WRF simulations // Atmospheric Research. – 2016. – Vol. 181. – P. 265 – 280.
3) Ефимов В.В., Барабанов В.С. Крупин А.В. Моделирование мезомасштабных особенностей атмосферной циркуляции в Крымском регионе Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2012. – № 1. – С. 64 – 74.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛН РОССБИ В ТИХОМ ОКЕАНЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ УРОВНЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ

Кубряков А.А., Белоненко Т.В., Станичный С.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

arskubr@ya.ru

Ключевые слова: волны Россби, спектральный анализ, Тихий океан, фазовая скорость, период.

На основе доступных спутниковых измерений уровня, температуры и солености в период 1992-2015 гг. исследуются пространственно-временные характеристики волн Россби в Тихом океане. Волны Россби вызывают существенные колебания зональных фронтов различных параметров океана и, поэтому, отчетливо видны в поле меридиональных градиентов уровня (Lx) (пропорциональных меридиональным течениям Vy), меридиональных градиентов температуры (Tx) и солености (Sx) (Belonenko et al., 2018). В работе на основе спектрального анализа полей Vy, Tx и Sx исследуется пространственная изменчивость периода, фазовой скорости, размеров волн Россби. Полученные распределения фазовой скорости достаточно хорошо совпадают с теоретическими расчетами линейной скорости бароклинных волн Россби, полученными по данным из работы (Chelton, 1998). Отмечена существенная зональная изменчивость фазовой скорости волн Россби, вызванная особенностями термохалинной структуры океана. Показано, что период волн Россби меняется с широтой более, чем в 50 раз . Например, на широте 50° их период составляет $\sim$ 5 лет (т.е. одна волна проходит точку за пять лет), а на 4° период равен 1/30 года (т.е. проходит 30 волн в год). Минимальные отмеченные скорости волн составляют $\sim$ 2 мм/с, т.е. для пересечения Тихого океана им требуется примерно 100 лет. Вблизи экватора скорость и частота волн резко возрастают. В то же время размеры волн с широтой меняются значительно меньше, чем их период, от величин 200 км в высоких широтах (50°) до 1000 км в низких широтах. Таким образом, изменения периода волн Россби оказывают значительно большее влияние на зональную изменчивость фазовой скорости волн. Впервые даны оценки пространственного распределения меридионального размера волн Россби. В работе рассчитана пространственно-временная изменчивость спектральной энергии волн Россби, исследована её межгодовая изменчивость и связь с фоновыми градиентами температуры, солености и уровня. На основе проведенного анализа даны оценки влияния волн Россби на изменчивость температуры и солености (Belonenko et al., 2018).

Работа выполнена при поддержке РФФИ 19-05-00479 а, спутниковые данные получены в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0002.

Список литературы

1) Belonenko T. V., Bashmachnikov I. L., Kubryakov A. A. Horizontal advection of temperature and salinity by Rossby waves in the North Pacific //International Journal of Remote Sensing. – 2018. – Т. 39. – №. 8. – С. 2177-2188.

2) Chelton D. B. et al. Geographical variability of the first baroclinic Rossby radius of deformation //Journal of Physical Oceanography. – 1998. – Т. 28. – №. 3. – С. 433-460.

ДИАПИКНИЧЕСКИЕ ПОТОКИ ТЕПЛА И СОЛИ В ЧЕРНОМ МОРЕ - ПРОТИВОПОЛОЖНАЯ РОЛЬ ЗИМНЕГО ВЫХОЛАЖИВАНИЯ И ВЕТРОВОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Кубряков А.А., Станичный С.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

arskubr@ya.ru

Ключевые слова: диапикнический обмен, перемешивание, турбулентность, штормовые события, зимнее выхолаживание.

На основе исторических гидрологических измерений за 1985-2017 гг. и данных буев Арго за 2004-2017 гг. изучается диапкинический обмен теплом и солью в центральной части Черного моря. Для этого исследуется межгодовая изменчивость температуры и аномалии солености на разных изопикнических горизонтах. На основе анализа выделяются два основных типа событий, которые существенно влияют на диапикнические потоки в бассейне.

Первое, выхолаживание поверхности в суровые зимы приводит к проникновению холодных вод (отрицательных аномалий температуры) в глубинные изопикнические слои. Поверхностные воды, проникающие вглубь моря, имеют пониженную соленость и поэтому этот процесс сопровождается изопикническим опреснением. Интенсивное выхолаживание в Черном море наблюдалось по данным буев Арго в 2006, 2012 и 2017 г. Одно из наиболее сильных событий зафиксировано в 2012 г. Зимой этого года воды с температурой 6,5° достигли изопикны 1015 кг/м^3 (60-80 м). В нижележащих слоях до изопикн 1015.4 кг/м3 (80-100 м) также было зафиксировано снижение температуры на 0.1-0.2°. Это выхолаживание сопровождалось значительным уменьшением солености верхнего слоя (0-80 м) на 0.2 psu. Отрицательные аномалии соли и тепла после этого события продолжали распространятся вглубь бассейна в течение нескольких лет. К зиме 2013 г холодные воды с температурой 8.5° и отрицательные аномалии солености (0.05 psu) достигли изопикны 1015.6 кг/м^3 (100-120 м). Через 2 год после зимы 2012 г., осенью 2014 г., аномалии солености достигли максимально плотных слоев 1015.8 кг/м^3, т.е. достигли субкислородной зоны бассейна. Это проникновение является результатом диапикнического обмена ниже основного пикноклина. На основе оценок скорости проникновения сигнала в нижележащие слои даны оценки вертикального распределения коэффициента турбулентного обмена в различных изопикнических слоях бассейна в различные сезоны.

Холодная и пресная аномалия после зимы 2012 г. наблюдалась вплоть до начала зимы 2015 г. В этот период отмечено резкое проникновение теплых и соленых вод вглубь бассейна. Теплые воды с температурой $> 9.2°$ доходят до изопикны 1014.7 кг/м^3, а воды с температурой более 8.6°C распространяются к весне 2015 г. до изопикн 1015.4 кг/м^3. В этих же слоях резко увеличивается соленость более, чем на 0.1 psu. Анализ показал, что такие события связаны с действием сильных штормовых ветров в теплый период года (весной-осенью). Механическое ветровое перемешивание вовлекает теплые поверхностные воды вглубь бассейна. Этот отрицательный поток плавучести компенсируется проникновением глубинных соленых вод в результате ветрового апвеллинга и перемешивания, свяанного с механическим воздействием и вертикальным сдвигом инерционных течений. Таким образом в верхнем деятельном слое наблюдается повышение температуры и солености. Как и в предыдущем случае после шторма сигнал продолжает проникать в глубину. При этом сигнал аномалии солености может проникать в очень глубокие слои, доходя до изопикн 1016.6 кг/м^3 через полгода после события (летом 2016 г.), т.е. до глубин превышающих 200 м. Таким образом, штормовые ветра могут влиять и на обмен в анаэробной зоне Черного

моря, что может вызывать значимые изменения в балансе химических реакций в этой важной для бассейна области.

Подобные события существенно влияют на халинную стратификацию бассейна, определяющую стабильность верхнего слоя вод Черного моря. Солнечный прогрев в теплый период значительном образом компенсирует термические изменения верхнего слоя вод. Потоки соли менее велики и халинные изменения существуют дольше. Интенсивная конвекция в суровые зимы опресняет верхний слой, увеличивая стратификацию в бассейне. Это ослабевает перемешивание в последующие после холодных лет годы, что может вызвать уменьшение вертикального вовлечения биогенов, которое, в свою очередь, во многом определяет интенсивность цветения фитопланктона [1]. Кроме того, рост стратификации снижает газообмен и поступление кислорода в нижние слои в последующие после холодных лет годы, что может приводить к подъему верхней границы сероводородной зоны. Интенсивные шторма, напротив, ослабевают халинную стратификации в верхнем деятельном слое [2]. Такие события способны усиливать вертикальный обмен биогенами и вызывать аномальные цветения фитопланктона, например, цветение кокколитофорид в 2017 г. [3].

Анализ изменчивости диапикнического обмена выполнено в рамках гранта 19-05-00479, обработка и получение данных АРГО выполнено в рамках гос. задания 0827-2019-0002.

Список литературы

1) Kubryakova E. A., Kubryakov A. A., Stanichny S. V. Impact of Winter Cooling on Water Vertical Entrainment and Intensity of Phytoplankton Bloom in the Black Sea //PHYSICAL OCEANOGRAPHY. – 2018. – Т. 25. – №. 3. – С. 191.

2) Кубряков А. А., Станичный С. В. Влияние вертикального вовлечения и динамики вод на возникновение аномально сильных цветений кокколитофорид в Чёрном море. // III Всероссийская конференция молодых учёных «Комплексные исследования мирового океана (КИМО-2018)». Санкт-Петербург, СПбГУ, 21–25 мая 2018 г. Процессы в геосредах. – № 3(17). – 2018. – С. 70-72.

3) Kubryakov A. A., Zatsepin A. G., Stanichny S. V. Anomalous summer-autumn phytoplankton bloom in the Black Sea driven by several strong wind events// Journal of Marine Systems. - 2019 (accepted manuscript).

АПРОБАЦИЯ АДАПТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ WAVEWATCH III В УСЛОВИЯХ КОРОТКИХ РАЗГОНОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Кузнецова А.М., Байдаков Г.А., Досаев А.С., Ваха-Пиикkио О., Туоми Л., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

umnyaginaam@yandex.ru

Ключевые слова: Численное моделирование, волновая модель, WAVEWATCH III, прибрежная зона, короткие разгоны.

В предыдущих работах [1, 2] авторами была предложена адаптация волновой модели WAVE-WATCH III (WW3) [3] в условиях коротких разгонов внутренних водоемов. Было сделано предположение об эффективности применения адаптированной модели в условиях малых разгонов прибрежных зон. Для проверки данного предположения были произведены расчеты в прибрежной зоне Финского залива около г. Хельсинки. Верификация расчетов проводилась на основе данных натурных измерений с буев, расположенных в прибрежной зоне Финского залива.

Для анализа качества расчетов оригинальной модели WW3 и предложенной адаптированной WW3 были выбраны два дня 01.10.16 - 02.10.16. В выбранный период распределение ветра на близлежащих метеостанциях показало, что преобладает ветер с направления запад-юго-запад. Это соответствовало тому, что ветер дул вдоль залива, однако область, в которой производилось сравнение, находилась за мысом, кроме того, в прибрежной области находилось большое количество небольших островков, что обеспечивало разгон волн в интервале 10-30 км. При наблюдаемых скоростях ветра это соответствует безразмерному разгону 500-10000, что значительно меньше характерных для полностью развитого волнения значений (25000 и более).

Были использованы измерения волнового буя «Суоменлинна» (Datawell Directional Waveriders, Mk-III) для изучения производительности и различия между оригинальной моделью WW3 и предложенной адаптацией к условиям коротких разгонов. Буй был установлен Финским метеорологическим институтом в прибрежной зоне Финского залива около островов Суоменлинна в координатах 60.12330° с.ш., 24.97250° в.д. Данные, накопленные буем, состояли из значительных высот волн, частоты пика волн, направления волн, полученных по усредненным за каждые 30 минут данным.

Моделирование проводилось при подключении оригинальной параметризации накачки волн ветром WAM3 [5] и параметризации WAM3 с измененным коэффициентом аэродинамического сопротивления C_D. Конфигурация WW3 определялась регулярной сеткой с малым шагом в 0,1 морской мили (185 м), таким образом образуя прямоугольную сетку 281×241 с координатами левого нижнего угла 59.8666683° с.ш., 24.4666666° в.д. Глобальный шаг по времени [3] составлял 15 секунд. Был задан неоднородный форсинг ветра при помощи модели HIRLAM.

Было продемонстрировано, что полученная при аналогичных условиях коротких разгонов (диапазон значений безразмерного разгона был близок к условиям текущего эксперимента и составлял 900-7000 м) Горьковского водохранилища параметризация аэродинамического сопротивления C_D (U_{10}) и адаптированная модель WW3 будут обеспечивать лучшее соответствие расчетных данных и данных натурных измерений с буев, расположенных в прибрежной зоне Финского залива.

Расчеты, проведенные в рамках оригинальной параметризации WAM3 и параметризации WAM3 с измененным C_D, верифицированы данными с буя «Суоменлинна». Использование новой параметризации уменьшает различие значительной высоты волнения по данным натурных измерений от результатов моделирования с 0-20% до 0-4% Наибольший эффект наблюдается при сильных ветрах (больше 8 м/с). Это ожидаемый результат, так как в численном эксперименте с заданием предложенной параметризации инкремент накачки задается более точно, то есть более точно моделируется количество энергии, поступающей в систему. Использование предложенной адаптации WW3 существенно не повлияло на значения средних периодов волнения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-35-00602.

Список литературы

1) Kuznetsova, A.M. Adjusting of Wind Input Source Term in WAVEWATCH III Model for the Middle-Sized Water Body on the Basis of the Field Experiment / Kuznetsova A M, Baydakov G A, Papko V V, Kandaurov A A, Vdovin M I, Sergeev D A, Troitskaya Yu I, // Advances in Meteorology. - 2016. - 1 - article ID 574602 - p. 1-13.

2) Кузнецова, А.М. Адаптация параметризации нелинейности для случая коротких разгонов в модели прогноза волнения / А.М.Кузнецова, А.С.Досаев, Г.А.Байдаков, Д.А.Сергеев, Ю.И.Троицкая // Известия вузов. Радиофизика. - 2019 г. Направлена в печать.

3) The WAVEWATCH III Development Group (WW3DG). User manual and system documentation of WAVEWATCH III v. 5.16. // Tech. Note 329, NOAA/NWS/NCEP/MMAB, USA. -2016. - 326 pp. + App.

4) Snyder, R.L. Array measurements of atmospheric pressure fluctuations above surface gravity waves / R. L. Snyder, F. W. Dobson, J. A. Elliott, and R. B. Long // Journal of Fluid Mechanics. -1981. -102 -p. 1–59.

СВЯЗЬ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ И МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ОКЕАНИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Кузнецова Д.А.[1], **Башмачников И.Л.**[1,2]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2] *Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена»*

st055331@student.spbu.ru

Ключевые слова: меридиональная океаническая циркуляция, Северная Атлантика, глубокая конвекция.

Меридиональная океаническая циркуляция (МОЦ) представляет собой интегрированный зонально и по глубине объемный перенос водных масс. В отечественной и зарубежной литературе МОЦ часто называют меридиональной термохалинной циркуляцией. На самом деле последний термин не является синонимом МОЦ, так как он отсылает нас к физическому механизму, лишь частично ответственному за формирование описываемой циркуляции. Исследования, посвященные источникам энергии МОЦ, свидетельствуют, что термохалинное диапикническое перемешивание и глубокая осенние-зимняя конвекция в субарктических морях являются только одним из основных механизмов, приводящих в движение меридиональный океанический перенос и контролирующих его объем [1, 2]. Другой важный механизм - это ветровой апвеллинг в Южном океане [3]. Знание временной изменчивости механизмов контроля МОЦ должно улучшить прогноз её будущего состояния. Подобные исследования особенно актуальны в связи с предполагаемым влиянием МОЦ на повышение приземной температуры воздуха Северного полушария, и связанного с этим сокращения ледового покрова в Арктике.

В этой работе рассматриваются межгодовая изменчивость меридионального переноса МОЦ в Северной Атлантике через 25 с.ш. по данным массива RAPID (2004-2016 гг.), и ее связь с интенсивностью глубокой конвекции в морях Ирмингера, Гренландского и Лабрадор. Для оценки конвекции использовались значения глубины конвекции по результатам [4].

Результаты показали, что интенсивность МОЦ сильнее всего коррелирует с глубиной конвекции в Гренландском море. Корреляция между ними равнялась 0,6 с отставанием глубины конвекции на 5 лет. После удаления тренда была получена значимая кросс-корреляции переноса МОЦ и глубины конвекции в море Ирмингера равная 0.6 с временным лагом 2 года.

Другой механизм, приводящий в движение МОЦ, ветровой апвеллинг в южных полярных широтах, оценивался по значениям максимальной скорости западных ветров в Атлантическом секторе Южного океана. Данные о скорости ветра были взяты из реанализа ERA-Interim. Корреляции среднегодовых значений скорости ветра и интенсивности МОЦ были значимыми и равными 0,4.

На данный момент ряды непрерывных измерений МОЦ на 25^0 с.ш. еще довольно коротки для анализа межгодовой изменчивости этого, довольно инертного процесса. Поэтому остается актуальной задача продления временного ряда по температурному индексу, предложенному в работе [5]. Аномалии температуры на глубине 400 м. в секторе 35^0-45^0 с.ш. и 60^0-40^0 з.д. достаточно хорошо отражают динамику МОЦ в Атлантике, корреляция между ними составила 0,7 с запаздыванием температурного индекса на 1 год. Это позволяет рассмотреть связь межгодовой изменчивости МОЦ и интенсивности глубокой конвекции за больший временной интервал.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01151).

Список литературы

1) Kuhlbrodt T. et al. On the driving processes of the Atlantic meridional overtuning circulation // Rev. Geophys., № 45. 2007 С. 1-32

2) Buckley, M. W. and J. Marshall (2016) Observations, inferences, and mechanisms of Atlantic Meridional Overturning Circulation variability: A review, Rev. Geophys., 54, 5–63, doi:10.1002/2015RG000493

3) Visbeck M. Oceanography: Power of pull //Nature. – 2007. – Т. 447. – №. 7143. – С. 383.

4) Башмачников И.Л., Федоров А.М., Весман А.В., Белоненко Т.В., Колдунов А.В., Духовской Д.С., 2018. Термохалинная конвекция в субполярных морях Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна СЛО по спутниковым и натурным данным. Часть 2: индексы интенсивности конвекции, Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 16, (в печати).

5) Zhang R., Coherent surface-subsurface fingerprint of the Atlantic meridional overturning circulation// GRL № 35. 2008. С. 1-6

РОЛЬ СОЛЕНОСТИ В ТРАНСФОРМАЦИИ ВОД МИРОВОГО ОКЕАНА

Кукушкин В.М., Маркина М.Ю.

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

asevovan@gmail.com

Ключевые слова: трансформация водных масс, поток плотности, взаимодействие океана и атмосферы.

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 итоге связанно с глобальной циркуляцией вод в океане и формированием водных масс в отдельных районах Мирового океана. В данной работе трансформация вод характеризуется потоком плотности [1] (величиной, обратной потоку плавучести). Согласно уравнению состояния морской воды, плотность вод изначально нелинейно зависит от солености. Таким образом соленость морской воды в значительной степени определяет плотность морской воды и ее способность трансформироваться вследствие влияния осадков и испарения. Итоговое значение трансформации определяется с помощью производных плотности, а также коэффициентов термического расширения и соленостного сжатия (определяемых с учетом текущей плотности).

Источники, предоставляющие данные о солености получают ее принципиально разными способами, каждый из которых обладает своими неточностями. Это обуславливает разницу величин солености, полученных из разных источников, и, как следствие, разницу рассчитанных потоков плотности. Соленость влияет на величину потока плотности напрямую: как аргумент соленостной составляющей потока плотности, особенно это заметно в экваториальных областях. Также соленость изменяет коэффициент термического расширения, что обуславливает разницы в рассчитанных потоках плотности в средних и высоких широтах.

В данном исследовании обсуждается вклад солености в результирующий поток плотности на поверхности океана на основе данных реанализа, спутниковых наблюдений и данных дрейфующих буев на примере 2014-2015 годов. В частности, анализируется влияние использования различных источников данных наблюдений, а также вклад различной временной дискретности данных о солености на поверхности океана в величину потока плотности.

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 [2]. В работе проводится оценка вклада термической (влияние результирующего потока тепла между океаном и атмосферой) и соленостной (разница между осадками и испарением) составляющих в изменение плавучести на поверхности океана, проводится оценка влияния пространственного и временного разрешения данных о солености на общее значение потока. Наиболее значимое влияние высокого временного разрешения солености наблюдается в областях с высоким испарением. Проводится сравнение данных о солености из различных источников: реанализа CFSv2, спутниковых данных, реанализа Glorys [3] и массива ISAS-15[4].

Разница в оценках общего потока плотности может достигать 10% , что обуславливается исключительно различием данных о солености.

Например, при использовании данных Aquarius [5] влияние солености на итоговое значение потока плотности наиболее заметно и составляет около 5%. Наибольшие разницы наблюдаются в прибрежных и приполярных акваториях. При использовании солености

из реанализа GLORYS достигаются самые большие положительные и отрицательные значения трансформации.

Работа выполнена при поддержке гранта министерства образования и науки № 14.616.21.0075 уникальный идентификатор проекта RFMEFI61617X0075.

Список литературы

1) Walin G. S. On the relation between sea-surface heat flow and thermal circulation in the ocean //Tellus. – 1982. – Т. 34. – №. 2. – С. 187-195.

2) Saha S. et al. The NCEP climate forecast system version 2 //Journal of Climate. – 2014. – Т. 27. – №. 6. – С. 2185-2208.

3) Ferry N. et al. GLORYS2V1 global ocean reanalysis of the altimetric era (1992–2009) at meso scale //Mercator Ocean–Quaterly Newsletter. – 2012. – Т. 44

4) Gaillard Fabienne, Reynaud Thierry, Thierry Virginie, Kolodziejczyk Nicolas, Von Schuckmann Karina (2016). In-situ based reanalysis of the global ocean temperature and salinity with ISAS: variability of the heat content and steric height. Journal Of Climate, 29(4), 1305-1323. Publisher's official version : http://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0028.1 , Open Access version : http://archimer.ifremer.fr/doc/00309/42030/

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. – Т. 45. – №. 7. – С. 2040-2050.

6) Koblinsky C. J., Smith N. R. (ed.). Observing the Oceans in the 21st Century. – Bureau of Meteorology, 2001

7) Gulev S. K. et al. Impact of spatial resolution on simulated surface water mass transformations in the Atlantic //Ocean Modelling. – 2007. – Т. 19. – №. 3-4. – С. 138-160.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СГОННО-НАГОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В АЗОВСКОМ МОРЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ СИНОПТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ

Лемешко Е.Е.[1], **Полозок А.А.**[2,1]

[1]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

[2]*Севастопольское отделение Государственного океанографического института им. Н.Н.Зубова, г. Севастополь*

e.lemeshko@mhi-ras.ru

Ключевые слова: сгонно-нагонные явления, штормовые ситуации, уровень моря, ветровое волнение, численное моделирование.

Штормовые сгонно-нагонные явления вызывают значительные изменения уровня моря в результате изменения приземного атмосферного давления и действия ветров сгонно-нагонных направлений с ориентацией в сторону берега или под углом к нему и связаны обычно с прохождением циклонов. Штормовые нагоны относятся к опасным природным явлениям, в некоторых районах Азовского моря могут вызывать затопление обширных низменных территорий, нанося вред сельскому хозяйству, вызывая разрушения жилых домов, объектов промышленности и береговой инфраструктуры.

Колебания уровня в Азовском море имеют ярко выраженные сезонные и синоптические масштабы. Первый обусловлен стоком рек, водообменном с Черным морем, осадками и испарением. Второй связан главным образом с ветром, и, в меньшей степени, с синоптическими колебаниями водообмена с Черным морем и стока реки Дон. Амплитуда сезонных колебаний в среднем достигает 30-35 см. Однако, штормовые нагоны могут достигать значений 50-100 см выше среднего уровня поста, а экстремальные нагоны превышать 270 см, как в Таганроге 24.09.2014г.

Поэтому цель работы заключалась в изучении особенностей развития штормовых сгонно-нагонных явлений и определении величин ветровых нагонов\сгонов в зависимости от типа экстремальных ветровых ситуаций над регионом Азовского моря, сопоставлении с результатами данных наблюдений уровня моря на ГМС. Для валидации результатов моделирования использовались данные срочных измерений уровня моря на береговых гидрометеорологических станциях (ГМС) за период 1995-2015гг. (Таганрог, Ейск, Приморско-Ахтарск, Темрюк, Мысовое, Мариуполь).

Применялась совместная численная модель ADCIRC+SWAN. Моделирование выполнялось на неструктурированной расчетной сетке, включающей Азовское море и Керченский пролив, состоящей из 10835 конечных элементов и 6730 узлов, что позволяет достичь высокого пространственного разрешения 100-200 м в зоне обрушения волн и 20-50 м в дельте реки Дон.

Входными данными являлись поля приводного ветра и приземного давления над Азово-Черноморским бассейном. В качестве атмосферного форсинга использованы однородные по пространству поля ветра разных направлений, типы ветровых синоптических ситуаций выбирались исходя из анализа многолетних метеонаблюдений на ГМС. В серии численных экспериментов исследовалась генерация штормовых нагонов в Азовском море однородным по пространству ветром. Расчеты проводились для скорости ветра в 10, 15 и 20 м/с. Рассматривалось 8 направлений ветра - 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 и 315° (направление ветра отсчитывается относительно направления на восток против часовой стрелки). Экстремальные сгоны проявляются при скорости ветра 15 и 20 м/с, направлении 225 и 180° для устья Дона, экстремальные нагоны при скорости ветра 15 и 20 м/с при направлении 0 и 45°.

Результаты сопоставления расчетных данных с данными наблюдений показали, что ADCIRC+SWAN достаточно адекватно описывает измеренные вариации уровня моря: имеет место синхронное воспроизведение фаз подъемов и спадов уровня моря. Для штормового нагона в ноябре 2007 г., результаты расчета превысили данные наблюдений не более чем на 5% для Мариуполя и Мысового; а для Приморско-Ахтарска, наоборот, модельные величины нагона были занижены на 5%. Результаты расхождений объясняются изменчивостью глубины моря в прибрежной зоне этих ГМС и изрезанностью береговой линии.

Обсуждается также вклад различных физических механизмов, определяющих формирование вариаций уровня моря - воздействия поверхностных напряжений поля ветра, волновых напряжений и горизонтальных градиентов атмосферного давления.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «мол_а» РФФИ №18-31-00274 «Исследование сгонно-нагонных явлений в Азовском море и их проявлений в дельте реки Дон в зависимости от типов синоптических штормовых ситуаций».

ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЕ ПРИЛИВНОГО КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ В ГУБЕ КЕРЕТЬ БЕЛОГО МОРЯ

Липатов М.А.[1], **Смагин Р.Е.**[1], **Густайтис А.Н.**[2]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2] *ООО "Фертоинг", г. Санкт-Петербург*

m.a.lipatovv@gmail.com

Ключевые слова: приливные колебания уровня моря, гармонический анализ, губа Кереть, Белое море.

Губа Кереть Кандалакшского залива Белого моря в настоящее время является важным местом проведения комплексных и междисциплинарных исследований, проводимых учёными Санкт-Петербургского государственного университета (биологами, океанологами, геофизиками и др.). Здесь же (на о. Средний) располагается учебно-научная база (УНБ СПбГУ "Беломорская"). Губа Кереть представляет собой приливной эстуарий, где происходит взаимодействие между морскими и пресными водами (сток р. Кереть). Острова Средний и Горелый отделяют губу от морской акватории, а водообмен осуществляется через небольшие проливы (Средняя Салма, Узкая Салма и Подпахта). При этом большую роль в формировании гидрологического режима играют приливы, проявляющиеся в периодических колебаниях уровня моря.

Наблюдения за уровнем моря ведутся в последние годы и было выяснено, что именно приливные колебания вносят определяющий вклад в общую дисперсию колебаний уровня моря в губе Кереть [1]. Партнёрское взаимодействие между СПбГУ и ООО "Фертоинг"г. Санкт-Петербург, в рамках Соглашения о сотрудничестве, заключённого в 2017 году, позволило в том же году установить на о. Средний новый уровенно-волномерный пост системы автоматизированного гидрометеорологического мониторинга [2]. Впервые были получены временные ряды колебания уровня моря в губе Кереть Белого моря, с дискретностью данных 10 минут.

С помощью унифицированных функций приливного анализа и прогнозирования [3] по исходному ряду (массив данных за летние месяцы 2017 года) были получены обновлённые гармонические постоянные приливного уровня моря в губе Кереть (амплитуды и фазы для 35 гармоник). Согласно полученным результатам, гармоники M_2 - главная лунная полусуточная и S_2 - главная солнечная полусуточная вносят максимальный вклад в дисперсию колебаний уровня моря. Амплитуда гармоники M_2 составила 67.5 см, а S_2 - 14.9 см. Новые значения амплитуд и фаз приливных гармоник несколько отличаются от предыдущих результатов, опубликованных в работе [1], но в целом сопоставимы. Существенное различие, более чем в два раза, наблюдается лишь для долгопериодной гармоники, в частности, для лунно-солнечной синодической полумесячной гармоники (MS_f). Полученные расхождения связаны с тем, что дискретность данных, используемых в [1], составляла 1 час и временной ряд состоял из 648 значений, а в данном случае дискретность была в 10 минут, а длина ряда - 10954 значения, что заметно отразилось на точности расчётов.

Также были предвычислены колебания уровня моря в губе Кереть Белого моря на произвольный период (с 1960 по 2060 г). Отдельные результаты предвычислений сравнивались с натурными наблюдениями и результатами программного продукта WXtide (wxtide32.com). Эта программа часто используется для решения профильных задач, где необходимо знать уровень моря в определённый момент, однако она не является специализированной и в своих расчётах использует сведения по небольшому числу гармоник [4, 5]. Предвычисление по новым гармоническим постоянным превосходит результаты расчёта программы WXtide. Фазы прилива по натурным наблюдениям полностью совпали

с результатами предвычислений, однако амплитуды наблюдаемых приливных колебаний несколько выше полученных в ходе расчётов, но разница не превышает 10 см. С помощью Фурье-анализа были получены спектральные плотности исходного, предвычисленного и остаточного рядов за июль-сентябрь 2017 года, согласно полученным результатам максимальное значение приходится на частоту 0.5, что объясняется полусуточной периодичностью приливов.

Список литературы

1) Ионов В.В., Май Р.И., Смагин Р.Е. Новые гармонические постоянные приливных колебаний уровня моря в губе Кереть Белого моря (по данным экспедиционных работ 2011 года) // Вестн. С-Петерб. ун-та. Сер. 7. 2013 Вып. 2. С. 94-107
2) Густайтис А.Н., Смагин Р.Е., Липатов М.А. Перспективы сотрудничества ООО «Фертоинг» и УНБ «Беломорская» в комплексных исследованиях природы Белого моря. В сб. 2-я студенческая научная сессия УНБ «Беломорская» СПбГУ. Санкт-Петербург, 2018, с. 26-30
3) Codiga L. Daniel. Unified tidal analysis and prediction using the UTide Matlab functions. Technical Report 2011-01. Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, Narragansett, RI. 59 p. doi: 10.13140/RG.2.1.3761.2008
4) Таблицы приливов. Т II. Гармонические постоянные для предвычисления приливов. Части I и II. Л.: Изд. Гидрографического управления ВМФ СССР, 1940. 295 с.
5) Гидрологический справочник морей СССР. Том V. Белое Море / под ред. В. В. Тимонова и др. Л.: Гидрометеоиздат, 1958. 539 с.

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДРЕЙФА ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

Липатов М.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

m.a.lipatovv@gmail.com

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, Арктика, дрейф льда, климатическая изменчивость.

В Арктике в последние годы наблюдается тенденция увеличения температуры воздуха, температуры воды Северного Ледовитого океана, уменьшение толщины и сплоченности льда. Изменения характеристик ледяного покрова должны отражаться на динамике (дрейфе) льда.

Согласно [1] под климатическими изменениями понимаются внутривековые изменения климата, приводящие к изменению характеристик Мирового океана. Климатическая изменчивость описывается уравнениями линейного тренда. Новое представление линейного тренда векторных величин представлена в работе [2]. Тренд представлен через коллинеарную ($a_{||}$) и ортогональную($a_{\perp}$) составляющие вектора ускорения дрейфа ($\overrightarrow{a}$), разрешенные относительно направления вектора среднего дрейфа ($\overrightarrow{b}$).

$$a_{||} = |\overrightarrow{a}| \cdot cos(D_a - D_b); \tag{3}$$

$$a_{\perp} = |\overrightarrow{a}| \cdot cos(D_a - D_b); \tag{4}$$

где D_a – направление вектора ускорения, D_b – направление среднего дрейфа.

В работе используется база данных Polar Pathfinder (Polar Pathfinder Daily 25 km EASE-Grid Sea Ice Motion Vectors, Version 3) [3], которая содержит спутниковую информацию по дрейфу ледяного покрова в Северном Ледовитом океане. Главными достоинствами используемого ресурса являются доступность информации в открытом доступе в сети Интернет, временной диапазон данных, составляющий 38 лет (с 1978 по 2017 года) с дискретностью одни сутки. Пространственное разрешение составляет 25 км^2. Информация, содержащаяся в базе данных, была верифицирована с инструментальными наблюдениями в работе [4]. Согласно верификации было выявлено, что систематическая ошибка данных ресурса Polar Pathfinder минимальна.

В работе [5] получены основные статистические характеристики дрейфа ледяного покрова по базе данных Polar Pathfinder с использованием векторно-алгебраического анализа векторных рядов [6]. Для изучения климатической изменчивости были получены и проанализированы результаты за каждый месяц за период с 1979 по 2016 год по изменениям скорости и направления дрейфа ледяного покрова.

Наибольшее изменение скоростей дрейфа ледяного покрова в Северном Ледовитом океане наблюдается на периферии Антициклонического круговорота и в проливе Фрама. В данных областях наблюдается увеличение скоростей дрейфа, максимальные значения достигаются 0.6 см/сек/год с января по апрель. Обратная ситуация (уменьшение скоростей) наблюдается около Берингова пролива, что говорит о уменьшении выноса льдов из Северного Ледовитого океана в Тихий океан. Помимо этого, замечено, что в течении всего года наблюдается локальное “пятно” уменьшения дрейфа льда в центре Антициклонического круговорота, что свидетельствует о перемещении круговорота. Изменения в данных областях могут достигать значения в -0.4 см/сек/год.

Разложение коэффициентов линейного тренда векторов, описанное в работе [2], позволяет определить не только изменение скоростей дрейфа ледяного покрова, но и учесть

тенденцию изменения направления среднего дрейфа льда, связанную с климатическими изменениями. Согласно полученным результатам изменение направления дрейфа льда в Северном Ледовитом океане происходит в диапазоне [-0.02; 0.01] градусов в год. Полученные значения являются не значительными, однако области изменения направления позволяют объяснить изменения потоков льда в Арктике, что является положительным результатом.

При работе с трендами климатической изменчивости главным показателем является оценка значимости трендов, т.е. насколько значим его вклад в климатическую изменчивость дрейфа ледяного покрова. Значимость трендов векторных величин была получена с использованием критерия Стьюдента.

Помимо получения трендов векторных величин была получена оценка трендов скалярных величин, таких как модуль скорости, значения ротора, дивергенции, линейного инварианта тензора среднеквадратического отклонения, за месячный отрезок.

Список литературы

1) Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г. Изменчивость Мирового океана. Л: Гидрометиздат, 1974, с. 264.
2) Липатов М.А., Май Р.И. Тренды векторов дрейфа ледяного покрова в Северном Ледовитом океане // Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития», 19-20 декабря, 2018. С. 400-403.
3) Липатов М.А. Дрейф ледяного покрова по инструментальным наблюдениям и спутниковой информации // Сборник трудов молодежной конференции «Папанинские чтения – 2017». С. 331-337.
4) May R.I. Verification of sea ice drift data obtained from remote sensing information // Proceedings of 2018 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium. July 22-27, 2018. Valencia, Spain. Pp. 7348-7351.
5) Липатов М.А. Определение дрейфа ледяного покрова по спутниковой информации в Северном Ледовитом океане // Процессы в геосферах №3 (17), 2018. С. 261-262.
6) Белышев А.П., Клеванцов Ю.П., Рожков В.А Вероятностный анализ морских течений. Л: Гидрометиздат, 1983, с. 264.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ АЛЬТИМЕТРИИ И ИЗМЕРЕНИЙ БУЕВ ARGO

Лишаев П.Н.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

pavellish@mail.ru

Ключевые слова: альтиметрия, буи Argo, функции ковариаций, реанализ, адаптивная статистика, псевдоизмерения температуры и солености.

Одной из главных задач оперативной океанологии является выполнение реанализа состояния Мирового океана и отдельных его компонент с помощью усвоения в численных моделях циркуляции вод контактных и дистанционных данных об океане. Для описания изменчивости океана на требуемых масштабах необходимо совместное использование относительно редких контактных и дистанционных данных высокого пространственного и временного разрешения.

Для бассейна Черного моря можно выделить два продукта реанализа гидрофизических полей. Реанализ [1], выполненный на основе модели [2] с пространственным разрешением 5 км и ассимиляцией температуры поверхности моря, аномалий уровня, профилей температуры и солености в слое глубже 200 м, описывающих климатических ход. И реанализ [3] с усвоением температуры поверхности моря, аномалий уровня и профилей температуры и солености буев Argo [4] в модели NEMO (пространственное разрешение порядка 3 км).

Для качественного воспроизведения термохалинной стратификации и мезомасштабных процессов важно усваивать данные наблюдений равномерно распределенные по акватории исследуемого бассейна.

Оригинальная методика восстановления ежесуточных полей температуры (солености) на горизонтах слоя 100–500 м глубоководной области бассейна, ограниченной изобатой 500 м, предложена в работах [5, 6]. Она основана на комбинированном анализе альтиметрических и малочисленных судовых гидрологических наблюдений в Черном море за 1993–2002 гг. Данная методика была уточнена и применена в работе [7] к измерениям температуры (солености) буями Argo. Это позволило воспроизвести трехмерные поля псевдоизмерений температуры и солености на регулярной сетке в слое 63–500 м за 1993–2014 гг.

Положительным качеством разработанной методики является то обстоятельство, что горизонтальная структура полей псевдоизмерений солености и температуры на всех горизонтах в слое 63–500 м для каждых суток периода 1993–2014 гг. схожа с топографией альтиметрического уровня моря и отражает основные синоптические процессы. Однако, в силу особенности методики, значения солености (температуры) не восстанавливаются на отдельных горизонтах слоя 63–125 м справа от фронта Основного Черноморского течения и в антициклонических вихрях.

Соленость и температура в слое 2.5–125 м восстанавливаются посредством коррекции рассчитанной в модели прогностической солености/температуры данными псевдоизмерений с нижележащего горизонта по формуле:

$$S^{\text{восст}} = S^{\text{прогн}}(z_k) + \frac{P_S(z_*, z_k)(S^{\text{псевдо}}(z_*) - S^{\text{прогн}}(z_k))}{(\sigma_S^2 + \sigma_{\text{ошS}}^2(z_k))},$$

где z_k – горизонт слоя 2.5–125 м, $P_S(z_*, z_k)$ – ненормированная функция ковариаций солености, σ_S^2 – дисперсия псевдоизмерений на базовом горизонте (z_* =150 м), $\sigma_{\text{ошS}}^2$ – дисперсия ошибок "измерений".

Восстановление полей псевдоизмерений проводили итерационным методом, смещаясь на один горизонт к поверхности и используя его в качестве базового.

Сопоставление профилей среднеквадратических отклонений восстановленных полей солености от измеренных и естественной изменчивости солености показало, что в галоклине на 75 м естественная изменчивость почти в 1,8 раза выше отклонений солености. Это подтверждает удовлетворительность воспроизведения поля солености как в циклонических, так и в антициклонических образованиях. Аналогичный анализ восстановленной температуры свидетельствует об ее удовлетворительном качестве на глубинах ниже 50 м. Восстановленные поля псевдоизмерений солености (температуры) ассимилировались в модели МГИ методом адаптивной статистики для проведения реанализа полей Черного моря за 2012 год. Выполнена валидация восстановленных в реанализе полей температуры и солености. Хорошо воспроизведен холодный промежуточный слой в море. Восстановленный в реанализе уровень моря в глубоководной области качественно и количественно оказался достаточно близким к альтиметрическому уровню.

Результаты исследований, представленные в работе, получены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-30001) и РФФИ, грант № 16-05-00264 А.

Список литературы

1) В. Л. Дорофеев, Л. И. Сухих. Анализ изменчивости гидрофизических полей Черного моря в период 1993 – 2012 гг. на основе результатов выполненного реанализа // Морской гидрофизический журнал. – 2016.– № 1. – С. 33 – 48.

2) Dorofeev V.L., Sukhikh L.I. Modelling of long-term evolution of hydrophysical fields of the Black Sea // Oceanology. 2017. Vol. 57, iss. 6. P. 784–796. doi:10.1134/S0001437017060017

3) Lemieux-Dudon, Benedicte; Storto, Andrea; Ciliberti, Stefania A. et al.«The Black Sea physical reanalysis system for the Copernicus Marine Service: description and skill assessment» // 20th EGU General Assembly, EGU2018, Proceedings from the conference held 4-13 April, 2018 in Vienna, Austria, p.19742

4) Roemmich, Dean, et al. “The Argo Program: Observing the Global Ocean with Profiling Floats.” Oceanography, vol. 22, no. 2, 2009, pp. 34–43. JSTOR, JSTOR, www.jstor.org/stable/24860957.

5) Коротаев Г.К., Лишаев П.Н., Кныш В.В. Методика анализа данных измерений температуры и солености Черного моря с использованием динамического альтиметрического уровня // Морской гидрофизический журнал. – 2015. – №2. – С. 3–24.

6) Korotaev G.K., Lishaev P.N., Knysh V.V. Reconstruction of the Three-Dimensional Salinity and Temperature Fields of the Black Sea on the Basis of Satellite Altimetry Measurements // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2016. – Vol. 52, No. 9. – P. 961–973. (https://www.researchgate.net/publication/313490793). DOI: 10.1134/S0001433816090152.

7) Кныш В.В., Лишаев П.Н. Уточнение методики восстановления трехмерных полей солености и температуры Черного моря по редким измерениям и альтиметрии // Морской гидрофизический журнал. – 2016. – № 6. – С. 5 – 17.

ПРОЯВЛЕНИЯ СОБЫТИЙ ЭЛЬ-НИНЬО В АТМОСФЕРНЫХ ПОЛЯХ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В.

ФБГНУ "Институт природно-технических систем"

andrey-ls2015@yandex.ru

Ключевые слова: Эль-Ниньо, ЭНЮК, Черноморский регион, система океан-атмосфера

Эль-Ниньо - Южное колебание (ЭНЮК) является одним из наиболее важных сигналов в межгодовой изменчивости глобальной системы океан - атмосфера. Его проявления отмечаются в аномалиях погоды и климата не только над тропической зоной Тихого океана, но и во внетропических широтах Земного шара. Дальнодействие крупномасштабных тихоокеанских аномалий обеспечивается за счет системы обратных связей в системе океан - атмосфера и регулируется продолжительностью и интенсивностью аномалий [1]. ЭНЮК имеет две предельные (экстремальные) фазы существования - теплую (Эль-Ниньо) и холодную (Ла-Нинья). В свою очередь, к началу 2000-х годов в научном сообществе сложилось неоднозначное мнение о типичных характеристиках событий Эль-Ниньо и, как следствие, об особенностях их региональных проявлений. Многие исследователи сошлись во мнениях о существовании некаконического типа Эль-Ниньо, так же известного как централньый тип [2] или Modoki [3].

Изучение типов теплой фазы ЭНЮК, а также появление доступных глобальных массивов данных, содержащих ретроспективу среднемесячных метеорологических характеристик с конца XIX века, дало возможность изучить на более значимом уровне проявления типов Эль-Ниньо по всему Земному шару. В последнее десятилетие мировое сообщество ученых в этой области уделяло особое внимание ярким погодным проявлениям в периоды Эль-Ниньо в экваториальных и тропических широтах, приводящим к человеческим жертвам и экономическим потерям [3, 4]. В то же время влияние этих событий на метеорологические характеристики регионов более отдаленных от эпицентра стихийных бедствий оказалось менее изучено. К таким регионам относится и Черноморский регион.

В работе использовалась ранее уточненная авторами двухтипная классификация событий Эль-Ниньо с учетом пространственно-временных особенностей [5]. Особое внимание в этой классификациибыло уделено идентификации начала событий как основному фактору при определении явления одного или другого типа. При этом во внимание принимались место идентификации пространственной локализации аномалии, ее интенсивность и последующий характер распространения в пространстве. По результатам классификаци получены следущие 2 типа. Первому - Весенне-летнему восточному типу - свойственны интенсификация АТПО у берегов Южной Америки и последующее распространение аномалии в центральную экваториальную часть Тихого океана. Начало этих событий приходится преимущественно на апрель, май и июль. Максимальной фазы они достигают в октябре - декабре. Второй тип - осенний центральный - характеризуется тем, что в центре Тихого океана отмечается как возникновение теплой АТПО, так и локализация этой аномалии в фазу максимального развития. Начало явления происходит осенью, в основном в октябре, а максимальная фаза достигается в период с ноября по январь.

Далее, по данным о приземном атмосферном давлении и температуре воздуха из реанализа XX столетия (20th CenturyReanalysis V2c) на пространственной сетке $2^\circ \times 2^\circ$ за период 1870-2018 гг. для каждого месяца «0» и «+1» года Эль-Ниньо были оценены композитные величины аномалий в анализируемых полях, соответствующие событиям восточного и центрального типов явления. Сезонная изменчивость и многолетний тренд для

каждого месяца были исключены зарание. Было дано описание особенностям статистически значимых региональных проявлений для каждого типа, которое подробно изложено в работе [6].

Ключевой особенностью проявления событий Эль-Ниньйо восточного типа является положительная аномалия температуры воздуха, наблюдаемая в феврале, июле и октябре, которая может достигать +2°C выше обычных условий. Температурные условия при этом сопровождаются соответствующими отрицательными аномалиями в поле приземного давления, имеющие минимальные величины в феврале до - 3мб. Для Эль-Ниньо центрального типа характерно аномальное понижение температуры воздуха на большей части Черноморского региона в декабре с величиной среднемесячной аномалии до -2°C, повышение аномалии температуры до +2°C в феврале в южной части. При этом отрицательные аномалии температуры до -1,5°C характерны в апреле и в октябре до -2°C. Это поддерживается соответствующими условиями в поле давления.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-45-920063 р_а.

Список литературы

1) McPhaden M.J., Zebiak S.E. Glantz M.H. ENSO as an integrating concept in Earth science // Science. 2006. V. 314. № 5806. P. 1740–1745.

2) Yeh S.W., Kug J.S., Dewitte B. et al. El Nino in a changing climate // Nature. 2009. № 461. P. 511–514.

3) Ashok K., Behera S.K., Rao S.A. et al. El-Nino Modoki and its possible teleconnection // J Geophys Res. 2007. № 112. C11007.

4) Lin X.C., Yu S.Q. El Nino and rainfall during the flood season (June-August) in China (in Chinese) // ActaMeteorol Sin. 1993. № 51. P. 434–441.

5) Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В. Объективная классификация явлений Эль-Ниньо // Использование и охрана природных ресурсов в России: НИА-Природа, 2017. №1 (149). С. 41–44.

6) Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В., Журавский В.Ю. Проявления событий Эль-Ниньо в Черноморском регионе // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2018. №14(34). С. 94–101.

ИЗУЧЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ВНУТРИТЕРМОКЛИННЫХ ВИХРЕЙ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Лыжков Д.А., Журбас Н.В., Кузьмина Н.П.

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

dlyzhkov@gmail.com

Ключевые слова: численное моделирование, Принстонская модель океана, внутритермоклинные вихри, Арктический бассейн.

На основе Принстонской модели океана (Princeton Ocean Model, POM) проведен ряд численных экспериментов по изучению эволюции одиночных внутритермоклинных вихрей с целью анализа изменения горизонтального масштаба и структуры вихря при его приспособлении к геострофическому балансу. Краткое описание исследования сводится к следующему. В начальный момент времени в пикноклине океана задается возмущение в поле плотности, в виде квази-перемешанной осесимметричной области с определенными вертикальным и горизонтальным масштабами. На основе численной модели в последующие моменты времени рассчитывается эволюция этой области, или, иными словами, рассчитывается трансформация квази-перемешанного объема в антициклоническое вихревое образование и его дальнейшая эволюция. Показано, что наибольшей устойчивостью обладают вихри, горизонтальные масштабы которых в начальный момент несколько меньше локального радиуса деформации Россби. Такие вихри могут существовать долгое время, не меняя своей осесимметричной формы. Иная картина может наблюдаться, когда горизонтальный масштаб возмущения в начальный момент превышает локальный радиус Россби: на границах основного вихря образуются дочерние вихри (более мелкие), из-за которых вихрь меняет свою форму и впоследствии ослабевает. Представлены результаты расчетов распределения горизонтальных скоростей на уровне расположения средней линии вихревого возмущения. Для расчетов использовался круглый бассейн. Расчеты проводились при различных величинах параметров задачи: вертикального и горизонтального масштабов начального квази-перемешанного объема, частоты Вяйсяля-Брента и параметра Кориолиса. Результаты расчетов применяются к описанию эволюции вихрей в Арктическом бассейне и дают возможность сделать простейшую оценку горизонтального коэффициента обмена.

Исследование выполнено в рамках государственного задания (тема №0149-2019-0003).

ИССЛЕДОВАНИЕ АГУЛЬЯСОВА ПЕРЕНОСА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ И БУЕВ АРГО

Малышева А.А.[1], **Белоненко Т.В.**[1], **Кубряков А.А.**[2]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2] *Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

alinamalysheva97@mail.ru

Ключевые слова: уровень океана, альтиметрические измерения, мезомасштабные вихри, волны Россби, Индийский, Атлантический океан, SLA, аномалии уровня океана.

Изучение мезомасштабных вихрей даёт представление о целых системах взаимосвязанных океанических характеристик. Мезомасштабные вихри обладают собственной динамикой, в которой доминируют нелинейные эффекты. Они способны переносить тепло, массу, кинетическую энергию и биохимические характеристики из региона их формирования на огромные расстояния, влияя на колебания климата.

Агульясов перенос относится к водам, экспортируемым из Индийского океана в Атлантический системой течений Агульяс. Эти воды состоят главным образом из верхних и промежуточных вод индо-океанского происхождения. Мезомасштабные вихри, образованные течением Агульяс, являются доминирующими структурами, переносящими воды Индийского океана в Атлантику [1], поэтому изучение их динамики в исследуемом районе позволяет понять влияние Индийского океана на процессы в Атлантике.

Целью работы является оценка Агульясова переноса на основе данных альтиметрии и дрейфующих буев-профилемеров Argo. В нашем исследовании были использованы данные массива «Mesoscale Eddies in Altimeter Observations of SSH», основанные на анализе альтиметрических снимков, данные дрейфующих буёв-профилемеров Argo, данные абсолютной динамической топографии (ADT), представляющие собой сумму аномалий уровня моря (SLA) и средней динамической топографии (MDT), и данные Атласа Мирового океана (WOA13). Нами анализируются мезомасштабные вихри, сформированные в районе разворота течения Агульяс.

Для исследования было выбрано два буя, захваченных долгоживущими мезомасштабными вихрями, проанализированы их треки движения, вертикальная структура вихрей и аномалии температуры и солености в вихрях относительно климатологических данных WOA13. Показано, что температура и соленость в вихре выше среднеклиматических значений на 5 °C и 0,6 psu соответственно. Также видно, что глубина вихря составляет около 1000 м. Был рассчитан Агульясов перенос, который, если исходить из того, что только шестая часть вихрей пересекает Атлантику и достигает берегов Южной Америки [2], составляет 21—27 Sv.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-05-00452 и 17-05-00034.

Список литературы

1) de Ruijter, W.P.M., Biastoch, A., Drijfhout, S.S., Lutjeharms, J.R.E., Matano, R.P., Pichevin, T., van Leeuwen, P.J. and Weijer, W. Indian—Atlantic interocean exchange: dynamics, estimation and impact // J. Geophys. Res. 1999. V.104, Is. C9. P. 20885—20910.

2) Малышева А.А., Колдунов А.В., Белоненко Т.В., Сандалюк Н.В., Вихри Агульясова переноса по данным спутниковой альтиметрии // Ученые записки РГГМУ № 52. 2018. С. 154-170.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ТИПИЗАЦИЯ СОБЫТИЙ ЛА-НИНЬЯ И ЕЕ ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н., Лубков А.С.

Институт природно-технических наук, г. Севастополь

olesjath@mail.ru

Ключевые слова: Ла-Нинья, температура поверхности океана, аномалии ТПО, Тихий океан, эмпирические ортогональные функции.

В настоящее время уже сформировался научный консенсус о существовании двух типов Эль-Ниньо (канонический и Modoki) [1, 2]. Однако, вопрос - могут ли быть разделены Ла-Нинья на типы - до сих пор остается дискуссионным. В своих предыдущих работах [3, 4] с помощью иерархического кластерного анализа мы сделали вывод, что события Ла-Нинья можно разделить на два типа - Восточно-Тихоокеанский (ВТ) и Центрально-Тихоокеанский (ЦТ) типы. Особенностью этой классификации являлось то, что при ЦТ типе Ла-Нинья максимально отрицательная аномалия температуры поверхности океана (ТПО) была расположена в экваториально-центральной части Тихого океана в период зрелой фазы развития данного явления, а при ВТ типе - в восточно-экваториальной части Тихого океана. Минус этой классификации - она включает только пространственную составляющую, а вот особенности возникновения события и его продолжительности не отображает.

Поэтому цель данной работы заключается в том, чтобы типизировать события Ла-Нинья с учетом пространственно-временной изменчивости аномалий ТПО в экваториальной зоне Тихого океана.

В работе использованы данные о среднемесячных значениях ТПО за период с 1900 по 2015 гг массива HadISST с разрешением сетки в 1° [5]. Новая пространственно-временная типизация осуществлялась с помощью разложения пространственно-временных полей аномалий ТПО в экваториальной части Тихого океана на эмпирические ортогональные функции (ЭОФы). Поля были взяты по разрезу на экваторе (осреднение по широте от 5°с.ш. до 5°ю.ш.) от 150°в.д. до 80°з.д. для 18 временных периодов: 1/1903-6/1905, 1/1909-6/1911, 1/1916-6/1918, 1/1924-6/1926, 1/1933-6/1935, 1/1938-6/1940, 1/1942-6/1944, 1/1949-6/1951, 1/1954-6/1956, 1/1964-6/1966, 1/1970-6/1972, 1/1973-6/1975, 1/1975-6/1975, 1/1983-6/1985, 1/1988-6/1990, 1/1998-6/2000, 1/2007-6/2009, 1/2010-6/2012. Именно в эти периоды были зафиксированы события Ла-Нинья.

В результате было получено три ЭОФа. Первый ЭОФ составил 43,2%. В физическом смысле он демонстрирует два последовательных Ла-Нинья, которые возникают после сильного канонического Эль-Ниньо. То есть, после интенсивного Эль-Ниньо возникает Ла-Нинья с формированием максимально отрицательных аномалий в центрально-экваториальной зоне Тихого океана в конце осени и начале зимы, потом утихает и ровно через год усиливается снова. Это показывает концепцию двухлетнего Ла-Нинья и еще раз подтверждает, что события Эль-Ниньо и Ла-Нинья ассиметричны друг к другу.

Второй ЭОФ составил 28,4%. Ла-Нинья такого типа носят чисто Восточно-Тихоокеанский характер: возникают в восточно-экваториальной части Тихого океана, там же развиваются и существуют не больше года. После таких Ла-Нинья возможно образование Эль-Ниньо Modoki.

Третий ЭОФ составил 11,1% и включил в себя слабоинтенсивные события Ла-Нинья ЦТ типа.

Таким образом, пространственно-временная классификация событий Ла-Нинья с помощью разложения полей аномалий ТПО на ЭОФы, подтвердила нашу предыдущую клас-

сификацию разделения на ЦТ и ВТ типы, но с небольшим уточнением, что ЦТ тип Ла-Нинья необходимо разделять на два подтипа - когда возникает концепция двухгодичного Ла-Нинья и на слабоинтенсивные одиночные.

Список литературы

1) Ashok K., Behera S.K., Rao S.A. et al. El Nino Modoki and its possible teleconnection // J. Geophys. Res. 2007. № 112. C11007.
2) Kug J.S., Jin F.F., An S.I. Two types of El Nino events: Cold tongue El Nino and warm pool El Nino // J. Clim. 2009. № 22. P. 1499-1515.
3) Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В. Пространственная классификация Ла-Нинья // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. №1. С. 125-134.
4) Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н., Маслова В.Н., Лубков А.С. Ла-Нинья 2016 года в рамках пространственной классификации событий // Системы контроля окружающей среды. 2016. Вып. 6(26). С. 84–92.
5) Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B. et al. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // J. Geophys. Res. 2003. V. 108. № D14. P. 4407.

СИНОПТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Медведев И.П.

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

medvedev@ocean.ru

Ключевые слова: уровень моря, синоптическая изменчивость, Черное море, штормовые нагоны.

В настоящем исследовании на основе длительных рядов ежечасных наблюдений 28 мареографов и результатов расчетов на баротропной численной модели POM (Princeton Ocean Model) была изучена синоптическая изменчивость уровня Черного моря на периодах от суток до месяцев. Речной сток и водообмен с Мраморным морем также оказывают значительное влияние на образование низкочастотных синоптических колебаний уровня Черного моря [1], тогда как высокочастотные синоптические колебания формируются под воздействием меняющихся полей атмосферного давления и ветра. Вклад в синоптические колебания уровня Черного моря также вносят синоптические вихри, которые образуются из-за бароклинной неустойчивости Основного Черноморского течения.

В этом исследовании был проведен анализ формирования спектра колебаний уровня Черного моря в широком диапазоне частот. В низкочастотной области спектры колебаний уровня на различных станциях в Черном море слабо отличаются друг от друга. На частотах 1/100-1/15 цикл/сут на мелководных станциях изменения спектральной плотности с увеличением частоты приобретают характер «белого шума», т.е. уровень спектральной плотности постоянный. На спектрах колебаний уровня вблизи более приглубых Крымского и Кавказского побережий в синоптическом диапазоне частот наблюдается широкий локальный максимум энергии колебаний с периодами 14-16 сут. На мелководных станциях этот спектральный пик не выражен ярко вследствие высокого уровня спектральной плотности во всем синоптическом диапазоне частот. В целом на синоптических и мезомасштабных частотах спектральная плотность колебаний уровня на станциях, расположенных в мелководной северо-западной части Черного моря (Прорва, Одесса, Николаев) примерно на порядок выше, чем на глубоководных станциях. Это вызвано топографическими особенностями северо-западной части Черного моря: обширное мелководье приводит к усилению колебаний уровня моря ветрового происхождения.

Для определения роли синоптической изменчивости в общей динамике уровня моря в широком диапазоне частот был проведен дисперсионный анализ: рассчитаны количественные оценки вклада отдельных составляющих в суммарную энергию неприливных колебаний уровня моря [2]. Синоптические колебания уровня моря демонстрируют значительную неравномерность распределения дисперсии по акватории. Наибольшие значения наблюдаются в мелководной северо-западной части Черного моря, они вызваны влиянием приземного ветра. Если на Кавказском побережье Черного моря и вблизи Крымского побережья дисперсия сезонных и внутригодовых колебаний уровня моря превышает дисперсию синоптических колебаний уровня примерно в 1.5-2 раза, то в северо-западной части наибольший вклад в суммарную дисперсию уровня вносит синоптическая составляющая.

Уже на ст. Вилково и Большое (устьевая зона Дуная), а также на кромке северо-западного шельфа дисперсия синоптических колебаний составляет 36 см^2. С уменьшением глубин (к северу) дисперсия колебаний уровня моря растет и достигает 83 см^2 на ст. Херсон и 106 см^2 на ст. Николаев. Эти две станции располагаются в эстуариях Днепра и Буга соответственно. Таким образом, мелководность северо-западной части Черного моря приводит к увеличению дисперсии синоптических колебаний уровня, связанных в первую

очередь со сгонно-нагонными процессами. Абсолютные максимумы дисперсии синоптических колебаний уровня моря на ст. Херсон и Николаев вызваны дополнительным влиянием стока указанных крупных рек.

Распределение дисперсии неприливных колебаний уровня Черного моря в синоптическом диапазоне изменчивости является отображением распределения энергии сгонно-нагонных колебаний. При анализе таких колебаний уровня моря обычно рассчитываются экстремальные значения, тогда как среднюю оценку их энергии получить трудно. Результаты настоящего исследования позволили количественно оценить среднюю дисперсию сгонно-нагонных процессов и получить картину ее пространственной изменчивости. Также была оценена сезонная изменчивость дисперсии синоптических колебаний уровня Черного моря. Анализ показал, что дисперсия в зиминие месяцы в 2-2.5 раза выше, чем в летние.

С помощью численной модели были исследованы синоптические метеорологические (анемобарические) колебания уровня Черного моря. В качестве вынуждающей силы задавались поля изменений ветра и атмосферного давления над Черным морем за 1979-2010 гг. из данных реанализа NCEP/CFSR. По результатам численного моделирования удалось рассчитать осредненный спектр колебаний уровня Черного моря в мезомасштабном и синоптическом диапазонах. Также были получены оценки отдельных вкладов изменений атмосферного давления и приземного ветра в дисперсию метеорологических колебаний уровня Черного моря. Для выбранного периода 1979-1980 гг. расчеты колебаний уровня в узлах сетки проводились для трех вариантов - вынуждающая сила задавалась 1) суммарным действием атмосферного давления и касательных ветровых напряжений, 2) только градиентами атмосферного давления и 3) только касательными напряжениями ветра. Для каждого варианта рассчитывалась средняя энергия (дисперсия) колебаний уровня в узлах сетки. Максимальные значения общей дисперсии в сценарии 1 (ветер + атмосферное давление) наблюдаются в мелководной северо-западной части моря (до 50-70 см^2) и в юго-восточной части моря (до 18-20 см^2). Под воздействием ветрового напряжения формируются до 50-60% суммарной дисперсии в мелководной северо-западной части моря, а также вдоль западного побережья моря. Изменения атмосферного давления оказывает определяющий вклад (до 80-90%) в формирование колебаний уровня в глубоководных частях Черного моря.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН (тема № 0149-2019-0005).

Список литературы

1) Volkov D. L., Landerer F. W. Internal and external forcing of sea level variability in the Black Sea // Climate dynamics. 2015. Vol. 45, no. 9-10. P. 2633-2646. https://doi.org/10.1007/s00382-015-2498-0.

2) Медведев И.П. Дисперсионный анализ колебаний уровня Черного моря в широком диапазоне частот // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34. № 6. С. 489–500. doi:10.22449/0233-7584-2018-6-489–500.

ЦУНАМИ В АРКТИКЕ, ВЫЗВАННЫЕ СИЛЬНЫМИ УДАЛЕННЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В ТИХОМ ОКЕАНЕ

Медведев И.П.[1], **Куликов Е.А.**[1], **Медведева А.Ю.**[1], **Файн И.В.**[2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,*

[2]*Институт океанских наук, Британская Колумбия, Канада*

medvedev@ocean.ru

Ключевые слова: Арктика, цунами, Тихий океан, землетрясения.

Традиционно цунамиопасность в Арктике считается незначительной. Это объясняется, прежде всего, низкой сейсмической активностью региона. Однако отсутствие прямых свидетельств о проявлениях цунами может объясняться малонаселенностью Арктического побережья и весьма редкой сетью уровенных постов. В связи с экономическим освоением шельфа проблема цунамиопасности на побережье Арктики становится актуальной и требует проведения подробных исследований вероятных событий образования волн цунами.

Согласно геологическим данным в Арктике неоднократно наблюдались цунами различного происхождения. Примерно в 6100—6200 гг. до н. э. в Норвежском море на границе континентального шельфа в 100 км к северо-западу от Мёре-ог-Ромсдал (Норвегия) сошел гигантский оползень Сторегга, который вызвал сильное цунами, отмеченное по геологическим следам на побережье протяженностью 290 км - от северо-восточного побережья Англии до побережья Норвегии к северу от полярного круга. На побережье Норвегии высота максимальных волн цунами достигала 10-12 м, на Шетландских островах (Северное море) превышала 20 м, а на южном побережье Баренцева моря достигала 3-4 м [1].

Для арктического побережья России и прилегающего шельфа наибольшая опасность возникновения цунами сейсмотектонического происхождения исходит от землетрясений, возникающих в зоне подводного хребта Гаккеля, являющегося восточной частью Срединно-Арктического пояса. В этой зоне возможно возникновение землетрясений магнитудой $M_{\mathrm{w}} \sim 6.5$—7.0 с частотой 10^{-2} год$^{-1}$ и магнитудой $M_{\mathrm{w}} \sim 7.5$ с частотой 10^{-3} год$^{-1}$. В [2] для оценки цунамиопасности в арктическом регионе применялся метод численного сценарного моделирования двух наиболее сильных из зарегистрированных землетрясений в бассейне Северного Ледовитого океана: во всем арктическом регионе — в море Баффина (1933 г., $M_{\mathrm{w}} = 7.7$), а также в пределах подводного хребта Гаккеля в море Лаптевых (1964 г., $M_{\mathrm{w}} = 6.7$). Расчетная модель показала, что максимальная высота волн цунами на побережье в ближней зоне очага могла бы достигать 10 и 0.3 м соответственно.

Известно, что волны цунами, образованные сильнейшими землетрясениями, распространяются на огромные расстояния сохраняя свою разрушительную силу. Так, волны цунами, вызванные землетрясением с магнитудой $M_{\mathrm{w}} = 9.0$ в марте 2011 г. у берегов Японии, пересекли весь Тихий океан и даже проникли в Атлантический океан, достигнув берегов Бразилии. На противоположной от источника стороне Тихого океана, у берегов Калифорнии и Орегона (США) наблюдались волны высотой 4-5 м, а у берегов Чили - 3-4 м (на расстоянии около 17.5 тыс. км от источника!).

В мировой базе данных по цунами (NGDC/WDS, 2014 [3]) в настоящее время имеется единственное упоминание о проникновении в акваторию Северного Ледовитого океана волн цунами от сильнейших удаленных землетрясений в Атлантическом и Тихом океанах. 22 мая 1960 г. вблизи побережья Чили произошло сильнейшее землетрясение магнитудой $M_{\mathrm{w}} = 9.5$, которое вызвало волны цунами с высотой до 25 м в южной части Тихого океана. Согласно данным из [4] 23 мая 1960 г. волна цунами, вызванная этим землетрясением, наблюдалась в Чукотском море в Пойнт-Хоупе (северо-западное побережье Аляски). Однако о высоте волны ничего не сообщается.

В настоящем исследовании при помощи численного моделирования были воспроизведены сильнейшие цунами, произошедшие в Тихом океане в XX-XXI вв. Для этого была использована модификация известной численной модели распространения волн цунами в океане TUNAMI, в которой была реализована конечно-разностная аппроксимация уравнений мелкой воды [5]. Область расчета для численного моделирования распространения цунами покрывала весь Тихий и Северный-Ледовитый океаны с шагом 2'. Были промоделированы пять событий: $M_w \sim 9.5$ (Чили, 22 мая 1960), $M_w \sim 9.2$ (Аляска, США, 27 марта 1964), $M_w \sim 9.0$ (Камчатка и Курилы, СССР, 4 ноября 1952), $M_w \sim 9.0$ (Тохоку, Япония, 11 марта 2011), $M_w \sim 8.7$ (Крысьи острова, Алеутские о-ва, США, 4 февраля 1965).

Чилийское цунами в Анадрском заливе имело высоту до 0.7 м, в Бристольском заливе до 1 м, в заливе Нортон - до 0.3 м. В акватории Северного-Ледовитого океана вблизи Берингова пролива высота цунами составляла 0.1 м. Высота цунами, вызванного Аляскинским землетрясением, в Олюторском заливе достигала 0.7 м, в Бристольском заливе - до 0.5 м. В акватории Северного-Ледовитого океана высота цунами не превысила 0.1 м. Камчатское цунами в Анадырском заливе имело высоты до 0.2 м, а в Северном Ледовитом океане не более 0.05 м. Японское цунами в Северном-Ледовитом океане достигало высоты до 0.1 м. Крысиное цунами, очаг которого располагался на Алеутских островах, в заливе Нортон имело высоты до 0.3 м, до 0.5 м у побережья острова Святого Лаврентия. В Северном-Ледовитом океане высота не превысила 0.8 м.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН (тема № 0149-2019-0005) и при поддержке гранта РФФИ № 17-05-41144.

Список литературы

1) Bondevik S., Mangerud J., Dawson S. Record-breaking height for 8000-year-old tsunami in the North Atlantic // EOS. 2003. Vol. 84. P. 289–293.

2) Куликов Е.А. Иващенко А.И., Медведев И.П., Яковенко О.И., Ковачев С.А. К вопросу о цунамиопасности арктического региона // Арктика: экология и экономика. 2016. № 3 (23). С. 38–49.

3) NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database. doi:10.7289/V5PN93H7 // https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml.

4) Dudley W. C., Lee M. Tsunami!: Univ. of Hawaii Press, 1998. 362 p.

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. P. 1295–1307.

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ И СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Медведева А.В., Плотников Е.В., Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

Shift@mail.ua

Ключевые слова: последовательные спутниковые снимки высокого разрешения, дистанционное зондирование, мелкомасштабные процессы, субмезомасштабные процессы, вихри, внутренние волны.

Последовательные (квазисинхронные) спутниковые изображения высокого разрешения представляют собой пару изображений от разных ИЗС, на которых зафиксирован один и тот же район с малым временным интервалом - от минут до нескольких часов. Совмещение таких изображений с учетом координат каждого пикселя дает возможность оценить более широко не только пространственные характеристики явлений в морской среде, но и вычислить скоростные характеристики.

В настоящее время имеется свободный доступ к оптическим снимкам зарубежных ИЗС Landsat-7, Landsat-8 (разрешение - 15-30 м) и Sentinel-2 (разрешение - 10 м), из которых преимущественно и составляются квазисинхронные пары одиночных или комплексных сцен. К числу российских спутников, изображения которых также доступны для исследований, относятся Канопус-В (разрешение - 10,5 м) и Ресурс-П (разрешение - 3-4 м или 25-30 м в зависимости от сенсора).

Оценка характеристик по последовательным изображениям высокого разрешения возможна практически для всех явлений и процессов различных масштабов (преимущественно - малых и средних), выявляемых в видимом диапазоне - вихрей, струй, течений, волн различного генезиса, фронтов и иных. Так, например, вихревые структуры характеризуются не только с точки зрения географического положения и размеров, но и по параметру «фаза существования». На снимках в оптическом диапазоне вихри выявляются с помощью трассеров, в роли которых могут выступать взвеси, области с повышенным содержанием фитопланктона, молодой неспаянный лед и т. д. При совмещении последовательных изображений определяются динамические параметры вихрей - смещение в пространстве и орбитальное движение. В ряде случаев при четком визуальном распознавании вихревой структуры полностью или частично отсутствует вращательная составляющая явления, что свидетельствует о завершающемся (завершенном) этапе существования вихря. Напротив, при выраженном циклоническом или антициклоническом движении, выявляемом по паре/группе снимков, вихрь определяется как существующий на активной стадии эволюции.

Данные дистанционного зондирования предоставляют широкие возможности для оценки характеристик поверхностных проявлений внутренних волн, таких как размеры, направление движения, местоположение и т. д. С помощью квазисинхронных снимков возможно провести оценку скоростей смещения цугов внутренних волн, выделить предполагаемые районы генерации. По трансформации внутренних волн в прибрежных районах, используя дисперсионные соотношения, можно оценивать глубину перемешанного слоя и батиметрию. В частности, уверенно выявляется снижение скоростей смещения волн в цуге по мере приближения к берегу (например, на Севастопольском шельфе на паре снимков от 11 июля 2017 г. скорость движения волн снижается от значений порядка 0,27-0,34 м/с до 0,16-0,19 м/с).

В том случае, когда масштабы явления определяются единицами и десятками километров, дополнительную информацию дает привлечение снимков среднего разрешения (разрешение 250-500 м, например - Aqua и Terra MODIS). В частности, например, стало возможным наблюдение за изменением внутренней волны в Гибралтарском проливе (от 4 января 2018 г.) по пяти спутниковым изображениям, на которых постепенно проявляется неравномерное по скоростям распространение волн в цуге (из-за наличия вихря волны в северной части смещаются с большими скоростями, чем в южной).

В отдельных ситуациях по последовательным снимкам реализуется вычисление площадей таких явлений как речные плюмы (при достаточно четких границах с морской средой), нефтяные разливы, аномальные цветения сине-зеленых водорослей, что также в некоторой степени расширяет возможности мониторинга морской среды.

Исследование проводится в рамках проекта РФФИ 17-05-41102 РГО_а, а дополнительная оценка внутренних волн на основе данных дистанционного зондирования осуществляется также при поддержке проекта РФФИ 18-45-920036 р_а.

ЦУНАМИ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ: ИСТОРИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ И ВОЗМОЖНЫЙ НАИХУДШИЙ СЦЕНАРИЙ

Медведева А.Ю., Куликов Е.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова

alisa.bannikova@gmail.com

Ключевые слова: цунами, Каспийское море, моделирование, TUNAMI.

Каспийское море – это регион с относительно высокой сейсмической активностью. Его можно условно разделить на северную, отделенную Челекен-Апшеронским порогом с высокой сейсмической активностью, и центральную и южную части [1]. Это зона субдукции, где происходит погружение южной части Каспия (Альпийских структур) под северную Скифско-Туранскую плиту. Это проявляется в глубоких мантийных землетрясениях с M = 4.5–6.5. Второй важнейший процесс – это меридиональное прогибание Каспийской депрессии из-за ее несогласного простирания, по отношению к ориентации структур Альпийско-Гималайской складчатости. Этот процесс обуславливает возникновение уже более сильных и менее глубоких землетрясений с магнитудами более 6.5.

Наиболее сильными землетрясениями Каспийского региона были: Рудбарское (Иран) 1990 г. с Mw = 7.4 и Красноводское (Туркмения) 1895 г. с M = 8 ± 0.2. Также мощные землетрясения, произошедшие на суше и не затронувшие водную толщу, в данном районе – это Туркменское землетрясение 2000 г. с M = 7, Казанджикское 1946 г. с M = 7 и Большебалханское 2002 г. с M = 7.2-7.4. Моделирование очагов Рудбарского и Красноводского землетрясений и связанных с ними цунами было проведено в исследовании [2], максимальные высоты волн составили 1.5 м для случая Красноводска и всего 3 см – для северного Ирана (эпицентр располагался на суше). В настоящее время есть сведения о 14-ти исторических цунами или случаях аномальных колебаний уровня моря (высота волн не превышала 1-2 м) [3]. Причиной возникновения цунами в Каспии могут быть сейсмотектонические подвижки, подводные оползни, извержения подводных вулканов.

Согласно предыдущим исследованиям, наибольшая магнитуда возможных в исследуемом районе землетрясений достигает 8, в то же время магнитуда 6.8 [3] является минимально необходимой для возбуждения здесь волн цунами. По базе данных USGS [4], максимальная магнитуда землетрясений с 1900 г., произошедших непосредственно под водной толщей, составила 6.8, с расположением очага в 10 км к югу от Баку. Согласно базе данных CMT [5], максимальная Mw для Каспийского моря с 1979 г. также составила 6.8. Для среднего Каспия максимальные магнитуды колеблются в пределах 5.1–5.7. Для Апшеронского порога – это 6.5. Другими авторами ранее [1], установлено наличие семи зон повышенной сейсмической активности. Северная часть не подвержена опасности цунами ввиду низкой сейсмической активности и мелководности. Наиболее «эффективными» зонами генерации цунами являются области Южнокаспийской и Среднекапийской котловин [1]. В статье Доценко выявлены волноводные свойства мелководного Апшеронского порога, что приводит к повышенной цунамиопасности побережья Апшеронского п-ова и Красноводско-Челекенского участка побережья Каспийского моря.

Выполнение численного моделирования цунами в рамках детерминистского подхода было выполнено для районов Каспийска и Апшеронского полуострова. Для расчетов была применена разновидность программы TUNAMI [1], в которой реализуется конечно-разностная аппроксимация линейных уравнений мелкой воды в координатах, соответствующих меркаторской проекции [1]. Оценка высоты цунами проводилась на изобате 1 м. Для задания рельефа морского дна была взята база данных GEBCO (30″) в сочетании с

оцифрованными навигационными картами, для суши – были взяты односекундные данные SRTM (Shuttle radar topographic mission), находящиеся в открытом доступе. Итоговая расчетная сетка для всей акватории охватывает прямоугольник с координатами 36° с.ш., 46.5° в.д. – 47.5° с.ш., 54.4° в.д. размером 960x1380 с шагом 30″.

В качестве источника было задано землетрясение со следующими характеристиками: M = 8, Глубина – 19 км, Strike = 322°, Dip = 86°, Rake = 90°, Slip – 12.6 м, длина – 190 км, ширина – 35 км, координаты – 42.996° с.ш., 48.819° в.д. По полученным расчетам в Каспийске высота волны цунами при таком очаге составит 9.5 м. Такое простирание источника обусловлено расположением линеаментов, рассматривается максимальная магнитуда землетрясения, наихудшее, по отношению к Каспийску положение центра источника и наименьшая глубина очага землетрясения. Таким образом это - «наихудший сценарий». Если глубина залегания источника будет несколько большей, 30 км, то высота волны цунами в той же точке побережья, по проведенным расчетам, достигнет отметки 3.7 м, то есть практически в 2.5 раза меньше. Всего было проведено 100 тестовых расчетов с различными входными параметрами источников цунами.

Для случая Апшеронского полуострова также была проведена серия расчетов цунами для выявления «наихудшего сценария». Были проведены расчеты с накатом и без него на вложенных сетках (30″-6″-1″). Для описанного выше источника высота волны цунами может достигать 1.5-1 м для некоторых точек северного побережья полуострова . Затопление берега происходит на расстояние 200-300 м от уреза воды. Но «наихудший сценарий» для Каспийска не является таковым для Апшерона. Для полуострова были рассмотрены другие источники цунами, располагающиеся непосредственно на самом сейсмически активном Апшеронском пороге. Были получены оценки высот волн цунами на некоторых участках побережья они достигают 5-6 м.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН (тема № 0149-2019-0005) при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-05-01018).

Список литературы

1) Куликов Е. А., Кузин И. П., Яковенко О. И. Цунами в центральной части Каспийского моря //Океанология. – 2014. – Т. 54. – №. 4. – С. 473-473.

2) Periáñez R., Cortés C. A modelling study on tsunami propagation in the Caspian Sea //Pure and Applied Geophysics. – 2018. – С. 1-12.

3) Доценко С. Ф. и др. Цунами в Каспийском море: численное моделирование распространения из зон сейсмической генерации //Океанология. – 2001. – Т. 41. – №. 3. – С. 364-369.

4) https://earthquake.usgs.gov/

5) https://www.globalcmt.org/

СЕЗОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ: ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Медведева А.Ю., Медведев И.П.

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

alisa.bannikova@gmail.com

Ключевые слова: уровень, сезонные колебания уровня, Черное море.

Сезонные колебания уровня Черного моря формируются под влиянием множества различных факторов: речного стока, испарения, атмосферных осадков, водообмена с Мраморным морем через Босфор, с Азовским - через Керченский пролив, динамики течений, сезонной изменчивости полей атмосферного давление и ветра, изменений плотности воды. Вследствие изменчивости вынуждающих факторов, амплитуда и фаза сезонных колебаний уровня могут существенно меняться год от года к году, из-за чего применение классических методов спектрального и гармонического анализов позволяет получить лишь осредненные характеристики сезонных колебаний [1]. Для выявления изменяющихся характеристик сезонных колебаний (например, амплитуды) требуется применение методов, учитывающих нестационарность процесса.

В настоящем исследовании для выделения сезонных колебаний уровня Черного моря использовалась процедура сезонной коррекции X-12-ARIMA. Процедура была применена к длительным рядам прибрежных наблюдений и ежесуточных полей спутниковой альтиметрии с 1992 по 2017 гг. Максимальный размах сезонных колебаний составил 26 см. Максимумы размаха сезонных колебаний Черного моря наблюдаются в трех зонах: к юго-западу от п-ова Крым (44° с.ш., 32° в.д.), примерно в районе Севастопольского вихря, к западу от Сочи над Эвксинской абиссальной равниной и в юго-восточной части акватории к западу от Поти - Батуми (42° с.ш., 40° в.д.), в районе Батумского вихря. Т.о. одной из причин больших значений размаха сезонных колебаний уровня можно назвать квазистационарные вихри. Минимум обнаруживается у юго-западного побережья Черного моря, где размах колебаний приближается к 0-8 см у м. Калиакра (Болгария) и вблизи пролива Босфор у берегов Турции.

Одним из главных факторов, формирующих сезонные колебания Черного моря, является речной сток. Наибольший вклад в него вносит сток реки Дунай. В настоящем исследовании была изучена связь сезонных колебаний уровня моря с изменением речного стока. Для этого были использованы ежесуточные ряды наблюдений за расходом реки Дунай на посту Тулча-Измаил (Румыния, 45.216° с.ш., 28.716° в.д) за 1993-2010 гг. Были рассчитаны коэффициенты корреляции расхода реки с колебаниями уровня моря для каждого узла сетки массива суточных значений данных альтиметрии. Для прибрежных участков характерны высокие значения коэффициента корреляции (до 0.7-0.8), в глубоководной части моря связь колебаний уровня со стоком реки Дунай существенно ослабевает и в области максимальных значений размаха сезонных колебаний уровня в юго-восточной части моря коэффициент корреляции приближается к нулю. Для сравнения: в Каспийском море рассчитанный таким же образом коэффициент корреляции, связывающий расход Волги и колебания уровня Каспийского моря существенно ниже и практически нигде не превышает 0.5.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН (тема № 0149-2019-0005).

Список литературы

1) Korotaev G. K., Saenko O. A., Koblinsky C. J. Satellite altimetry observations of the Black Sea level //Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2001. – Т. 106. – №. С1. – С. 917-933.

ЦУНАМИ В ЧЕРНОМ МОРЕ: ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Медведева А.Ю., Куликов Е.А.

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

alisa.bannikova@gmail.com

Ключевые слова: цунами, Черное море, моделирование.

Исследованию цунами в Черном море посвящено большое количество научных работ [1, 2], ведь эта зона относится к сейсмически активной. За последние 3000 лет известно 50 цунамигенных событий, т.е. события различной интенсивности происходят 1-2 раза в 100 лет [3]. Источниками информации о цунами являются в основном свидетельства очевидцев, зафиксированные в летописях. Самый первый случай цунами в Чёрном море отмечен в I веке до н. э. Именно тогда погиб древнегреческий город Диоскурия (Сухуми), располагавшийся на территории современной Абхазии. Плиний Секунд описывает также гибель и других городов от цунами: "Страшный удар потряс землю. Берег раскололся, и взбешенное море поглотило города...". Наиболее разрушительные исторические цунами, когда высота волн составляла более 2-3 м, это: Сухуми (20 г. н.э.), Севастополь (109), Варна (543), Босфор (557), Евпатория (1341), когда произошло обширное затопление приморской суши, вглубь до 10 км, Форос (1427), Турция (1598). Причинившее наибольший человеческий ущерб подобное событие в Черном море - это цунами в Варне (Болгария). Тогда отмечались большие разрушения и многочисленные человеческие жертвы, а волна цунами набежала вглубь суши на 6 км. Предположительно, высота волны составила 8 м. Записи мареографов имеются для четырех цунами XX в.: 2 из них случились в 1927 г., еще 2 - в 1939 и 1966. Ялтинское землетрясение 1927 г. (11-12.09) вызвало волну цунами в Евпатории с высотой 53 см, в Севастополе и Ялте - 22-23 см, в Новороссийске - 18 см [3].

Сильные землетрясения под дном Черного и Каспийского морей происходят на глубинах 50-90 км, то есть в верхней мантии нашей планеты, и называются мантийными. Это происходит на границах раздела тектонических структур (прогибы, платформы, впадины). Исследование геологического строения Черноморской впадины показало, что ее пересекают 14 геологических разломов, разделяющих элементы тектонических структур северного Причерноморья. В частности, северо-западный шельф моря пересекают четыре таких разлома. Побережье Крыма является областью локальной повышенной сейсмичности. За 1853-1966 годы здесь наблюдалось 82 землетрясения магнитудой от 5 до 9 по шкале Рихтера. Зона очагов землетрясений располагается вдоль континентального склона непрерывной полосой от Севастополя до Феодосии с максимальной активностью у Ялты.

В результате тектонических подвижек 11 ноября 1927 года морской блок земной коры в районе Южного берега Крыма в эпицентре землетрясения (25 км от Ялты) и на удалении 100 км от берега опустился, а континентальный - поднялся. Тогда протяжённость очага цунами составила примерно 100 км. Из рапорта коменданта Севастополя того времени высшему начальству, следует, что во время крымской катастрофы на море в ночное время в направлении от Евпатории, Севастополя и мыса Лукулл отмечались вспышки огня белого цвета высотой 500 м и шириной 1.5-2 км. "Морские пожары" наблюдались как раз над Криворожско-Евпаторийским разломом.

По данным каталога USGS с 1900 г. насчитывается 12 землетрясений с магнитудой M больше 5.9. Наиболее сильное из них - это землетрясение с M=7.9 (26.12.1939) 39.771°, с.ш. 39.577° в.д., произошедшее в северо-восточной Турции в отдалении от побережья, однако, частично, очаг располагался под дном Черного моря, что вызвало волны цунами. Площадь, на которой ощущалось землетрясение имела практически эллиптическую

форму с осями 1300 и 600 км. Эта серия толчков вызвала сильные разрушения на западе Турции, на побережье Мраморного моря, унесла жизни свыше 23 000 человек, а также привела к обширным затоплениям. Вода в Фатсе (Турция) отошла от берега на 50 м, а затем море наступило на берег на 20 м против совей обычной отметки. В Новороссийске и Севастополе наблюдались волны высотой около полуметра. Также очень интересным явлением, неоднократно наблюденным в Черном море, и в частности в Одессе в 2014 г. - это метеоцунами [4]. Это длинные океанские волны, имеющие те же характерные временные и пространственные масштабы, что и сейсмические волны цунами, но вызванные атмосферными возмущениями.

Ни одно из наблюденных цунами серьезной опасности для жизнедеятельности человека не представляло, но в то же время случаи сильных цунами по историческим источникам имели место быть (Диоскурия, Варна). Таким образом, если гипотетически предположить, что землетрясение подобное Турецкому 1939 г., произойдет непосредственно под дном Черного моря, то это может привести к катастрофическим последствиям. Вблизи побережья Кавказа и Крыма такие землетрясения маловероятны, но у берегов Турции нельзя исключать их возможность.

В данной работе для расчетов была применена разновидность программы TUNAMI, в которой реализуется конечно-разностная аппроксимация линейных уравнений мелкой воды в координатах, соответствующих меркаторской проекции [5]. Решается задача Коши, т.е. предполагается, что в начальный момент жидкость находится в состоянии покоя и задано начальное отклонение свободной поверхности океана. Для задания рельефа морского дна была использована база данных GEBCO (30”), для суши - односекундные данные SRTM (Shuttle radar topographic mission), находящиеся в открытом доступе. Был задан источник со следующими параметрами: 44.428° с.ш., 34.422° в.д., глубина 17.5 км, Mw 7.2, смещение составило 2.8 м, длина источника цунами 64 км, ширина - 19 км. Этот источник был помещен вблизи Крымского побережья, где имело место быть Ялтинское землетрясение 1927 г. На побережье максимальные высоты цунами составили по результатам моделирования составили: 16.3 см в Севастополе, 18.8 см в Новороссийске, 15.5 см в Геленджике, в Синопе 25.2 см, в Трабзоне 8.3 см.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН (тема № 0149-2019-0005) при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-05-01018).

Список литературы

1) Dimova L., Raykova R. Observations and modeling of tsunamis in the Eastern Mediterranean //Ann. Univ. Sofia “St. Kliment Ohridski”, Faculty of Physics. – 2016. – V. 109. – P. 24-41.

2) Базыкина А. Ю., Жук Е. В., Халиулин А. Х. Использование геоинформационной системы для отображения результатов моделирования распространения длинных волн типа цунами в прибрежной зоне Черного моря //Морской гидрофизический журнал. – 2017. – №. 3 (195).

3) Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР //М.: изд-во МГУ. – 1982. – Т. 192.

4) Šepić J. et al. Widespread tsunami-like waves of 23-27 June in the Mediterranean and Black Seas generated by high-altitude atmospheric forcing //Scientific reports. – 2015. – V. 5. – P. 11682.

5) Куликов Е. А., Кузин И. П., Яковенко О. И. Цунами в центральной части Каспийского моря //Океанология. – 2014. – Т. 54. – №. 4. – С. 473-473.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ С РАЗРЕШЕНИЕМ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ

Мизюк А.И.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

artem.mizyuk@gmail.com

Ключевые слова: численное моделирование циркуляции, Черное море, пространственная изменчивость, высокопроизводительные вычисления.

В работе исследуются особенности пространственной изменчивости квазиреальных гидрофизических полей Черного моря по результатам численного моделирования с различным горизонтальным разрешением: от 4,5 до 1 км. Актуальность подобных исследований обусловлена все большей доступностью вычислительных ресурсов и переходом морских и атмосферных прогнозов от глобальных масштабов к региональным. В частности, данная задача появилась в связи с созданием прототипа отечественной системы непрерывного анализа и прогноза состояния океана (СНАПО), которая реализуется в том числе и для Азово-Черноморского бассейна. Представленные результаты численного моделирования получены на новом вычислительном кластере Морского гидрофизического института РАН. Основным инструментом исследования является параллельная реализация модели NEMO [1]. Региональные конфигурации для численных экспериментов аналогичны и отличаются только горизонтальным пространственным разрешением с соответствующим для него тюнингом параметров бокового турбулентного обмена. В качестве атмосферного воздействия использовались поля реанализа ERA5 [2] с разрешением 0,25 градуса. В докладе представлены результаты сопоставления структуры и эволюции гидрофизических полей в отдельных частях бассейна. Наиболее выраженные различия в пространственной изменчивости при переходе к разрешению субмезомасштабных процессов демонстрируются на примере области струи Основного Черноморского течения (ОЧТ) в северо-западной части моря на основе как визуального анализа, так и пространственных спектров. Сопоставление результатов моделирования и спутниковых измерений высокого разрешения показало хорошее согласование воспроизведенных динамических структур для разрешений 1 км и 1,8 км (в меньшей степени). Анализ баланса членов в уравнении турбулентной кинетической энергии показал различия в зависимости от разрешения, но в целом не влияет на выводы об определяющих механизмах формирования вихрей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-30001).

Список литературы

1) Madec G. NEMO reference manual, ocean dynamics component // Note du pôle de modélisation, IPSL, France N°27 ISSN No 1288-1619, 2008 P. 1288 – 1619.

2) Copernicus Climate Change Service (C3S) ERA5 Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate // Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), 2017 (https://cds.climate.copernicus.eu).

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ВОЛНОГАСЯЩИХ СВОЙСТВ ПОДВОДНЫХ ВОЛНОЛОМОВ

Михайличенко С.Ю., Иванча Е.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

liham1984@rambler.ru

Ключевые слова: негидростатическая модель SWASH, модельный бассейн, уклон дна, поверхностные волны, волнолом, высоты значительных волн, коэффициент трансформации, коэффициент шероховатости.

С использованием гидродинамической модели SWASH [1] в работе проведено исследование трансформации поверхностного волнения при прохождении над подводными берегозащитными сооружениями варьируемой геометрии в модельном бассейне с переменной топографией дна. В первой части работы проведен анализ влияния коэффициента шероховатости и уклона дна на трансформацию распространяющихся волн. Численные расчеты показали, что коэффициент шероховатости оказывает существенное влияние на величину диссипация волновой энергии, которая может достигать значений в 90-95%. Определена зависимость величин коэффициентов трансформации от типа и длин поверхностных волн. Показано, что наибольшему ослаблению подвергается нерегулярное волнение, для которого величины коэффициентов трансформации минимальны (K_{tr}=0.5-0.6). Наименьшему влиянию оказались подвержены одиночные волны с солитоноподобным профилем (K_{tr}=0.9-0.95). Во второй части работы исследовалось влияние геометрических параметров [2, 3], различных вариантов схем расположения подводных волноломов, а также угла подхода волн и формы подводных препятствий на характер взаимодействия с берегозащитными сооружениями. Результаты расчетов показали слабую зависимость высот и энергий проходящих волн от формы волноломов. Исследовано влияние физических характеристик модельного бассейна и геометрических параметров берегозащитных сооружений (высоты и ширины волноломов) на величины коэффициентов трансформации. Показано, что высота подводных берегозащитных сооружений оказывает более существенное влияние на трансформацию проходящих поверхностных волн (K_{tr}=0.4-0.9), нежели ширина препятствия (K_{tr}=0.6-0.8). Также было исследовано совместное влияние различных перечисленных факторов на характер и интенсивность волновых полей и проанализирована эффективность гашения волновой энергии гидротехническими сооружениями. Были определены основные факторы и их комбинации, оказывающие наиболее заметное влияние на высоты и энергии поверхностных 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»)

Список литературы

1) SWASH User Manual / The SWASH team. – Netherlands: Delft University of Technology, 2012.– V. 1.10A. – 91 p.

2) Корзинин Д.В. Трансформация волн над погруженным баром по данным физического и математического моделирования // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2017. – № 4. – С. 14–21.

3) Михайличенко С.Ю., Иванча Е.В. Численное моделирование взаимодействия поверхностных гравитационных волн с одиночным волноломом // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2017. – № 4. – С. 22–29.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ С ДЕТАЛИЗАЦИЕЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

Мысленков С.А.[1,2]

[1] *Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации,*

[2] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

stassas@yandex.ru

Ключевые слова: прогноз ветрового волнения, моделирование волнения, SWAN, Черное море, Азовское море.

Существует несколько различных систем прогноза ветрового волнения для морей, омывающих берега России [1, 2, 3]. Не менее важным является прогнозирование параметров ветрового волнения с высоким пространственным разрешением для прибрежной зоны и небольших акваторий (бухт, гаваней, портов и др.).

В данной работе описаны результаты развития системы прогноза ветрового волнения для Черного и Азовского морей с детализацией в прибрежной зоне [4]. В основе этой системы - спектральная волновая модель SWAN, которая работает на неструктурной вычислительной сетке. В качестве форсинга используются прогностические поля ветра GFS с разрешением 0.25° и прогнозы COSMO-RU с разрешением 7 км. Вычислительная сетка включает в себя Черное и Азовское моря с шагом по пространству 6-12 км в открытом море и прибрежную зону РФ с шагом 300-600 м. Общее количество узлов сетки 37430.

Система обеспечивает прогнозирование на срок до 5 суток с шагом по времени 3 часа таких характеристик ветрового волнения, как: высоты значительных волн (англ. "significant wave height"), среднего направления распространения волн, средней длины, среднего периода.

Для оценки качества прогнозов ветра и волнения использовались спутниковые данные альтиметра AltiKa, находящегося на борту спутника SARAL. Данные о высоте значительных волн и скорости ветра имеют пространственное разрешение около 7 км и доступны на сайте базы данных RADS (Radar Altimeter Database System). Результаты работы прогностической системы, при использовании форсинга COSMO-RU за период с 15.03.2017 по 31.01.2018 сравнивались со спутниковыми данными. Сравнение проводилось для акватории Черного моря. Данные спутниковых измерений, которые находятся на расстоянии менее 10 км от берега, были удалены, так как их качество является неудовлетворительным. Таким образом полученные оценки, скорее, отражают качество работы модели на глубокой воде.

В результате были получены оценки качества прогнозов скорости ветра и высоты волн для разной заблаговременности. Для высоты волн коэффициент корреляции на первые сутки прогноза составляет 0.8-0.9, СКО 0.32-0.36 м, Bias около -0.15 м. На третьи сутки коэффициент корреляции уменьшается до 0.65-0.7, СКО до 0.48 м, Bias около -0.13 м. Для скорости ветра коэффициент корреляции составляет около 0.8 на первые сутки, СКО 1.7-1.8 м/с, Bias около -0.1 м/с. На третьи сутки коэффициент корреляции уменьшается до 0.6, СКО до 2.48 м/с, Bias около -0.1 м/с.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80088.

Список литературы

1) Ратнер Ю.Б., Фомин В.В., Иванчик А.М., Иванчик М.В. Система оперативного прогноза ветрового волнения Черноморского центра морских прогнозов // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 5 (197). С. 56-66.

2) Зеленько А.А., Реснянский Ю.Д., Струков Б.С. Результаты испытаний системы прогнозирования ветрового волнения в мировом океане // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. 2016. № 43. С. 133-147.

3) Мысленков С.А., Архипкин В.С. Система регионального прогноза ветрового волнения в Цемесской бухте Черного моря // Труды ГОИН. 2014. Т. 215. С. 117-125.

4) Мысленков С.А., Столярова Е.В., Архипкин В.С. Система прогноза ветрового волнения в Черном море с детализацией в шельфовых зонах // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. 2017. № 44. С. 126-135.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО МАССИВА КЛИМАТИЧЕСКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ И СОЛЕНОСТИ

Нечаев С.С., Маркова Н.В., Демышев С.Г., Белокопытов В.Н.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

sevli512@gmail.com

Ключевые слова: климат Черного моря, моделирование, циркуляция, ассимиляция.

Основная задача данной работы - оценить влияние на результаты моделирования климатических гидрофизических полей Черного моря изменений в усваиваемом в численной модели массиве гидрологических климатических данных по температуре и солености. Для проведения численных экспериментов используется трехмерная нелинейная вихреразрешающая модель динамики Черного моря, разработанная в Морском гидрофизическом институте [1].

Предыдущий вариант расчета климатической циркуляции Черного моря на основе указанной модели на сетке 5 км был проведен в 2007 г. и его результаты опубликованы в [2]. Однако, с тех пор ассимилируемый в модели массив гидрологических данных [3] был обновлен и дополнен, а методика его получения - усовершенствована [4].

Климатические поля показывают некоторое среднее, типичное распределение параметров морской среды. Рассчитанные на каждые сутки года, они позволяют исследовать внутрисезонную изменчивость температуры, солености, приведенного уровня, скорости течений.

На каждом шаге по времени трехмерные поля (и двумерное поле уровня) рассчитываются интегрированием системы нелинейных дифференциальных уравнений с начальными и краевыми условиями на поверхности моря, твердых и жидких границах. В интегрируемую систему уравнений входят уравнения движения, неразрывности, уравнение состояния и уравнения адвекции-диффузии тепла и соли. В уравнениях адвекции-диффузии в качестве источников периодически включаются ассимиляционные слагаемые, содержащие данные ассимилируемого гидрологического массива, и таким образом происходит подтяжка модельных полей к гидрологическим. Эта методика впервые была применена в исследованиях [5,6] и доказала свою эффективность.

В представленной работе показаны основные различия в итогах двух численных экспериментов, сопоставлены соответствующие модельные поля температуры, солености, течений и приведенного уровня моря. Установлено, что наибольшие качественные и количественные отличия в сравнении с вариантом расчета [2] получены для областей с высокой изменчивостью гидрофизических полей, зон с активной динамикой, а также областей, наименее обеспеченных натурными наблюдениями, где чувствительность к поступлению новых данных высока.

Исследования проводились в рамках госзадания. По теме № 0827-2018-0002 выполнена часть исследования Марковой Н.В. и Демышева С.Г.; по теме № 0827-2018-0003 реализована часть работы Нечаева С.С.; работа Белокопытова В.Н. выполнена по теме госзадания № 0827-2018-0001.

Список литературы

1) Korotaev G.K., Demyshev S.G., Knysh V.V. Three-dimensional climate of the Black Sea // Black Sea Ecosystem Processes and Forecasting. Operational Database Management

System. Report of the Workshop and Project Evaluation Meeting Istanbul, May, 15 – 16, 2000. Erdemli: IMS METU, 2000. P. 1–20.

2) Демышев, С.Г., Иванов В.А., Маркова Н.В., Черкесов Л.В. Построение поля течений в Черном море на основе вихреразрешающей модели с ассимиляцией климатических полей температуры и солености // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика. 2007. Вып. 15. С. 215–226.

3) Белокопытов В.Н. Термохалинная и гидролого-акустическая структура вод Черного моря. Дисс. . . . канд. геогр. наук. // Севастополь: МГИ НАН Украины. 2004. 160 с.

4) Belokopytov V.N. Retrospective Analysis of the Black Sea Thermohaline Fields on the Basis of Empirical Orthogonal Functions. Physical Oceanography, [e-journal] №25(5). 2018. P. 380-389. doi:10.22449/1573-160X-2018-5-380-389.

5) Демышев, С.Г., Коротаев Г.К. Численная энергосбалансированная модель бароклинных течений океана на сетке С // Численные модели и результаты калибровочных расчетов течений в Атлантическом океане. М.: ИВМ РАН, 1992. С. 163–231.

6) Кныш В.В., Демышев С.Г., Коротаев Г.К. Методика реконструкции климатической сезонной циркуляции Черного моря на основе ассимиляции гидрологических данных в модели / // Морской гидрофизический журнал. 2002. № 2. С. 36–52.

ОЦЕНКА БАРОКЛИННОГО РАДИУСА ДЕФОРМАЦИИ РОССБИ В МОРЯХ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА

Новоселова Е.В., Белоненко Т.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

novoselovaa.elena@gmail.com

Ключевые слова: бароклинный радиус деформации Россби, Северная Атлантика.

Радиус деформации Россби – это масштаб длины, имеющий фундаментальное значение в динамике атмосферы и океана. По существу, он является горизонтальным масштабом, на котором эффекты вращения (грубого типа) становятся такими же важными, как и эффекты плавучести [1].

Для расчёта этой характеристики существует три наиболее распространённых метода, которые и применяются в настоящей работе. В первом из них используется средняя по глубине частота Вяйсяля-Брента, для расчёта используется следующая формула:

$$R_n = \frac{NH}{n\pi f}, \tag{5}$$

где $N = \sqrt{-\frac{g}{f}\frac{\partial \rho}{\partial z}}$ - средняя по глубине частота Вяйсяля-Брента, g – ускорение свободного падения, ρ – плотность воды, H – глубина, f – параметр Кориолиса.

Второй метод основан на ВКБ-приближении и был предложен Челтоном [2]. В каждой точке определяется профиль частоты Вяйсяля-Брента, который интегрируются для определения значения фазовой скорости n-ой моды волн Россби (c_n) а затем рассчитывается радиус Россби (R_n)[3]:

$$R_n = \frac{c_n}{f}, \tag{6}$$

$$c_n \approx \frac{1}{n\pi} \int\limits_{-H}^{0} N(z)\, dz. \tag{7}$$

Третий метод основан на применении двухслойной модели океана [4]. В этом случае для каждого профиля определяется глубина с максимальным значением частоты Вяйсяля-Брента, которая затем принимается глубиной границы между слоями [3].

$$R_1 = \frac{1}{f}\sqrt{g'\frac{h_1 h_2}{h_1 + h_2}}, \tag{8}$$

где $g' = g\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2}$, h_1, h_2 – толщина верхнего и нижнего слоев, ρ_1, ρ_2 – плотность верхнего и нижнего слоёв.

Для проведения вышеприведённых расчётов мы использовали данные массива ARMOR-3D, который является синтезом данных in situ и спутниковых измерений. Разрешение массива – 1/4° по широте и долготе, временная дискретность – 1 месяц, диапазон глубин – от 0 до 5500 (33 горизонта). В работе использовался временной период с 15.01.1993 по 15.12.2016, область ограничена координатами: 40° з.д. – 30° в.д., 64° – 83° с.ш.

Выяснено, что максимальные величины радиуса деформации Россби (до 8-9 км) наблюдаются в Лофотенской котловине и в северной части исследуемого района ($\sim 82°$ с.ш.) – в областях максимальных глубин. Сравнение оценок радиуса, полученных различными методами, выявило различия в пространственном распределении величин, которые связаны с особенностями методов. В частности, оценки радиуса деформации, вычисленного по

формуле для двухслойной жидкости, существенно зависят от глубины h1, которая определяется эмпирическим способом. Межгодовая изменчивость не является ярко выраженной. Присутствует сезонная изменчивость, наибольшие значения характеристики достигаются в тёплое время года (июль-сентябрь).

Заявленная тема является крайне актуальной, так как при всей простоте подходов, значения радиуса Россби, полученные в разных работах, существенно отличаются. В частности, в [5] указывают, что в районе Лофотенского вихря (область, ограниченная 69° – 70° с.ш. и 3° в.д. – 5° в.д.) бароклинный радиус деформации равен 20-25 км. В [6] для области, ограниченной 69° – 7° с.ш., 0° – 8° з.д., определяет радиус деформации равным 27,8 км. Мы считаем, что данные оценки являются ошибочными и возникли из-за того, что авторы, рассчитывая радиус по формуле ВКБ, не включили в знаменатель число π.

В то же время в [7], рассчитывая радиус деформации через задачу Штурма-Лиувилля (метод ВКБ-приближения) получают в области Лофотенского вихря значение 12 км, а рассчитывая радиус другим способом – по формуле для двухслойной жидкости, получает значение 8 км. Подобные оценки получены также в работах [2, 8]. Наши оценки радиуса согласуются с оценками в [2, 7, 8]. Мы рассчитываем, что наше исследование будет способствовать установлению истины в подходах к оценке бароклинного радиуса деформации Россби.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-17-00027.

Список литературы

1) Гилл А. Динамика атмосферы и океана: в 2-х томах. Т. 2. М.: Мир, 1986. 415 с.

2) Chelton D.B., de Szoeke R.A., Schlax M.G., El Naggar K., Siwertz N. Geographical variability of the first-baroclinic Rossby radius of deformation // J. Phys. Oceanogr. 1998. V. 28. P. 433–460.

3) Белоненко Т.В., Кубряков А.А., Станичный С.В. Спектральные характеристики волн Россби северо-западной части Тихого океана по спутниковым альтиметрическим данным // Исследование Земли из космоса. 2016. № 1–2. С. 43–52.

4) Ле Блон П., Майсек Л. Волны в океане. В двух частях. М.: Мир, 1981. 365 с.

5) Volkov, D. L., Kubryakov, A. A., Lumpkin R. Formation and variability of the Lofoten basin vortex in a high-resolution ocean model // Deep-Sea Res. I, 105. 2015. P. 142–157.

6) Köhl, A. Generation and Stability of a Quasi-Permanent Vortex in the Lofoten Basin // J. Phys. Oceanogr. 37, 2007. P. 2637–2651.

7) Fer I., A. Bosse, et al. The dissipation of kinetic energy in the Lofoten Basin Eddy // Journal of Physical Oceanography. 2018. doi:10.1175/JPO-D-17-0244.1

8) Nurser A. J. G., Bacon S. The Rossby radius in the Arctic Ocean // Ocean Sci. 2014. V. 10. P. 967–975.

ВЛИЯНИЕ ЭСТУАРНЫХ И ДЕЛЬТОВЫХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЮМОВ БОЛЬШИХ РЕК В КАРСКОМ МОРЕ И МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

Осадчиев А.А., Седаков Р.О., Щука С.А., Медведев И.П.

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

osadchiev@ocean.ru

Ключевые слова: речной плюм, речной эстуарий, речная дельта, приливы, Обь, Енисей, Лена, Хатанга, Карское море, море Лаптевых.

Работа посвящена исследованию процессов формирования плюмов большими арктическими реками (Обь, Енисей, Лена и Хатанга) в Карском море и море Лаптевых. На основе данных натурных измерений, включающих в себя непрерывные термохалинные измерения в поверхностном слое по ходу движения судна и вертикальные зондирования на гидролрогических станциях, собранных в рамках 63-го, 66-го и 69-го рейсов НИС "Академик Мстислав Келдыш", а также спутниковых данных MODIS мы показываем, что эстуарные и дельтовые условия формирования этих речных плюмов существенно влияют на их структуру и, тем самым, на динамику их распространения и перемешивания в открытом море. Обская губа, Енисейский и Хатангский заливы и дельта Лены характеризуются большими различиями в морфологии, батиметрии, циркуляционных и приливных условиях, годовом распределении и объемах поступающего в них пресноводного стока, что приводит к значительным различиям в структуре формируемых в них речных плюмов.

Неглубокие и узкие протоки дельты Лены практически не испытывают влияния затоков морской воды, в результате чего нетрансформированный речной сток поступает в открытое море из многочисленных дельтовых проток, расположенных вдоль длинного участка морского берега. Из-за этого плюм Лены, формирующийся в придельтовой части, характеризуется гораздо большей вертикальной стратификацией по сравнению с плюмами Енисея, Оби и Хатанги, трансформирующихся в своих широких и глубоких эстуариях в результате взаимодействия с затекающими придонными морскими водами. Относительно невысокая скорость поступления вод реки Лена в море из дельтовых проток также способствует низкой интенсивности перемешивания речных и морских вод, основной вклад в которую вносит сдвиговая нестабильность на нижней границе речного плюма.

Среди рассматриваемых в данной работе эстуарных плюмов наиболее интенсивное перемешивание с морскими водами испытывает плюм реки Хатанга, вызванное сильной приливной циркуляцией в Хатангском заливе, чья амплитуда достигает 2 м, а скорость течения 1.2 - 1.7 м/с. Это приводит к формированию перемешанного вертикального слоя, т.е. не вертикальных, а горизонтальных градиентов солености в мелководной части Хатангского залива. Таким образом, слабо стратифицированный плюм Хатанги занимает всю толщу воды в мелководной части Хатангского залива и, тем самым, имеет аномальную толщину (превышающую толщину плюмов Оби и Енисея) с учетом относительно невысокого расхода реки Хатанга. Соленость плюма Хатанги постепенно растет при удалении от речного устья. При дальнейшем распространении плюма Хатанги в глубокую часть Хатангского залива, соединенную с мелководной частью узким проливом, затрудняющим водообмен между ними, плюм Хатанги отделяется от дна и быстро диссипирует из-за интенсивного приливного перемешивания с морскими водами, занимающими придонный слой в глубоководной части залива.

Приливная циркуляция в Обской губе и Енисейском заливе гораздо меньше, чем в Хатангском заливе, в результате чего в этих эстуариях формируются приповерхностные

плюмы. Вертикальные размеры и соленость в плюмах Оби и Енисея в эстуариях существенно меньше, чем в плюме Хатанги. Вертикальная стратификация плюмов Оби и Енисея в эстуариях в первую очередь зависит от объема поступающего материкового стока и сдвига скорости между плюмом и нижележащим морем, т.е. скорости течения в плюме. Вышеописанные характеристики Обской губы и Енисейского залива имеют значительные различия из-за различий в режимах впадающих рек и морфологических характеристиках этих заливов. Река Енисей имеет ярко выраженный паводок в июне-июле, в процессе которого в море поступает большая часть годового стока реки, в то время как паводок у реки Обь длится относительно равномерно с июля по октябрь. Протяженность Обской губы (800 км) от речного устья до открытого моря гораздо больше, чем у Енисейского залива (200 км), в то время как ширина этих заливов схожа (25-50 км). В результате этих факторов скорость в плюме Енисея, распространяющемся от устья реки в сторону открытого моря в паводковый период (июнь-июль), гораздо больше, чем скорость в плюме Оби, что приводит к большей сдвиговой неустойчивости, более интенсивному перемешиванию и меньшей стратификации плюма Енисея в это период. В период с августа по октябрь скорость течения в плюме Енисея падает и становится меньше скорости в плюме Оби. Из-за этого, а также из-за более интенсивной приливной циркуляции в Обской губе плюм Оби становится менее стратифицированным, чем плюм Енисея. Вышеописанные особенности формирования плюмов Оби и Енисея в эстуариях и их сезонная изменчивость существенным образом влияют на процессы дальнейшего распространения, взаимодействия между собой и перемешивания этих плюмов в открытой части Карского моря.

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания ФАНО России, тема 0149-2019-0003 (сбор натурных данных); при поддержке РНФ, проект 18-17-00089 (анализ натурных данных); при поддержке РФФИ, проекты 18-05-60069 (сбор и анализ спутниковых данных) и 18-05-00019 (исследование речных плюмов); при поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК-6168.2018.5 (исследование переноса пресноводного стока).

ПЕРЕНОС ПРЕСНЫХ ВОД МЕЖДУ КАРСКИМ МОРЕМ, МОРЕМ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКИМ МОРЕМ

Осадчиев А.А.[1], **Писарева М.Н.**[1], **Спивак Э.А.**[2]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

[2] *Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия*

osadchiev@ocean.ru

Ключевые слова: пресноводный сток, речной плюм, опресненная линза, Сибирское течение, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море.

Работа посвящена исследованию крупномасштабных процессов переноса пресноводного стока в шельфовых зонах российского сектора Арктики. Около двух третей годового объема материкового стока в Северный Ледовитый океан поступает в Карское море, море Лаптевых и Восточно-Сибирское море в течение нескольких месяцев во время летнего половодья. Таким образом, в этих морях формируются опресненные линзы, характеризуемые значительными вертикальными градиентами солености, на обширных участках шельфа и континентального склона суммарной площадью в сотни тысяч квадратных километров. Эти опресненные линзы, представляющие собой одни из крупнейших резервуаров пресной воды в Арктике, аккумулируются в шельфовой зоне и в дальнейшем переносятся в рамках циклонического круговорота поверхностных вод в Северном Ледовитом океане. Процессы переноса опресненных линз и их трансформации в результате смешения с нижележащими солеными морскими водами играют важнейшую роль в формировании соленостной стратификации поверхностного слоя в Северном Ледовитом океане. В высокоширотных водоемах, таких как Северный Ледовитый океан, поверхностные воды холоднее глубинных в холодный период года. В результате, пикноклин в этих водоемах формируется благодаря соленостной, а не температурной стратификации, и галоклин изолирует поверхностные воды от глубинных. В силу того что морской лед в открытом океане формируется только в случае существования постоянного пикноклина, ограничивающего тепловую конвекцию, соленостная стратификация в Арктике играет ключевую роль в изменчивости ледяного покрова и регионального альбедо, влияющего на климатические процессы в глобальном масштабе. Кроме того соленостная стратификация ограничивает восходящий поток тепла от глубинного притока более теплых атлантических и тихоокеанских вод, что также влияет на образование ледяного покрова в Арктике. Крупномасштабный перенос и трансформация пресноводного стока также оказывают существенное влияние на многие региональные процессы в Арктике, такие как циркуляция вод, перенос взвешенных и растворенных веществ, образование первичной продукции, распределение антропогенного загрязнения, асидификация, отложение терригенного материала в шельфовых районах Арктики.

В рамках данной работы исследовались процессы зонального переноса опресненных линз в российской Арктике, а именно, перенос линзы Карского моря через пролив Вилькицкого в море Лаптевых и перенос линзы моря Лаптевых через проливы Дмитрия Лаптева и Санникова в Восточно-Сибирское море. На основе натурных данных было показано, что эти переносы не являются стационарными, т.е. периодически формируются, но не существуют непрерывно в течение всего года. Более того, была зарегистрирована синоптическая изменчивость процесса формирования пресноводного переноса между морями и установлена ее связь с региональным ветровым воздействием на основе данных атмосферных реанализов. Восточный перенос линзы Карского моря в море Лаптевых через пролив Вилькицкого был зарегистрирован в 2012 и 2018 годах, в оба этих года также была

зарегистрирована перестройка и остановка этого переноса в результате изменения формирующей его атмосферной циркуляции. В периоды экспедиционных измерений в проливе Вилькицкого в 2007, 2015, и 2017 годах этот перенос не наблюдался. Восточный перенос линзы моря Лаптевых в Восточно-Сибирское море был зарегистрирован в 2011, 2016 и 2017 годах. В 2017 году также была зафиксирована смена восточного переноса линзы моря Лаптевых на северный перенос в результате синоптической изменчивости регионального ветра, которая привела к остановке пресноводного переноса из моря Лаптевых в Восточно-Сибирское море. На основе натурных данных и данных атмосферных реанализов были получены численные оценки скорости отклика формирования и прекращения восточного переноса исследуемых опресненных линз на синоптическую изменчивость ветра. На основе полученных результатов были восстановлены и проанализированы частота и продолжительность процессов переноса линзы Карского моря в море Лаптевых и перенос линзы моря Лаптевых в Восточно-Сибирское море за последние 30 лет.

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания ФАНО России, тема 0149-2019-0003 (сбор натурных данных); при поддержке РНФ, проект 18-17-00089 (анализ натурных данных); при поддержке РФФИ, проекты 18-05-60069 (сбор и анализ спутниковых данных) и 18-05-00019 (исследование речных плюмов); при поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК-6168.2018.5 (исследование переноса пресноводного стока).

ОЦЕНКА РОЛИ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ВЫСОТЫ НАГОНОВ В СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Павлова А.В., Архипкин В.С., Мысленков С.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

anna.pavlova-16@yandex.ru

Ключевые слова: сгонно-нагонные колебания, ADCIRC, моделирование, Каспийское море, уровень моря.

Величина сгонно-нагонных колебаний уровня моря у побережья Северного Каспия зависит в основном от метеорологических (анемобарических) условий. Наблюдения за уровнем моря в Северном Каспии проводятся только на небольшом количестве прибрежных станций 4 раза в сутки, что не позволяет выявить пространственно-временную изменчивость сгонно-нагонных колебаний уровня. В связи с этим, для выявления особенностей их формирования применялось математическое моделирование. Для этой цели была выбрана численная гидродинамическая модель ADCIRC (Advanced Circulation), включающая в себя и спектральную модель ветрового волнения SWAN [2].

В численных экспериментах использовалась нерегулярная триангуляционная расчетная сетка, занимающая все Каспийское море, состоящая из 71523 элементов с минимальным шагом 500 м в прибрежной зоне Северного Каспия и максимальным - 10 км в центре моря. Она была составлена относительно абсолютного единого нуля поста для Каспийского моря, равного -28 м БС с учетом затопления и осушения прибрежной территории, а также с учетом среднегодового уровня моря.

В качестве входных данных задавались поля ветра на высоте 10 метров и атмосферного давления из реанализа NCEP/CFSR [3]. Данные, охватывающие период с 1979 по 2010 гг. имеют часовой интервал и пространственное разрешение $\sim 0{,}3125^\circ \times 0{,}312^\circ$. Для численных расчетов с 2011 по 2017 г. использовался реанализ версии NCEP/CFSv2, имеющий пространственное разрешение $\sim 0{,}205^\circ \times 0{,}204^\circ$. Так как Северный Каспий ежегодно замерзает, для учета влияния льда на формирование сгонно-нагонных колебаний уровня задавалась концентрация морского льда с суточным интервалом и пространственным разрешением $\sim 0{,}2^\circ \times 0{,}2^\circ$ из базы данных OSI-450 [1]. Расчеты колебаний уровня и циркуляции вод с учетом ветра, атмосферного давления и концентрации льда проводились непрерывно в течение каждого года отдельно.

При выделении нагонов исключались долгопериодные колебания. Для оценки качества модели сравнивались полученные модельные данные с натурными наблюдениями на уровенных постах на о. Тюлений и Махачкале. Из анализа были исключены колебания величиной менее 10 см. Коэффициент корреляции, рассчитанный для годовых серий за 2003-2017 гг., для о. Тюлений изменялся в пределах 0,84 - 0,93, для Махачкалы - 0,59 - 0,95. Среднеквадратическая погрешность составляла, в среднем, для о. Тюлений около 0,1 м, для Махачкалы - 0,06 м.

Проведен анализ полученных результатов для станции о. Тюлений. Количество сгонов и нагонов с величиной большей 0,2 м за период с 1979 по 2017 гг. составило около 2900 случаев. При величине сгонов и нагонов больше 0,5 м, число сгонов (394 случая) на 29 % выше нагонов (281 случай), а при величине больше 1 м на 70 % (44 и 13 случаев соответственно).

Выделены несколько основных синоптических ситуаций, при которых у западного побережья Северного Каспия формируются сгонно-нагонные колебания величиной более 1 метра:

1) Для формирования нагона на западном побережье образуется сильный антициклон севернее Каспийского моря, который приходит либо со стороны Азиатского максимума, либо с севера. В это же время формируется циклон западнее Каспийского моря (в большинстве случаев над европейской территорией).

2) Для формирования сгона образуется противоположная ситуация. Т.е. севернее Каспия образуется сильный циклон, а на западе - антициклон.

3) Формирование циклона непосредственно над Каспийским морем, который смещается в его северную часть и формирует сгон на западном побережье.

Для оценки вклада ветрового напряжения и атмосферного давления в формирование сгонов и нагонов проводились отдельные эксперименты только с ветром и атмосферным давлением и только с ветром. В обоих случаях также учитывался лед. Выявлено, что вклад ветра в формирование высоты нагонов является преобладающим (92 - 100 %) по сравнению с вкладом горизонтального градиента атмосферного давления (0 - 8 %) при разных синоптических ситуациях.

С 1979 по 2009 гг. отмечается многолетняя тенденция уменьшения количества случаев формирования сгонно-нагонных колебаний. С 2009 года наблюдается обратная тенденция. В течение года как количество, так и высота сгонов у о. Тюлений больше, чем нагонов.

Был проведен анализ для условий штормов 12-16 марта 1995 г., 19-23 ноября 2013 г. и 27 марта - 1 апреля 2015 г.

В 1995 г. продолжительность ветра в связке с большими градиентами давления и направлением течений вызвало катастрофический нагон, максимальные значения уровня которого достигали 2 м на северо-западном побережье Северного Каспия. В это же время на восточном побережье наблюдался катастрофический сгон до 4,5 м. Смоделированная ширина полосы затопления суши достигает 25 км. На о. Тюлений максимальный уровень моря составил 1,3 м. Наблюдался отрицательный вклад давления до 8 % (т.е. за счет давления уровень уменьшился).

В 2013 г. максимальные значения уровня у северо-западного побережья достигали 2,5 м. У восточного побережья наблюдался сгон до 1 м. Смоделированная полоса затопления составила 15 км. На о. Тюлений максимальный уровень моря составил 1 м. Вклад давления достигал 5 %.

В 2015 г. максимальные значения нагона у западного побережья достигали 3 м. У восточного побережья наблюдался сгон до 3 м. Смоделированная полоса затопления составила 15 км. Уровень моря на о. Тюлений достигал 1,3 м. Во время нагона наблюдалось два пика. В первый пик наблюдался отрицательный вклад давления до 1 %, а во второй - положительный до 1,5 %.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №18-05-80088.

Список литературы

1) EUMETSAT Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility. Global sea ice concentration climate data record 1979-2015 (v2.0, 2017), [Online]. Norwegian and Danish Meteorological Institutes. doi: 10.15770/EUM_SAF_OSI_0008

2) Luettich R.A., Westerink J.J. Formulation and Numerical Implementation of the 2D/3D ADCIRC; 2004. Available at http://adcirc.org/adcirc_theory_2004_12_08.pdf

3) Saha S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis // Bull. Am. Meteorol. Soc., 2010. - Vol. 91, - No. 8. - P. 1015–1057.

ТЕРМОХАЛИННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕНГЕЛЬСКОГО АПВЕЛЛИНГА ПО СПУТНИКОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Павлушин В.А., Кубряков А.А.

«Морской гидрофизический институт РАН» (МГИ) г. Севастополь

pavlushin.92@mail.ru

Ключевые слова: Бенгельский апвеллинг, спутниковые наблюдения, спутниковая солёность.

В настоящей работе на основе спутниковых измерений температуры и солёности исследуются характеристики Бенгельского апвеллинга. Для анализа поля солёности используются данные спутников Aquarius за 2015-2017 гг. и SMAP за 2016-2017 гг. Данные были загружены из архива спутниковых измерений PODAAC (https://podaac.jpl.nasa.gov/). Из-за подъема более пресных глубинных вод акватория Бенгельского апвеллинга отличается пониженными значениями солёности. Минимальные значения солёности наблюдаются в районе 25° ю.ш. Солёность в этой части апвеллинга составляет примерно 34‰, а западнее, в окружающих водах 35-35.5‰. В то же время его южная часть слабо отличается от окружающих вод по солености из-за влияния течения мыса Игольный. Максимальные перепады солёности между акваторией апвеллинга и окружающими водами наблюдаются в апреле-мае, а минимальные в декабре-январе. Максимального значения за исследуемый период перепад достиг в мае 2015 года, а минимального в декабре 2016 года.

Для анализа термических характеристик акватории использовался массив температуры OISST (https://www.ncdc.noaa.gov/oisst) за 1981-2017 гг. с пространственным разрешением 0.25 °C. В среднем, перепад температуры между апвеллингом и окружающих его вод составляет от 4 до 6 °C. Минимальные значения, также, как и для солёности, наблюдаются в районе 25° ю.ш. Исследована сезонная и межгодовая изменчивость температуры апвеллинга и её разницы с температурой окружающих вод. Получено, что перепад температуры достигает своего максимума в феврале-марте в период солнечного прогрева в Южном полушарии, а минимума в июле-августе. Минимальные значения перепада температур наблюдались в 1996 году (2 °C), а максимальные в 1987, 2003 и 2015 гг. (8 °C).

Построены карты корреляции температуры воды и средней меридиональной компоненты ветра в районе апвеллинга. Показано, что усиление северных ветров приводит к падению температуры в северной части апвеллинга из-за его интенсификации. В то же время, в его южной части происходит повышение температуры, вследствие усиления переноса тёплых вод течением мыса Игольный на север.

На основе анализа пространственных градиентов температуры и солёности исследована изменчивость положения фронта Бенгельского апвеллинга, проведены оценки площади, занимаемой водами апвеллинга в различные сезоны. Наиболее западное положение его фронта, а значит и наибольшая его площадь отмечается в марте -апреле. Наименьшую площадь апвеллинг занимает в ноябре-декабре.

Анализ изменчивости фронта Бенгельского апвеллинга выполнен при поддержке гранта РФФИ 19-05-00752, обработка и анализ данных выполнен при поддержке государственного задания по теме № 0827-2018-0002.

РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОТ ВЫПУСКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ГОЛУБОЙ БУХТЕ Г. СЕВАСТОПОЛЯ

Коршенко Е.А.[1], **Панасенкова И.И.**[1], **Фомин В.В.**[1], **Дианский Н.А.**[1,2,3]

[1]*Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва*
[2]*МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва*
[3]*Институт вычислительной математики РАН, г. Москва*

ipanasenkova@mail.ru

Ключевые слова: численное моделирование, морская циркуляция, Черное море, перенос загрязняющих веществ.

В работе проведено численное моделирование переноса загрязняющих веществ (ЗВ) от канализационных очистных сооружений (КОС) в районе Гераклейского полуострова п-ва Крым с учетом мезомасштабных процессов.

Расчет течений и распространения ЗВ проводился на основе гидродинамической модели морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) [1]. Модель реализована для всей акватории Черного и Азовского морей со сгущением сеточной области в районе Гераклейского полуострова так, что шаги по пространству составляют ∼200 м у побережья и достигают 6-8 км на периферии Черного моря (ЧМ). Данные о топографии ЧМ задаются из массива данных о топографии Земли GEBCO с пространственным разрешением 30 секунд. Атмосферное воздействие, включая турбулентные потоки тепла и влаги, коротко- и длинноволновую радиации, осадки, определяется по данным расчета атмосферной негидростатической модели WRF (Weather Research and Forecasting Model), реализованной в ФГБУ «ГОИН» над всем ЧМ с пространственным разрешением 10 км. Для задания стока рек в модели используются данные климатического года CORE (Coordinated Ocean-ice Reference Experiments) в виде псевдоосадков, сосредоточенных в акваториях, примыкающих к устьям рек.

С помощью описанной выше версии модели INMOM было проведено моделирование циркуляции и распространения загрязнений в Голубой бухте Гераклейского п-ва по двум сценариям экспериментов. Согласно первому сценарию весь сброс сточных вод происходил через оголовок трубопровода на глубине 80 м, причем длина самого трубопровода составляла 3300 м. Во втором сценарии предполагалось наличие прорана в трубопроводе на расстоянии 500 м от берега и на глубине 33-35 м, через который происходил сброс половины всех сточных вод. Сбросы считались одновременно с расчетом модели с 01.01.2011 по 31.12.2011. Годовой сброс сточных вод в объеме $38.3 \cdot 10^6$ м^3, согласно данным СО ГОИН, распределялся равномерно по году. Для выполнения расчетов объемная концентрация условного загрязнителя в сточных водах из оголовка и/или в проране условно полагалась равной 1, то есть воды были полностью загрязнены. При этом полагалось, что ЗВ представляют собой пассивную примесь, которая переносится за счет течений и турбулентной диффузии без учета процессов распада загрязнителя, а сточные воды - пресные и влияют на распределение солености, изменение которой в дальнейшем оказывает влияние как на гидрологический режим так и на сам перенос ЗВ.

Для расчета распространения ЗВ была использована методика, ранее апробированная для района Большого Сочи и подробно описанная в работе [2], когда концентрация в сеточных ячейках модели на каждом модельном шаге пересчитывается путем добавления к уже имеющемуся загрязнению в ячейках, содержащих оголовок или проран, поступив-

шего за этот модельный шаг объемного стока труб, умноженного на соответствующую концентрацию, и мгновенным разбавлением ЗВ по объемам соответствующих ячеек.

Таким образом, была исследована временная и пространственная структура поля загрязнения с учетом гидрометеорологических условий и их сезонной и синоптической изменчивости. Анализ результатов расчетов показал, что наиболее пагубный период распространении ЗВ с более глубинных слоев на поверхность происходит во время холодного осенне-зимнего и последующего весеннего сезонов, когда в ЧМ усиливается вертикальный водообмен, а вертикальная стратификация ослабляется за счет конвективного выхолаживания и турбулентного перемешивания (последнее обусловлено также повышением интенсивности ветров в эти сезоны). При наступлении летнего сезона и сопутствующего ему прогрева верхних слоев, а также при уменьшении скорости ветра, образуется слой скачка плотности, который в обычном случае препятствует выходу ЗВ с более глубинных слоев.

Однако, при апвеллингах, характерных для побережья п-ова Крым в летний сезон, возможны выходы придонных загрязненных вод на поверхностность. За период проведенных расчетов были выявлены подобные ситуации, и проведен анализ одной из ситуаций 18.08.2011 г., когда наблюдался апвеллинг, вызванный северо-западным ветром (при этом берег находится слева от направления ветра). Показано, что за счет интегрального экмановского переноса, возникающего из-за усиления ветров северо-западного направления, происходит подъем загрязненных вод из нижележащих слоев и выход этих вод на поверхность у мест выпусков сточных вод, особенно в случае наличия прорана, что очевидным образом пагубно влияет на состояние морской среды рассматриваемой прибрежной зоны. При наличии прорана выход ЗВ на поверхность происходит более интенсивно, чем в случае его отсутствия, поэтому состояние трубы также требует дальнейшего исследования для принятия необходимых мер по снижению антропогенной нагрузки на экологическое состояние прибрежной зоны.

Дополнительно были проанализированы значения реальных концентраций выбранных для исследования в рамках данной работы ЗВ. На основе утвержденных для КОС-1 «Южные» допустимых концентраций сброса сточных вод (мг/л), и полученных результатов моделирования наибольшее превышение утвержденной допустимой концентрации было отмечено у фосфатов и превышало предельно допустимые концентрации (ПДК) более чем в 250 раз. Поэтому был проведен пересчет полученного по результатам численного моделирования поля объемной концентрации условного загрязнителя для случая фосфатов. По результатам расчета показано, что даже в рассматриваемом случае концентрация фосфатов на поверхности не превосходит значение ПДК.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 18-35-00512, № 17-05-41101.

Список литературы

1) Дианский Н.А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия. – М.: Физматлит, 2013. – 272 с.

2) Дианский Н.А., Фомин В.В., Жохова Н.В., Коршенко А.Н. Расчет течений и распространения загрязнения в прибрежных водах Большого Сочи на основе численного моделирования // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2013. – 49, № 6. – С. 664 – 675. doi: 10.7868/S0002351513060047.

ОСОБЕННОСТИ УЭПР ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ ПАДЕНИЯ ДЛЯ РАЗВИВАЮЩЕГОСЯ ВОЛНЕНИЯ

Панфилова М.А.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

marygo@mail.ru

Ключевые слова: сечение обратного рассеяния, дисперсия наклонов, внутренние водоемы, развивающееся волнение, скорость ветра.

Волнение во внутренних водоемах характеризуется отсутствием зыби и короткими ветровыми разгонами, при этом преобладает развивающееся волнение. В данной работе исследуется зависимость сечения обратного рассеяния при нулевом угле падения от скорости ветра. В качестве полигона были выбраны Великие озера, где установлены буи (National Data Buoy Center - NDBC) для измерения параметров волнения и скорости ветра. Сечение обратного рассеяния определялось по данным дождевого радиолокатора, установленного на борту спутника миссии по измерению осадков Global Precipitation Measurement (GPM). Спутник миссии по глобальному измерению осадков (GPM) был запущен в феврале 2014 года. На его борту установлены локаторы Ka-диапазона и Ku-диапазонов. Полоса обзора для Ka-диапазона составляет 125 км. Размер пятна засветки и расстояние между центрами соседних пятен также составляют около 5 км. Углы падения для Ku-диапазона меняются в пределах +/-18 градусов, для Ka-диапазона - в пределах +/-9.5 градусов. Для Великих озер был собран совместный массив данных о сечении обратного рассеяния, дисперсии наклонов, скорости ветра и параметрах волнения за 2015-2017 годы так, чтобы интервал времени между измерениями радиолокатора и буя не превышал 30 минут, а расстояние между пятном засветки и буем не превышало 15 км. Для сравнения был составлен аналогичный массив для Тихого и Атлантического океанов. Анализ данных показал, что методика [2] позволяет правильно выделить развивающееся волнение по данным буев о скорости ветра, высоте значительного волнения и периоде волнения. В рамках приближения Кирхгофа по алгоритму, изложенному в [1], по данным дождевого радиолокатора определяется дисперсия наклонов вдоль направления сканирования и сечение обратного рассеяния при нулевом угле падения. Алгоритм определения сечения обратного рассеяния при нулевом угле падения в полосе обзора дождевого радиолокатора, изложенный в [1], был адаптирован для случая внутреннего водоема. Были получены панорамные изображения озер при нулевом угле падения в Ku- и Ka-диапазонах, получены зависимости сечения обратного рассеяния и дисперсии наклонов от скорости ветра.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00939.

Список литературы

1) Panfilova M.A., Karaev V.Yu., Guo J. Oil slick observation at low incidence angles in Ku-band// Journal of Geophysical Research, Oceans. 2018. P. 1-13.

2) Караев В.Ю., Мешков Е.М., Чу К. Особенности классификации типов волнения в задачах радиолокационного зондирования// Исследование Земли из Космоса. № 4. 2013. С. 16–26.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАНОВЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ В МЕЛКОВОДНОЙ ЗОНЕ ПАССИВНЫМ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Прядун В.В.[1], Иванова И.Н.[1], Будников А.А.[1], Малахова Т. В.[2], Агафонов В.В.[3], Панова Е.М.[3]

[1] *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, г. Москва*

[2] *Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь*

[3] *Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

pryadun.vv15@physics.msu.ru

Ключевые слова: высачивания метана, пузырьковые газовыделения, акустическая оценка, резонансная частота пузырька.

Очаги метановых пузырьковых газовыделений (сипы) существуют вдоль континентальных склонов по всему миру, в том числе и в Чёрном море [1]. Исследования таких струйных выходов природного газа из морского дна имеют важное экологическое (оценка вклада в природные источники парниковых газов в процессы глобального потепления) и практическое (альтернативный источник топлива) значение. На сегодняшний день, для оценки объема газа, выделяющегося из подобных источников, используются различные методы [2], в том числе и пассивные акустические [3,4]. Детектирование и анализ акустических сигналов, производимых выделяющимся газом, с целью обнаружения и оценки интенсивности выделения, является, на сегодняшний день, актуальным направлением исследования.

Целью данной работы было изучение применимости пассивного акустического метода в прибрежной мелководной зоне Черного моря для обнаружения сипов. Небольшая глубина дает возможность использовать методы визуализации для определения размеров пузырьков метана. Однако, анализ получаемых аудиограмм в данном случае осложняется наличием большого количества разнородных шумов, отсутствующих на больших глубинах, на которых выполнялись исследования [2 – 4]. Первой задачей работы являлось экспериментальное определение основной частоты звукового сигнала, производимого выделяющимися пузырьками газа и определение возможности выделения этой частоты на аудиограммах, полученных в реальных условиях.

В ходе исследования были проведены два эксперимента, первый в лабораторных условиях на кафедре физики моря и вод суши МГУ имени М.В. Ломоносова, второй – в реальных условия на шельфе Черного моря (бухта Ласпи) в непосредственной близости от действующего сипа.

В лабораторном эксперименте сип моделировался следующим образом: вблизи дна резервуара с соленой водой через иглу диаметром 0,6 мм при помощи аквариумного компрессора выдувались пузырьки. Частота выхода пузырьков могла при этом регулироваться. Диаметр иглы был подобран так, чтобы размер пузырьков был максимально приближен к размеру пузырьков, наблюдаемых в бухте Ласпи (3 мм). Расстояние от места выхода пузырьков до поверхности составляло 0,5 м. Размер пузырьков определялся визуально при помощи градуировочной линейки, расположенной рядом с местом выхода пузырьков. Аудиосигнал записывался при помощи погруженного в воду широкополосного микрофона. Анализ аудиозаписи показал, что в частотном спектре при отрыве пузырька наблюдается два основных пика: первый на частоте приблизительно 700 Гц, второй на частоте около 2800 Гц.

В работах [2-4] для оценки размеров пузырьков метана используется формула Минаерта, связывающая резонансную частоту пузырька газа с его радиусом [5]:

$f = \frac{1}{2\pi r_0} \cdot \sqrt{\frac{3\gamma p}{\rho}}$, где r_0 - радиус пузырька, γ - показатель адиабаты, p – давление столба жидкости, ρ - плотность жидкости. Используя связь давления в толще жидкости с глубиной, можно преобразовать формулу Минаерта к виду:

$f = \frac{1}{2\pi r_0} \cdot \sqrt{3\gamma g h}$, где g – ускорение свободного падения, а h – глубина жидкости. Значение резонансной частоты пузырька, рассчитанное по данной формуле для лабораторного эксперимента, составило приблизительно 800 Гц. На основе этих оценок, за основной пик был выбран пик частотой 700 Гц.

Натурный эксперимент проводился в бухте Ласпи (Южный берег Крыма) на глубине 2 м в непосредственной близости от действующего метанового сипа. Запись аудиосигнала осуществлялась при помощи автономного гидрофона. Одновременно проводилась подводная видеосъемка с дублирующей микрофонной записью. Параметры окружающей среды измерялись и записывались мультипараметрическим зондом RCM 9 LW (Aanderaa) с датчиками давления, температуры, электропроводности, мутности и концентрации в непрерывном режиме [6]. Размер пузырьков в месте выхода был определен при помощи видеозаписи и составил порядка 3 мм. Анализ аудиозаписей (основной и дублирующей) показал наличие пика частотой около 700 Гц в момент выхода пузырьков, качественно совпадающего с пиком 800 Гц, полученного в лабораторном эксперименте. При этом непосредственно перед моментом выхода на аудиозаписях наблюдается характерный шум, по наличию которого можно прогнозировать просачивание партии пузырьков. Одновременное определение размеров газовых пузырьков и их резонансной частоты показало хорошее качественное соответствие формулы Минаерта для прибрежного сипа. Таким образом, в работе показана принципиальная возможность детектирования высачивающихся пузырьков газа на мелководье пассивным акустическим методом.

Список литературы

1) Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Метановые сипы в Черном море средообразущая и экологическая роль // Под ред. Г.Г. Поликарпова. Севастополь: НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика". 2011. С.405.

2) Johnson, H.P., Miller, U.K., Salmi, M.S., Solomon, E.A. Analysis of bubble plume distributions to evaluate methane hydrate decomposition on the continental slope. // Geochem. Geophys. Geosyst. 16. 2015. pp. 3825–3839. http://dx.doi.org/10.1002/

3) Schneider von Demling et al. Acoustic imaging of natural gas seepage in the North Sea: sensing bubbles controlled by variable currents. // Limnol. Oceanogr. Methods. 8. 2010. pp. 155-171. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2015.02.011

4) R.P. Dziak,H. Matsumoto,R.W. Embley,S.G. Merle,T.-K. Lau,T. Baumberger, S.R. Hammond, N. Raineault. Passive acoustic records of seafloor methane bubble streams on the Oregon continental margin. // Deep-Sea Research Part II 150 2018. pp. 210–217, https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2018.04.001

5) Minneart, M. On musical air-bubbles and the sound of running water. // Philos. Mag 16 (104), 1933. pp. 235–248. https://doi.org/10.1080/14786443309462277

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИДОННОГО ТРЕНИЯ НА КРУПНОМАСШТАБНУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ ЧЁРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Пузина О.С., Мизюк А.И.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

oksana_puzina@mail.ru

Ключевые слова: Чёрное море, NEMO, придонное трение, численное моделирование.

Исследование циркуляции Чёрного моря является на сегодняшний день весьма актуальной задачей. Она обусловлена возрастающей антропогенной нагрузкой в данном регионе. На циркуляцию влияют множество факторов. Одним из них является придонное трение (ПТ). Это механизм рассеяния энергии в результате взаимодействия течений с рельефом дна, который влияет на вертикальный обмен [1].

Целью данной работы является изучение влияния ПТ на крупномасштабную циркуляцию Чёрного моря на основе численного моделирования. Для этого мы использовали модельный комплекс NEMO [2]. Проведены численные эксперименты с горизонтальным пространственным разрешением $1/12^{\circ}$. На поверхности задаются компоненты напряжения трения, полученные из предположения сезонного хода пары циклон - антициклон над акваторией моря [3]. В качестве начальных условий использовались однородные поля температуры и солёности. Расчёты проводились на период, до выхода на квазистационарный уровень. Основное внимание уделено анализу внутригодовой изменчивости полей после установления.

Исследовалась структура полей течений с учётом придонного трения и без него. В последнем случае в центральной части бассейна, между Крымом и северной частью Анатолийского полуострова, формируется один циклон, который наблюдается на протяжении года. Также на поверхности присутствует основное черноморское течение (ОЧТ). При этом слева от ОЧТ наблюдаются синоптические вихри, которые подхватываются течением и проходят вдоль свала глубин в восточной части Чёрного моря. В среднем, в экспериментах без трения время выхода на квазистационарный уровень составило 4 года, с трением - 3 года.

При учёте ПТ структура полей менее устойчивая: в глубоководной части бассейна образуется большее число циклонических вихрей слева от ОЧТ, которые со временем формируют два крупных циклонических круговорота в восточной и в западной частях бассейна. После, эти циклоны распадаются на более мелкие вихри. Такая система течений в большей степени соответствует наблюдаемой циркуляции.

В докладе приводятся результаты анализа энергетики течений для различных экспериментов.

Работа выполнена по теме государственного задания № 0827-2018-0002.

Список литературы

1) Иванов В.А. Интенсификация вертикального турбулентного обмена в районах сопряжения шельфа и континентального склона в Черном море / В. А. Иванов, А. С. Самодуров, А. М. Чухарев, А. В. Носова // Доповіді Національної академії наук України. - 2008. - № 6. - С. 108-112.

2) Madec G. NEMO ocean engine / G. Madec // Note du pôle de modélisation, IPSL, France N°27 ISSN N. 2012. – P.1288-1619.

3) Ефимов В.В. Климатические характеристики изменчивости поля ветра в Черноморском регионе –численный реанализ региональной атмосферной циркуляции / В.В. Ефимов, А.Е. Анисимов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47, № 3. С. 380–392.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

Пухлий В.А., Мирошниченко С.Т., Глушкова Е.В., Журавлев А.А., Пухлий П.В.

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

pu1611@rambler.ru

Ключевые слова: газовые гидраты, процессы образования, математические модели, пробки в трубопроводах.

Большинство природных газов, таких как CH_4, C_2H_6, C_3H_8, CO_2, N_2, H_2S и др. образуют гидраты, которые существуют при определенных термобарических условиях. Преобладающими при этом являются гидраты метана и дикосида углерода. Областью их залегания являются морские и океанические донные осадки, а также зоны вечной мерзлоты. В настоящее время в глобальной энергетике одним из фундаментальных вопросов становится проблема использования газовых гидратов в качестве одного из основных источников энергии на ближайшие столетия. Многие страны, в том числе и Россия имеют национальные программы по добыче газа (метана) из гидратов. Существует мнение, что именно в Черном море располагаются самые большие на планете Земля месторождения газовых гидратов: определены координаты более чем 150 газовых фонтанов на глубинах от 60 до 650 метров. В связи с огромным вниманием ученых многих стран к проблемам использования газовых гидратов разрабатываются математические модели процессов разложения газовых гидратов [1, 2]. Весьма актуальной проблемой в связи с этим является проблема образования газовых гидратов [3]. Математические модели для этих процессов являются также весьма сложными. При добыче природных газов гидраты образуются в стволах скважин, промысловых и магистральных трубопроводах. Осаждаясь на стенках труб, гидраты значительно уменьшают их пропускную способность, именно поэтому в скважину и трубопроводы вводятся различного рода ингибиторы (метиловый спирт, гликоли, 30%-ный раствор $CaCl_2$). Одними из первых работ в этой области были публикации Гаммершмидта [4], Дитона и Фроста [5]. В этих работах описываются условия образования газовых гидратов, которые сводятся к осушке газов [6], удалению сконденсировавшейся воды из трубопроводов и т.д. В монографии [3] рассматривалась задача роста газ-гидратного слоя в трубопроводе в рамках задачи Стефана, т.е. принимается, что скорость роста газогидратного слоя обуславливается процессами теплообмена между газовым потоком и слоем гидрата. В дальнейшем рассматривалась задача образования гидрата при течении влажного газа в трубе с учетом термодинамических и влажностных условий. Процесс образования гидратов начинается со стенки трубы, так как газ вблизи стенки значительно переохлажден по сравнению с ядром потока и скорость его движения является минимальной, что приводит к удержанию образующихся гидратов на стенках трубы. Принимается, что скорость нарастания гидратного слоя определяется как теплоотдачей от газа к стенке трубы, так и подводом влаги к поверхности реакции. В этом случае процесс образования и роста гидратов при течении газа в трубах описывается сопряженной задачей тепло- и массопереноса. Уравнения, описывающие турбулентное течение газа в трубопроводах записываются в следующем виде: $d/dt(\rho S_w)+d/dx(\rho V S_w)=\Pi_w\rho_w(D_n\text{-}v_n)_w$; $d/dt(\rho V S_w)+d/dx\ [(P+\rho V^2)S_w]=PdS_w/dx + \Pi_w(\mu dU/dr)_w\text{-}\rho g S_w \sin\gamma$; $d/dt[\rho S_w(i+V^2/2)]+d/dx[\rho V S_w(i+V^2/2)]=d/dt(PS_w)+d/dx(\lambda S_w dT/dx)\text{-}\rho g V S_w \sin\gamma+\Pi_w(\lambda dT/dr)_w+\Pi_w\rho_w i_h(D_n\text{-}V_n)_w$; $d/dt(\rho S_w\theta)+d/dx(\rho V S_w\theta)=\Pi_w[\rho\theta(D_n\text{-}V_n)+i_n]_w$, (1) где V, ρ, P, i – средние по сечению трубы скорость, плотность, давление и энтальпия; $v=1/\rho$ – удельный объем газа; θ, – концентрация влаги в поток газа и в гидрате; R_w, Π_w, S_w – радиус, периметр и площадь поперечного сечения газового потока; T, C, V_w, U – локальные величины температуры, концентрации, нормальной и касательной составляющей

вектора скорости; D_n – скорость движения границы раздела фаз по нормали к ней; J_n – нормальная составляющая потока вещества на поверхности фазового перехода; ν, μ, λ, D – коэффициенты кинематической и динамической вязкости, теплопроводности и диффузии; t, x, r – время и пространственные координаты; L – скрытая теплота фазового перехода; y, P^o_{H2O}, P^h_{H2O} – давление насыщенного пара над водой, пустой гидратной решеткой и гидратом; V_{H2O}– мольный объем жидкой воды; C_{ij} – константы Лэнгмюра; α, β, ψ – коэффициенты теплоотдачи, массоотдачи и гидравлического сопротивления; ξ – коэффициент местного сопротивления; H – глубина заложения газопровода; R_0, S_0 – радиус и площадь сечения трубы; R – радиус теплового возмущения грунта; z – коэффициент сжимаемости; ϵ – коэффициент Джоуля-Томпсона; μ_{H2O}, $\mu_Г$– молекулярный вес воды и газа; W, h, r, H_2O, гр – индексы относящиеся соответственно к величинам на границе раздела фаз, к гидрату, к газу, к воде и грунту. Система уравнений (1) дополняется уравнением состояния газовой смеси в ядре потока и термодинамическими соотношениями. При этом тепло- и массообмен подчиняется законам Ньютона и Фика, а касательные напряжения вычисляются по формуле Дарси-Вейсбаха. При трассировке трубопровода в грунте, необходимо учитывать теплообмен трубопровода с грунтом. Таким образом, в этом случае, как и в случае процессов разложения газовых гидратов [1, 2] мы приходим к математическим моделям на основе нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, общее решение которых возможно только численными методами. На основании проводимого анализа можно сделать вывод, что существующие математические модели могут быть использованы только для прогноза условий разложения гидратов чистых газов и неприемлемы для расчетов процессов начала образования гидратов при различных p-T-условиях. В промышленности это связано с перерасходом ингибиторов, вводимых в скважины и магистральные трубопроводы для предупреждения таких процессов. С другой стороны отсутствуют катализаторы для ускоренного образования гидратов при создании крупных хранилищ газа в гидратном состоянии.

Список литературы

1) Бондарев Э.А., Максимов А.М., Цыпкин Г.Г. К математическому моделированию диссоциации газовых гидратов. – Доклады АН СССР, 1989, том 308, №3, с.575-578.
2) Пухлий В.А., Мирошниченко С.Т., Глушкова Е.В., Пантель В.О. Математические модели процессов разложения газовых гидратов в морях и океанах. Аналитическое решение задачи Стефана. – Тезисы докладов Всероссийской научной конференции. «Моря России: методы, средства и результаты исследований». – Севстополь, 24-28 сентября 2018 г. – Севастополь: ФГБУН МГУ, 2018, с.80-82.
3) Бондарев Э.А., Бабе Г.Д. Гройсман А.Г. Механика образования гидратов в газовых потоках. – Новосибирск: Наука, 1976. – 160 с.
4) Hammerschmidt E.G. Gas hydrates. – American gas association monthly, 1936, vol.18, №7, p. 273-276.
5) Deaton W.M., Frost E.M. Gas hydrates in natural gas pipe lines. – American Gas Journal, 1937, vol. 146, №6, p. 17-21.
6) Пухлий В.А., Пухлий А.В., Коршунов Д.А. Схемы транспортировки попутного нефтяного газа. – Экотехнологии и ресурсосбережение, Киев: Ин-т газа НАНУ, №3, 2007, с. 15-17.

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ И КОНТАКТНЫМ ДАННЫМ

Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

valenru93@mail.ru

Ключевые слова: термопрофилирующие дрейфующие буи, SEVIRI, Черное море, температура поверхностного слоя моря, дневной прогрев.

Мониторинг температуры вод Мирового океана, и Черного моря в частности, является важной задачей для современной океанологии. Особый интерес для наблюдений и исследований представляет суточный ход температуры вод поверхностного слоя моря (океана), который влияет на множество процессов, происходящих в окружающей среде. Наиболее полную картину этих процессов в Мировом океане можно получить, комбинируя дистанционные и контактные методы исследования.

Примером одного из современных и наиболее эффективных контактных методов получения данных является использование дрейфующих и заякоренных буев различной конфигурации. На сегодняшний день исследование океана с помощью темопрфилирующих дрейфующих буев (термодрифтеров) стало незаменимой частью современной системы оперативных наблюдений за Мировым океаном. За время с 2004 по 2014 гг. во многих районах Мирового океана введено в эксплуатацию более 60 буев с различной модификацией, разработанных в Морском гидрофизическом институте [1]. Исследование температуры поверхностного слоя моря (далее ТПМ) проводится с использованием спутниковых средств дистанционного зондирования Земли. Одним из лучших приборов для дистанционного определения ТПМ является сканер Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (далее SEVIRI), который размещается на геостационарных метеорологических спутниках Meteosat Second Generation (MSG) [2]. Необходимо учитывать, что температура, измеряемая в ИК-диапазоне, формируется в тонком слое ($\sim$ 0.1 мм), следовательно, ТПМ, измеряемая SEVIRI, является температурой скин-слоя.

Настоящая работа выполнена с использованием данных 20 термодрифтеров, которые функционировали в различных областях Черного моря (охватывая практически все его районы) в 2004-2014 годах, данных реанализа «Era-Interim» [3] о направлении и скорости ветра на высоте 10 м для района Черного моря, а также данных сканера SEVIRI за 2004-2016 года с дискретностью 1 час и пространственным разрешением 5 км. В представленной работе проведен анализ среднего сезонного и суточного хода температуры на поверхности (первый номинальный горизонт измерения температуры верхнего слоя моря - 0.2 м, [1]), рассмотрены случаи значительно дневного прогрева как в теплый, так и в холодный период года с использованием данных термодрифтеров и сканера SEVIRI, а также исследованы особенности суточного хода в холодный период года на горизонтах 0.2 м, 12.5 и 15 м.

По данным термодрифтеров максимальная температура в поверхностном слое (горизонт 0.2 м) наблюдается в июле-августе (до 25.5 °C). Наибольшие значения температуры достигаются в августе во второй половине дня (15-19 часов локального времени). Минимальные температуры фиксируются в феврале-марте в первой половине дня. Также для поверхностного слоя по данным термодрифтеров были рассчитаны аномалии температуры. Максимальные по модулю отрицательные аномалии температуры приходятся на время с 05.00 до 09.00, а максимальные положительные с 15.00 до 18.00. Наибольшие по модулю отклонения температуры от среднесезонных значений наблюдаются в весенне-

летний период, наибольшие аномалии приходятся на май. Отмечен ряд особенностей суточного хода в холодный период года. В январе температура на горизонте 0 м ниже, чем на горизонтах 12.5 м и 15 м. В феврале-марте днем поверхность нагревается сильнее, чем слои 12.5-15 м, а в период ночного охлаждения температура становится меньше, чем на данных горизонтах. Следует отметить, что в теплый период года, данное явление не наблюдается.

По данным термодрифтера №248990 рассмотрен ряд случаев дневного прогрева, значительных для холодного периода года. В феврале 2014 года случаи наиболее значительного дневного прогрева имели место 11, 12, 14, и 23 февраля. Разность максимального и минимального значения температуры за сутки на горизонте 0.2 м достигала 0.6 °C - 23 февраля. На горизонте 12.5 м за этот же период времени изменения температуры практически не наблюдалось. На примере данных термодрифтера №34253 исследованы случаи значительного дневного прогрева в теплый период года - 17 мая, 12 июля и 17 августа 2005 г. Во всех выделенных случаях разница максимального и минимального значений за сутки на горизонте 0.2 м превысила 4 °C и достигла 5.1 °C 17 мая. Во время этих случаев скорость ветра в зонах прогрева не превышала 5 м/с по данным реанализа «Era-Interim». Благодаря таким низким скоростям ветра интенсивное перемешивание вод поверхностного слоя с глубинными слоями не происходило. Анализ данных SEVIRI за указанные даты показал, что в районах пребывания дрифтеров сохранялась безоблачная погода, и также прослеживается рассматриваемый значительный суточный ход температуры.

По данным сканера SEVIRI также проведен анализ случаев максимального дневного прогрева. Для примера рассмотрен случай прогрева 11 мая 2015 года: в отдельных районах Черного моря разность минимального и максимального значений ТПМ за сутки достигала экстремально высоких значений 7-7.2 °C. Причиной таких резких перепадов ТПМ послужили штилевые условия, которые отмечались над Черным морем с 10 по 12 мая. Средняя по бассейну скорость ветра не превышала 4 м/с. При этом минимальные скорости ветра, соответствующие штилевым условиям ($\sim$2.5 м/с), наблюдались непосредственно перед началом наиболее интенсивного роста ТПМ 11 мая.

Исследование суточного хода температуры по данным SEVIRI выполнено при поддержке гранта РФФИ 19-05-00479. Исследование хода температуры на различных горизонтах по данным термодрифтеров выполнено при поддержке гранта РФФИ 17-05-41102.

Список литературы

1) Толстошеев А. П., Лунев Е. Г., Мотыжев С. В. Анализ результатов натурных экспериментов с термопрофилирующими дрейфующими буями в Черном море и других районах Мирового океана //Морской гидрофизический журнал. 2014. N 5. С. 9 – 32.

2) Marullo S., Minnett P. J., Santoleri R., Tonani M. The diurnal cycle of sea-surface temperature and estimation of the heat budget of the Mediterranean Sea //Journal of Geophysical Research: Oceans. 2016. V. 121. N 11. P. 8351-8367.

3) Dee D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., ... & Bechtold, P. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system// Quarterly Journal of the royal meteorological society. 2011. V.137. N 65. P. 553 – 597.

ПОДВОДНЫЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ ВОЛНОГРАФ «КАЛЬМАР» НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОЛИГОНЕ ИО РАН «ГЕЛЕНДЖИК» ДЛЯ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ВСЕПОГОДНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рябкова М.С., Титченко Ю.А., Мешков Е.М., Панфилова М.А., Караев В.Ю.

Институт прикладной физики Российской академии наук, г. Нижний Новгород

m.rjabkova@gmail.com

Ключевые слова: натурный эксперимент, обработка данных, ветровое волнение, акустический волнограф, параметры поверхностного волнения, численное моделирование, доплеровский спектр.

Подводный гидроакустический волнограф «Кальмар» был установлен на полигоне Южного отделения института океанологии (ЮО ИО РАН) вблизи г. Геленджик летом 2018 года, где успешно проработал несколько месяцев. В 2019 году после доработки прибор будет вновь установлен на полигоне, где будет проводить долговременные измерения параметров волнения. Прибор работает непрерывно, планируется создать архив измерений и веб-интерфейс для обеспечения свободного доступа к ним. В данной работе представлены результаты испытаний прибора, проведенных в декабре 2017 года на том же полигоне.

Акустический волнограф «Кальмар» устанавливается под водой вблизи дна так, чтобы антенный блок ориентировался на водную поверхность. Волнограф оснащен двумя каналами - импульсным и непрерывным. Приемо-передающая антенна импульсного канала ориентируется в зенит на водную поверхность. По форме отраженного от водной поверхности импульса можно оценить уровень воды, высоту значительного волнения и полную дисперсию наклонов водной поверхности. Длина излученного импульса может настраиваться от 5 до 80 мкс. Антенный блок непрерывного канала ориентирован под небольшим углом от вертикали к водной поверхности (в данном эксперименте 5-7 градусов). В непрерывном режиме волнограф излучает гармонический сигнал с частотой 200 кГц (длина волны 7.4 мм) и измеряет доплеровский спектр (ДС) сигнала, отраженного водной поверхностью. Раскрыв диаграммы направленности приемо-передающей антенны составляет 15x15 градусов. Небольшой наклон от надира позволяет обеспечить ненулевое смещение допплеровского спектра, оставаясь в рамках действия приближения Кирхгофа, что позволяет увеличить число восстанавливаемых параметров поверхности. Ранее был разработан алгоритм, позволяющий по ширине и смещению ДС восстанавливать все статистические характеристики поверхностного волнения при условии, что азимутальный угол между направлением зондирования и направлением волнения известен [1].

Согласно работе [2] сечение обратного рассеяния, ширина и смещение ДС при малых углах падения определяются статистическими характеристиками крупномасштабного волнения (дисперсией высот, дисперсией вертикальной составляющей орбитальных скоростей, дисперсией наклонов и коэффициентами корреляции между ними) и геометрией наблюдения (углом падения излучения, длиной волны излучения, диаграммой направленности антенны, углом между направлением зондирования и направлением распространения волнения). В работах [1-2] на примере экспериментальных данных показана работоспособность используемой модели доплеровского спектра.

Тестовые испытания прибора были проведены 22-25 декабря 2017 года с пирса на полигоне ЮО ИО РАН в г. Геленджик. Спектр волнения измерялся одноканальным волнографом, метеостанция, установленная на полигоне, измеряла скорость и направление ветра на высоте 10 метров с периодичностью 15 минут. Акустический волнограф измерял доплеровский спектр сигнала, отраженного водной поверхностью, время усреднения

записи акустического волнографа - 5 минут. Струнный волнограф измерял спектр высот (частоты до 5 Гц), время усреднения - 5 минут. Были проанализированы записи волнения и ДС, сделанные с 15:44 до 18:54 24 декабря 2017 года. Поскольку волнение было одномодовым, чисто ветровым, нам удалось подобрать параметры модельного спектра, минимально отличающегося от измеренного струнным волнографом. Использовалась модифицированная модель спектра Караева 2000 года [3]. С использованием подобранного модельного спектра были рассчитаны параметры (ширина на уровне -10 дБ и смещение центральной частоты) допплеровского спектра. Смещение центральной частоты ДС зависит от угла между направлением волнения и направлением зондирования, поскольку этот угол не был измерен в ходе эксперимента, оценить, насколько близки измеренное и полученное по модели смещение ДС сложно. Считая, что модельное смещение ДС совпадает с измеренным, можно оценить соответствующий угол между направлением волнения и направлением зондирования, он в среднем совпадает с углом между направлением ветра и направлением зондирования волнографа (в ходе эксперимента ветер колебался между направлениями запад-юго-запад и юго-запад, волнограф был отклонен от пирса на юго-юго-восток). Ширина ДС слабо зависит от азимутального угла, угол падения был измерен с высокой точностью с помощью двух инклинометров, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Ширины ДС рассчитанные по модели и измеренные акустическим волнографом близки, однако не совпадают. Такой результат можно объяснить несколькими факторами. Высоты волн, измеренные волнографом, достигали 1-1,3 м, данный прибор не в состоянии корректно измерять волнение такой интенсивности. Кроме того, глубина моря в районе измерений (пирс полигона «Геленджик») составляет 4,5 м, волнение, развившееся на большой глубине, могло трансформироваться в прибрежной зоне, и модель ДС, разработанная для открытого моря, этого не учитывает.

Весной 2019 года прибор будет установлен на полигоне «Геленджик» на расстоянии 750 м от берега на глубине 28 м. При таких условиях работы прибора модель ДС будет приводить к более точным результатам.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-77-10125).

Список литературы

1) Panfilova M., Ryabkova M., Titchenko Yu., Karaev V. Retrieving of significant wave height and period from the Doppler spectrum of backscattered microwave signal // 12th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2018), London. 2018. P.1-3. doi: 10.1049/cp.2018.1084

2) Titchenko Yu., Karaev V., Meshkov E., Zuikova E. Measuring the variance of the vertical orbital velocity component by an acoustic wave gauge with a single transceiver antenna // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 53(8). 2015. P.4340-4347. doi: 10.1109/TGRS.2015.2396120

3) Караев В.Ю., Баландина Г.Н. Модифицированный спектр волнения и дистанционное зондирование // Исслед. Земли из космоса. 2000. № 5, С. 1-12

ДИНАМИКА И ТЕРМОХАЛИННАЯ СТРУКТУРА МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

Сандалюк Н.В., Белоненко Т.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

nikitasandaliuk@gmail.com

Ключевые слова: Лофотенская котловина, мезомасштабные вихри, альтиметрия, Норвежское море.

Лофотенская котловина является одним из самых динамически активных бассейнов Северной Атлантики. Ключевой особенностью мезомасштабной динамики Лофотенского бассейна является отделение вихрей от восточной ветви Норвежского течения, их распространение в западном направлении и дальнейшее перераспределение по котловине. За счет данных процессов осуществляется транспорт теплых и соленых атлантических вод в более глубокую часть бассейна, что делает Лофотенскую котловину основным тепловым резервуаром субарктических морей [1],[4].

Арктический климат особенно чувствителен к изменениям количества тепла, приносимого течениями из Атлантики. Драматическое сокращение ледового покрова Арктики, увеличение температур, повышение уровня океана, таяние вечной мерзлоты и т.д. - все эти примеры представляют собой вероятные последствия изменения океанического переноса тепла, происходящие в течение последних десятилетий. Всё это означает, что процессы, ответственные за формирование и дальнейшую трансформацию вихрей, должны иметь достаточно сильное влияние на величину и изменчивость океанического переноса тепла и соли по направлению к Северному Ледовитому океану. Вот почему изучение мезомасштабных вихрей Лофотенской котловины играет важнейшую роль в понимании физических механизмов, определяющих климатические изменения не только Северной Атлантики, но Арктического бассейна.

Основной целью данной работы является изучение термохалинной структуры и динамики мезомасштабных вихрей в Лофотенской котловине путем получения композитной структуры вихрей для данного района.

Основой для нашего исследования послужили данные массива «Hydrography of the Nordic Seas, 2000-2017: A merged product" , предоставленный Университетом Бергена в рамках личных контактов. Массив содержит данные по Норвежскому, Гренландскому и Баренцеву морям за период 2000 - 2017 гг., которые включают в себя гидрографические наблюдения из различных источников: CTD профили, профили ARGO и профили глайдеров. Для определения границ вихря и позиционирования профилей относительно центра вихря использовались данные альтиметрии SLA (Sea Level Anomalies), которые представляют собой аномалии уровня относительно средней динамической топографии MDT, предоставляемые Aviso+. Массив значений SLA доступен на портале «Copernicus Marine environment monitoring service» [6].

Совместный анализ синхронных альтиметрических измерений и гидрографических наблюдений является перспективным методом исследования термохалинной структуры мезомасштабных вихрей и применялся ранее в ряде работ по изучению мезомасштабных вихрей в различных районах Мирового океана [2], [3], [5]. За период 2000-2017 гг. для исследуемого района было выделено более 8 тысяч профилей, из которых 870 находились в пределах границ циклонических вихрей и 1153 профиля - в пределах границ антициклонических вихрей. В результате анализа данных были получены композитные структуры для циклонического и антициклонического вихрей.

Показано, что отличительной чертой вертикальной термохалинной структуры композитного антициклонического вихря является наличие ядра теплой и распресненной воды с радиусом 20-30 км, нижняя граница выделенного ядра располагается на глубине 800-850 м. При этом максимальные значения температурных аномалий наблюдаются на глубине 700 м. В вертикальной термохалинной структуре композитного циклонического вихря выделяется ядро холодной и соленой воды с радиусом 20-25 км и нижней границей около 800 км. Среднее значение аномалий температуры составило 0.8°C для композитного антициклонического вихря и -0.5°C для композитного циклонического вихря. Экстремумы температурных аномалий составили 1.8°C для композитного антициклонического вихря и -1°C для композитного циклонического вихря. Определены основные характеристики квазиоднородного слоя для выделенных композитных мезомасштабных структур. Для осеннего периода мощность квазиоднородного слоя не превышает 100 м., в то время как в зимний период вертикальная протяженность перемешанного слоя достигает 400 м.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-17-00027

Список литературы

1) Белоненко, Т.В., Волков, Д.Л., Ожигин, В.К., Норден, Ю.Е. Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря. Вестн. С.-Петербург. Ун-та, Сер.7 (2). 2014. 108-121

2) 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 //Journal of Geophysical Research. 116. 2011. C11025. https://doi.org/ 10.1029/2011JC007134

3) Kubryakov, A.A., Bagaev, A.V., Stanichny, S.V., Belokopytov, V.N. Thermohaline structure, transport and evolution of the Black Sea eddies from hydrological and satellite data // Progress in Oceanography. 167. 2018. 44-63

4) Volkov, D. L., Kubryakov, A. A., Lumpkin R. Formation and variability of the Lofoten basin vortex in a high-resolution ocean model // Deep-Sea Res. I. 105. 2015. 142–157. https://doi.org/10.1016/j.dsr.2015.09.001.

5) Yu, L.-S., Bosse, A. Fer, I., Orvik, K. A., Bruvik, E. M., Hessevik, I., Kvalsund K.The Lofoten Basin eddy: Three years of evolution as observed by Seagliders // J. Geophys. Res. Oceans. 122. 2017.6814–6834. doi: 10.1002/2017JC012982.

6) Copernicus Marine environment monitoring service. GLOBAL OCEAN GRIDDED L4 SEA SURFACE HEIGHTS AND DERIVED VARIABLES REPROCESSED (1993-ONGOING) URL: http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=SEALEVEL_GLO_PHY_L4_REP_OBSERVATIONS_008_047

КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ НА ШЕЛЬФЕ КАМЧАТСКОГО ПОЛУОСТРОВА ОСЕНЬЮ 2018 ГОДА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Свергун Е.И.[1,2], **Зимин А.В.**[1,3]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург*

[3]*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

egor-svergun@yandex.ru

Ключевые слова: Камчатский полуостров, Тихий океан, короткопериодные внутренние волны, экспедиционные исследования, спутниковые наблюдения.

Результаты обобщения экспериментальных исследований, выполненных ранее, показали, что у тихоокеанского побережья Камчатского полуострова часто регистрируются короткопериодные внутренние волны (КВВ) [1]. Основной чертой данного региона можно считать наличие сложной системы поля КВВ, одной из особенностей которой является наличие постоянно наблюдающихся интенсивных внутренних волн (ИВВ) высотой 10-15 метров и периодом от 15 до 45 минут. Однако одновременных судовых и спутниковых наблюдений за КВВ не выполнялось, что не позволяет понять особенности проявления КВВ на спутниковых снимках. Впервые подобная возможность возникла в ходе экспедиционных исследований, выполненных Санкт-Петербургским филиалом Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН в 2018 году в Авачинском заливе.

Таким образом, *целью* данной работы является анализ и сравнение результатов экспедиционных и спутниковых наблюдений за КВВ в шельфовой зоне Авачинского залива.

Экспедиционные исследования в Авачинском заливе выполнены в сентябре 2018 года около мыса Шипунский. Измерения выполнены при помощи гирлянды из 40 температурных датчиков PME (Великобритания) расстояние между которыми составляло 2 метра. Измерения выполнялись эпизодически, от 7 до 18 часов в сутки, при этом суммарная длительность измерений составляет около 50 часов. Спутниковые данные охватывают период экспедиционных наблюдений и представлены изображениями спутников Sentinel 2A и Sentinel 2B в оптическом диапазоне с пространственным разрешением 10 метров, Landsat 8 в оптическом диапазоне с разрешением 30 метров, а также радиолокационными изображениями РСА Sentinel 1A в С-диапазоне с VV-поляризацией и режимом съемки IW с разрешением 20 метров. Всего в работе использовано 7 спутниковых изображений.

На записях колебаний температуры по данным контактных наблюдений гирляндой PME, по выделенной в области термоклина изотерме, определялись высоты и периоды КВВ по методике [2]. По результатам обработки записей производится построение гистограмм повторяемости характеристик КВВ, оценка их ожидаемых высот [3]. Обработка результатов CTD-зондирований позволила по дисперсионному соотношению для первой моды внутренних волн [4] определить фазовую скорость и длину КВВ.

На спутниковых снимках детектировались поверхностные проявления внутренних волн в виде чередующихся дугообразных светлых и темных полос. По поверхностным проявлениям определялись такие характеристики КВВ как длина, направление распространения и протяженность лидирующего гребня.

По результатам обработки записей колебаний температуры установлено, что в районе работ регистрируются КВВ с высотами от 2 до 15 метров и периодами от 3 до 32 минут. Наибольшую повторяемость имеют КВВ с высотой от 2 до 4 метров и периодами от 5

до 10 минут. Повторяемость ИВВ достигает 6% от общего числа волн. Установлено, что ИВВ регистрируются в виде коротких обостренных цугов продолжительностью от 30 до 60 минут, проявляющихся на фоне относительно спокойного термоклина. Сопоставление моментов регистрации ИВВ с приливным ходом уровня в районе мыса Шипунский показало, что ИВВ всегда регистрируются в период отлива, незадолго до наступления полной малой воды. Для средних гидрологических условий фазовая скорость КВВ первой моды составляет 0,59 м/с, а длина волны, рассчитанная для периода наибольшей повторяемости - 300 метров. Расчет ожидаемых высот КВВ показал, что 1 раз в месяц, при условии стабильности стратификации вод, следует ожидать волну, высотой 23 метра.

На спутниковых изображениях зарегистрировано 72 поверхностных проявления КВВ с длиной от 200 до 800 метров и протяженностью лидирующего гребня от 4 до 39 километров. Поверхностные проявления преимущественно сконцентрированы у свала глубин в районе изобаты 500 метров, и направлены к берегу. На снимках обнаружены пакеты проявлений, следующие к берегу с приливной периодичностью. Их фазовая скорость составляет 0,57 м/с, а длина - 300-400 метров, что согласуется с данными контактных наблюдений. Выявлено, что среди спутниковых данных присутствует снимок, попадающий во временные рамки эпизода контактных наблюдений.

Выполнено сопоставление данных спутниковых и контактных наблюдений за 27 сентября. Расчет фазовой скорости поверхностного проявления показал, что оно достигнет судна через 7 часов после момента получения снимка. На записях колебаний температуры в расчетное время действительно наблюдается ярко-выраженный цуг КВВ с высотами до 8 метров .Расчетные значения фазовой скорости и длины волны по данным контактных и спутниковых наблюдений хорошо соответствуют друг другу. Поверхностное проявление на снимке имеет протяженность 25 километров и длину волны 800 метров, то есть можно сказать, что КВВ с высотой в 8 метров уже очень отчетливо проявляются на морской поверхности.

Список литературы

1) Сабинин, К.Д. «Горячие точки» в поле внутренних волн в океане. / К.Д. Сабинин, А.Н. Серебряный // Акустический журнал. 2007. – Т.53, № 3. – С.410-436.

2) Жегулин, Г.В. Анализ дисперсионных зависимостей и вертикальной структуры внутренних волн в Белом море по экспериментальным данным / Г.В. Жегулин, А.В. Зимин, А.А. Родионов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016. – Т. 9, № 4. – С. 47-59.

3) Свергун, Е. И. Оценка повторяемости интенсивных внутренних волн в Белом и Баренцевом морях по данным экспедиционных исследований / Е.И. Свергун, А.В. Зимин // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2017. – Т.10, № 2. – С. 13-19.

4) Зимин, А.В. Короткопериодные внутренние волны в Белом море: оперативный подспутниковый эксперимент летом 2012 г. / А.В. Зимин, Д.А. Романенков, И.Е. Козлов, Б. Шапрон, А.А. Родионов, О.А. Атаджанова, А.Г. Мясоедов, Ф. Коллар // Исследование Земли из космоса. 2014, № 3. – С. 41-55.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Сендеров М.В., Мизюк А.И.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

senderovmaxim@gmail.com

Ключевые слова: численное моделирование циркуляции, мезомасштабные процессы, прибрежная зона, граничные условия, Черное море.

Одной из актуальных задач решаемых на основе численного моделирования циркуляции океана является получение краткосрочного прогноза в прибрежной зоне с высоким пространственным разрешением. Проведение таких расчётов для всего бассейна с разрешением, позволяющим воспроизводить мезо- и субмезомасштабные процессы за адекватное машинное время, требует значительных вычислительных мощностей. Одним из способов решения проблемы является создание региональной конфигурации (вложенный домен). Динамика в открытой части моря (океана), оказывает значительное влияние на внутреннюю область. В задачах численного моделирования циркуляции это достигается посредством задания граничных условий на открытых жидких границах.

Для анализа влияния граничных условий, задаваемых на открытой границе, использовалась численная трехмерная нелинейная модель циркуляции NEMO OPA [1]. Она основана на системе примитивных уравнений гидротермодинамики в приближении Буссинеска и гидростатики. Региональная конфигурация была получена с использованием инструментов «NESTING TOOLS», распространяемых вместе с кодом модели [2].

В модели NEMO реализовано 8 схем задания граничных условий. Для исследования были использованы следующие схемы:

- Схема релаксации потоков (flow relaxation): применяется простая релаксация модельных полей к значениям в некоторой области около жидкой открытой границы [1]. В заданной зоне релаксации модельное решение больше зависит от внешних условий на краю расчетной области и ослабляется по отношению к ним с отдалением от края. Применение такой схемы помогает уменьшить или предотвратить отражение волн от границы. Параметр d обычно изменяется в пределах от 1 до 5.
- Схема излучения, предложенная Флэтером (Flather radiation condition): схема учитывает излучение нормального переноса по глубине вдоль открытой границы [1]. Значения средней по глубине нормальной к краю скорости расчетной области приравниваются к значениям внешней с некоторой поправкой, который позволяет гравитационным волнам генерируемым внутри покинуть пределы домена.
- При использовании граничных условий типа Дирихле значения на границе области приравниваются к значениям из внешней (бассейновой) конфигурации.

В качестве бассейновой была использована конфигурация модели для Мраморного, Черного и Азовского морей с пространственным разрешением 4,6 км. Была создана региональная конфигурация юго-восточного побережья Крыма с разрешением порядка 1,5 км.

Проведены тестовые численные эксперименты, ставившие целью исследование особенностей результатов моделирования, полученных при различных видах граничных условий (г/у) на жидкой боковой границе. Наиболее адекватная картина получена со следующими параметрами: для бароклинной скорости, температуры и солености была выбрана схема релаксации потоков, а для двумерных параметров — схема излучения. После выбора схемы был проведен расчет для периода с 1 января 2008 г. по 1 декабря 2009 г. Полученные

результаты (с пространственным разрешением 1,5 км) сопоставлялись с результатами моделирования из прогностического расчета на основе бассейновой конфигурации модели (пространственное разрешение 4,6 км).

Для анализа общей картины динамики в исследуемой акватории рассчитана удельная кинетическая энергия (КЭ). Средняя по объему кинетическая энергия течений для двух расчетов имеет явно выраженный сезонный ход, по-видимому, обусловленный интенсификацией ветра в зимне - весенний период в данном районе и соответствующим усилением струи Основного черноморского течения (ОЧТ), которое воспроизводится в обоих расчетах. КЭ несколько выше по результатам моделирования в региональной конфигурации.

Для оценки доли энергии, перешедшей в вихревые движения, получены оценки вихревой КЭ. Пространственные распределения вихревой КЭ для обоих расчетов схожи: зоны наибольшей интенсивности течений располагаются в районе южной оконечности п-ова Крым. В эксперименте с высоким разрешением зона изменчивости течений несколько шире, а количественные значения выше на 30%. Повышение вихревой кинетической энергии может быть связано как с меандрированием струи ОЧТ, так и с наличием большей вихревой активности.

В полях течений наблюдается интенсификация ОЧТ в зимне - весенний период и значительное меандрирование в летний. Крымский антициклон (диаметром около 70 км) присутствует в обоих расчетах. В районе феодосийского залива образуется антициклон (диаметром около 50км), который более выражен в региональной конфигурации. Увеличение разрешения позволило лучше воспроизводить мезомасштабные процессы, прибрежные вихри с диаметрами 10-20 км.

Сравнивая температуру поверхности моря (ТПМ) для двух расчетов видно, что характерные явления апвелинга и весеннего выхолаживания воспроизводятся в обоих случаях. Также в полях ТПМ можно наблюдать мезомасштабные процессы, которые не воспроизводятся в численных экспериментах с конфигурацией с грубым разрешением или они не так явно выражены. В распределении температуры по вертикали отмечается наличие холодного промежуточного слоя (ХПС) для обеих конфигураций, с характерной глубиной залегания порядка 50 - 100 м.

Результаты моделирования полей солености демонстрируют более детальное положение линз менее соленых азовоморских вод, попадающих в бассейн через Керченский пролив в весенний период. Эти водные массы подхватываются ОЧТ, а затем распространяются вдоль юго-восточного побережья и далее. В апреле и мае эти водные массы вовлекаются Феодосийским антициклоном и на несколько дней задерживаются в Феодосийском заливе. При ослаблении антициклона формируется тонкая струя с менее солеными водами, имеющая более сложную структуру в региональной модели, которая переносит воды на юго-запад вдоль побережья.

Работа подготовлена при поддержке программы Президиума РАН № 1.2.50 «Развитие методов и средств оперативной океанологии для исследований изменчивости полей Черного моря».

Список литературы

1) Madec, G. NEMO reference manual, ocean dynamics component / G. Madec // ISSN 1288-1619, Note du pôle de modélisation IPSL № 27, France, –January 2016.

2) User's Guide NEMO / AGRIF Nesting tools // January 30, –2006.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ЯВЛЕНИЙ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИВОДЯЩИХ К ОБРАЗОВАНИЮ БРЫЗГ В РАМКАХ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕТРОВОЛНОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Сергеев Д.А., Кандауров А.А., Троицкая Ю.И.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

sergeev4758@gmail.com

Ключевые слова: ветер, волны, генерация брызги, морской аэрозоль, лабораторное моделирование, визуализация.

Морской аэрозоль является важным фактором атмосферного пограничного слоя на поверхностью океана. Сложности прямых измерений в условиях урагана и недостаточные знания о механизмах образования капель являются основными причинами которые влияют на точность при получении функции генерации брызг, характеризующей распределение количества образующихся брызг (с единичной площади поверхности в единицу времени) по их размерам. Так по данным, приведенным в обзоре [1] эмпирические функции генерации, полученные на основании результатов различных наблюдений, могут отличаться на три и более порядка. Это в свою очередь приводит к значительной неопределенности в оценках влияния морских брызг на процессы обмена импульсом и теплом в пограничных слой атмосферы и океана [2-4]. В работе [5] была впервые предложена подробная классификация механизмов образования брызг при сильных ветрах и получена статистика их возникновения. Продемонстрировано, что явления фрагментации водной поверхности типа "парашют" является доминирующими при сильных ветрах. С помощью скоростной видеосъемки удалось выяснить, что парашюты возникают (раздуваются) из небольших возмущений образующихся на взволнованной поверхности. Функция генерации за счет этого механизма брызг может быть найдена как свертка функции генерации явлений “парашютов” и функции распределения брызг образующихся от одного “парашюта”. Детальные исследования образования брызг в условиях ранее проведенных лабораторных экспериментов на Ветро-волновом Теромостратифицированном Бассейне (ВВТСБ) ИПФ РАН затруднены в силу редкого появления самих событий типа "парашют" и помех из-за неоднородности волнения поперек их распространения, которые сильно затрудняют проведение скоростной видеосъемки этих явлений сбоку (перекрывают изображения "парашютов").

Для решения этих проблем с целью проведения детальных исследований генерации брызг за счет фрагментации типа "парашют", ВВТСБ был значительно модифицирован. Бассейн был полностью осушен, а на уровне водной поверхности было установлено гладкое твердое дно вдоль всего воздушного канала, кроме седьмой рабочей секции, где был установлен специальный резервуар уровень поверхность воды в котором совпадал с уровнем твердого дна. Локальное возмущение (возвышение) водной поверхности создавалось с помощью вертикального сопла конец которого располагался в 1,5 см от водной поверхности. С его помощью инжектировалось 2,5 мл жидкости в течении 20 мс, с заданной частотой. В результате удалось достичь высокой повторяемости в характеристиках создаваемого возмущения. Только в области над соплом (диаметром 3 см) водная поверхность оставалась свободной, в других местах она была закрыта тонким слоем пористой резины. Эксперименты проводились при скорости на оси канала от 10 до 17 м/с. Анализ профилей скорости, измеренных в рабочей секции с помощью трубки Пито, в соответствии с методикой развитой в [6] позволил восстановить значения скорости трения и эквивалентной ей скорости трения на 10-м высоте, которые изменялись в диапазоне от 0,47-0,73 м/с

и 16,4-26,6 м/с соответственно. По аналогии с [5] использовался теневой метод со скоростной видеосъемкой и подсветкой вида сбоку. Из возмущения раздувался "парашют" эволюция которого была аналогична ранее наблюдаемой в экспериментах с взволнованной поверхностью (см.[5]), т.е. вначале раздувался купол "парашюта", при разрыве жидкой пленки которого образовывались капли с характерным масштабом 100 мкм, а далее разрывался "ободок" приводя к генерации "гигантских" каплей с характерным радиусом 1000 мкм. Таким образом была продемонстрирована возможность создания искусственного явления фрагментации типа "парашют". Для корректного восстановления функции генерации брызг кроме корректного определения их характерных размеров, также необходимо их различать по стадии формирования. Осуществить это в момент разрыва достаточно сложно, поэтому был предложен метод обратного ретрекинга. Т.е. восстановления траекторий движения каплей . Для этого был разработан алгоритм использующий комбинирование методов Particle Image Velocimetry для получения грубых оценок скорости движения каплей путем интерполяции полей скорости на положение частиц на каждом кадре, и метода Particle Tacing Velocimetry для уточнения смещения каждой отдельной капли.

Также по скорости движения разрыва пленки были получены оценки ее толщины и оценки объемов жидкости, заключенные в ней. В свою очередь объем жидкости заключенной в ободке был найден на основе подсчета объема капель, образующихся при его разрыве. Несмотря на высокие погрешности этих измерений, удалось продемонстрировать, что объем последних на порядок превышает объем капель от пленки во всем диапазоне скоростей ветра в эксперименте.

Частично поддержан проектом РНФ № 18-77-00074 (проведение измерений), и частично проектами РФФИ № 18-05-00265, 18-55-50005, 18-35-20068 (обработка результатов экспериментов включая видеоизображения).

Список литературы

1) Andreas, E. L. A review of spray generation function for the open ocean/ E. L. Andreas // Atmosphere-Ocean Interactions - 2002. - V. 1. - P. 1–46.

2) Andreas, E. L. Fallacies of the Enthalpy Transfer Coefficient over the Ocean in High Winds. /E. L. Andreas // J. Atmos. Sci. - 2011. - V.68. - P. 1435–1445.

3) Soloviev, A. V. The air-sea interface and surface stress under tropical cyclones / A. V. Soloviev, R. Lukas, M. Donelan, B. K. Haus, I. Ginis // Sci. Rep. - 2014. - V. 4. - P. 5306.

4) Takagaki, N. Mechanism of drag coefficient saturation at strong wind speeds / S. Komori, N. Suzuki, K. Iwano, R. Kurose // Geophys. Res. Lett. - 2016. - V. 43. - P. 9829–9835.

5) Troitskaya, Y. Bag-breakup fragmentation as the dominant mechanism of sea-spray production in high winds / A. Kandaurov, O. Ermakova, D. Kozlov, D. Sergeev, and S. Zilitinkevich // Sci. Rep. - 2017. - V. 7. - P. 1614.

6) Troitskaya, Yu. I. Laboratory and theoretical modeling of air-sea momentum transfer under severe wind conditions / Y. I. Troitskaya, D. A. Sergeev, A. A. Kandaurov, G. A.Baidakov, M. A. Vdovin, and V. I. Kazakov // J. Geophys. Res. Ocean. - 2012.- V. 117. - P. C00J21.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОТОКОВ ЯВНОГО И СКРЫТОГО ТЕПЛА НА ГИДРОФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ИО РАН В 2013 ГОДУ

Сильвестрова К.П.[1], **Мысленков С.А.**[1,2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

ksberry@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, потоки явного и скрытого тепла, температура воды.

Работа посвящена анализу потоков тепла через границу океан - атмосфера в 2013 году в районе г. Геленджика. Выбор периода обусловлен наличием нескольких апвеллингов, зафиксированных по данным термокосы, установленной в исследуемом районе (в Южном отделении ИО РАН) [1]. Основная задача работы - оценка потоков тепла во время апвеллингов по сравнению со средними значениями потоков в стандартных условиях. Данная задача поставлена для дальнейшей оценки значимости и вклада апвеллингов в турбулентные потоки тепла, а также для возможного выявления и разделения процессов выхолаживания и процессов апвеллинга.

Для расчета потоков тепла использовался алгоритм COARE Bulk Flux Algorithm version 3.0a [2]. Данные для расчета получены с гидрометеостанции г. Геленджика, где проводятся стандартные метеорологические наблюдения. В качестве входных данных для расчета использовались следующие параметры: температура воздуха и воды, относительная влажность воздуха, атмосферное давление, скорость ветра. Данные о приходящей коротковолновой и длинноволновой радиации получены из реанализа ERA5 [3] для ближайшего узла к г. Геленджику (44.5° с.ш., 38.0° в.д.).

В результате был получен ряд данных о величине потоков явного и скрытого тепла с шагом 3 часа за 2013 год. Среднегодовые значения составили 11 Вт/м^2 для потока явного тепла и 48 Вт/м^2 для потока скрытого тепла (положительным принято направление из океана в атмосферу). Такие значения соответствуют ранее полученным оценкам для Черного моря [4]. Проведено сравнение полученных значений с расчетными данными реанализа ERA5. Наблюдается высокая корреляция значений потоков явного и скрытого тепла по COARE и значений, полученных из реанализа (коэффициент корреляции 0.8 и 0.74 для всего года). По данным реанализа значения потоков тепла несколько выше. Различия вероятно связаны с использованием других входных данных.

В целом для данного региона установлено, что в 2013 году поток скрытого тепла был практически всегда положительным, достигнув своего максимума более 300 Вт/м^2 в августе, а минимума -0.76 Вт/м^2 в апреле, опустившись ниже нуля лишь несколько раз весной. Поток явного тепла достиг максимума более 200 Вт/м^2 зимой, в декабре, а минимальные значения наблюдались во время весеннего прогрева в апреле, когда температура воды на поверхности понизилась вследствие адвекции, а воздух прогрелся до температуры более 20 °C.

В 2013 году в районе Геленджика, согласно работе [5] наблюдалось несколько экмановских апвеллингов. При апвеллингах в летний сезон температура воды понижалась на несколько градусов, только осенью, в сентябре, было зафиксировано падение поверхностной температуры до 13 °C. Процессы резкого падения температуры воды должны приводить к переносу явного тепла из атмосферы в океан. Для 6 таких событий были рассчитаны средние значения потоков тепла (период осреднения от суток до 5 суток - в зависимости от времени действия апвеллингового ветра). Получено, что для всех событий значения потока явного тепла меньше среднегодового, а значения скрытого тепла, напротив, больше среднегодового значения. Однако, несмотря на то, что во время апвеллингов

поток был отрицательным, лишь для одного случая в июле осредненный за несколько суток поток явного тепла составил -2.69 Вт/м^2 - т.е. передача тепла была из атмосферы в океан. Для остальных случаев, вне зависимости от происходящих апвеллингов поток тепла был направлен из океана в атмосферу.

За исследуемый период значительного влияния апвеллингов на сезонные потоки тепла через границу океан - атмосфера не выявлено. Это связано с тем, что максимальное влияние апвеллинг может оказать в летний период при продолжительности хотя бы несколько суток, когда резкое падение температуры воды приводит к большой разности с температурой воздуха. Осенью же температура воздуха падает, и разность с температурой воды не велика даже в случае апвеллинга. К тому же сильный сигнал суточного хода перекрывает влияние краткосрочных событий при осреднениях в несколько суток.

Таким образом в работе исследована изменчивость потоков явного и скрытого тепла в 2013 году, а также показано, что небольшие колебания температуры воды в следствие неполного апвеллинга (до 2-3 °C) летом не значимы для сезонных колебаний потоков тепла.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме №0149-2019-0004. Разработка методики расчетов потоков тепла выполнена в рамках проекта РФФИ № 18-05-60124.

Список литературы

1) Очередник В.В., Баранов В.И., Зацепин А.Г., Куклев С.Б. Термокосы ЮО ИО РАН: конструкция, методика и результаты метрологического исследования датчиков // Океанология.– 2018. – Т.58 – №5 – С. 719-730.
2) Fairall, C. W., E. F. Bradley, J. E. Hare, A. A. Grachev, and J. B. Edson,Fairall, C. W., E. F. Bradley, J. E. Hare, A. A. Grachev, and J. B. Edson Bulk parameterization of air–sea fluxes: Updates and verification for the COARE algorithm.// J. Climate.– 2003 – 16. – 571–591
3) Реанализ ERA5 [Электронный ресурс] https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets/reanalysis-datasets/era5
4) Schrum C. et al. Air–sea exchange in the Black Sea estimated from atmospheric analysis for the period 1979–1993 //Journal of marine systems. – 2001. – Т. 31. – №. 1-3. – С. 3-19.
5) Silvestrova K., Myslenkov S., Zatsepin A. Variability of Wind-Driven Coastal Upwelling in the North-Eastern Black Sea in 1979–2016 According to NCEP/CFSR Data //Pure and Applied Geophysics. – 2018. – Т. 175. – №. 11. – С. 4007-4015.

ЭНЕРГИЯ ВЕТРА И ВОЛН В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ

Мысленков С.А.[1,2], **Самсонов Т.Е.**[2], **Архипкин В.С.**[2], **Киселева С.В.**[2], **Сильвестрова К.П.**[1]

[1]*Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, г. Москва,*

[2]*Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

ksberry@mail.ru

Ключевые слова: волновая энергетика.

В наши дни наблюдается повышенный интерес к оценкам ветроэнергетического потенциала и волновой энергии в различных акваториях мирового океана [1, 2, 3, 4]. Энергия ветра и волн является одним из возобновляемых источников энергии, который может быть использован для получения электричества [2, 3]. Распределение волновой энергии учитывается при расчете нагрузок на различные сооружения в море и в прибрежной зоне. Также энергия морских волн является одним из факторов, с воздействием которого связано разрушение берегов.

Так как основные потребители электроэнергии находятся на суше, то наиболее выгодно размещать ветро-волновые энергетические установки в прибрежной зоне.

В данной работе проведен анализ данных моделирования ветрового волнения в Черном и Каспийском морях за продолжительный период времени (с 1979 по 2017 гг.). Рассматривается распределение волновой энергии в прибрежной зоне и ее сезонная изменчивость.

Для расчета потока волновой энергии в Каспийском море была использована спектральная волновая модель третьего поколения WAVEWATCH III версии 4.18 [5]. Приток энергии к волнам осуществляется за счет энергии ветра, а ее диссипация - за счет обрушения волновых гребней, вследствие донного трения и обрушения волн на критических глубинах. Для расчета потенциала волновой энергии в Черном море использовались данные реанализа волнения, выполненного с помощью спектральной волновой модели SWAN для периода 1979-2016 гг. [6].

Вычисления параметров волнения проводились с использованием нерегулярных сеток, что позволяет получать данные с высоким разрешением в прибрежной зоне.

В качестве вынуждающей силы в моделях волнения и для анализа ветровой энергии были использованы данные о ветре на высоте 10 м из реанализа NCEP/CFSR для периода с 1979 по 2010 год с шагом по пространству $\sim 0.3^\circ$. Для периода с 2011 по 2017 гг. использован реанализ NCEP/CFSv2 с разрешением $\sim 0.2^\circ$. Шаг по времени в этих реанализах составляет 1 час.

В результате для прибрежной зоны Черного и Каспийского морей были рассчитаны значения среднемноголетнего потока волновой и ветровой энергии для всего периода данных. Также рассчитывался среднемноголетний (за 39 лет) поток волновой и ветровой энергии отдельно для августа и ноября. Одним из определяемых параметров - обеспеченность волновой энергией - рассчитывалась для нескольких критериев 0.5, 1, 2 кВт/м.

Среднемноголетний поток волновой энергии в западной части в открытом море составляет 3-4 кВт/м, в восточной части приблизительно в два раза меньше. В прибрежной зоне российского сектора максимальные значения (около 2 кВт/м) наблюдаются у Южного берега Крыма, в районе м. Утриш и м. Идокопас.

В Каспийском море максимальные значения среднемноголетнего потока волновой энергии расположены в центральной части моря и составляют 5.6 кВт/м. В северной части моря из-за небольших глубин и присутствия льда в зимний период поток энергии не превышает 1 кВт/м. В южной части моря поток энергии около 1-2 кВт/м. Для прибрежной

зоны Каспийского моря характерны значения 1-2 кВт/м. Максимум 3 кВт/м наблюдаются только у Апшеронского полуострова.

Плотность ветровой энергии на высоте 50 м в прибрежной зоне Черного моря лежит в диапазоне от 150 до 260 Вт/м^2. Максимальные значения наблюдаются в районе Керченского пролива и в северо-западной части -200-260 Вт/м^2. В Каспийском море плотность ветровой энергии несколько выше 250-320 Вт/м^2, а максимальные значения наблюдаются также как для волновой энергии у Апшеронского полуострова.

Список литературы

1) Архипкин В.С., Васьков А.Г., Киселева С.В., Мысленков С.А., Темеев А.А., Темеев С.А., Умнов П.М. Оценка потенциала волновой энергии прибрежной акватории полуострова Крым // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 20.– С. 25-35.
2) Горлов А.А. Научная и экспериментальная инфраструктура развития морских ВИЭ // Энергия: экономика, техника, экология. – 2017. – № 4. – С. 21-31.
3) Минин В. А., Дмитриев Г. С. Перспективы освоения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на Кольском полуострове. – Мурманск: Издательство Беллона – 2007.
4) Киселева С.В., Шестакова А.А., Торопов П.А., Мысленков С.А. Оценка ветроэнергетического потенциала Черноморского побережья Кавказа с использованием реанализа CFSR // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 15-18. – С. 75-85.
5) Gippius F., Myslenkov S., Stoliarova E., Arkhipkin V. Wave climate of the black sea's coastal waters during the last three decades // Managing risks to coastal regions and communities in a changing world. EMECS'11 - Seacoasts XXVI. Proceedings of International Conference. – St. Petersburg. – 2016. – P. 395-402.

СИНОПТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПЛЮМА РЕКИ ЛЕНА

Спивак Э.А.[1], **Осадчиев А.А.**[2]

[1] *Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток,*

[2] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

stilo@poi.dvo.ru

Ключевые слова: речной плюм, речная дельта, ветровое воздействие, стратификация, Лена, море Лаптевых.

Работа посвящена исследованию динамики распространения и перемешивания плюма реки Лена в синоптическом временном масштабе. Работа основана на натурных данных, собранных в начале октября 2018 года в ходе 73-го рейса «НИС Академик Мстислав Келдыш» в акватории моря Лаптевых, расположенной к востоку от дельты Лены и к северу от губы Буор-Хая. Используемые натурные данные включают в себя непрерывные измерения температуры и солености в поверхностном слое вдоль хода движения судна, а также измерения вертикальных профилей температуры и солености на гидрологических станциях. В период с 1 по 5 октября были проведены измерения в поверхностном слое вдоль шести параллельных меридиональных галсов от 72.5° до 73.5° с.ш., расположенных на различном расстоянии (от 35 до 50 км) к востоку от дельты Лены. Проведенные измерения позволили впервые зафиксировать субмезомасштабную структуру придельтовой части плюма Лены в период низкого осеннего стока с высоким пространственным разрешением, а также ее отклик на синоптическую изменчивость ветрового воздействия.

В период работ расход реки Лена составлял около 12000 м^3/с по данным прямых измерений на гидрологическом посту Столб, расположенном в начале дельты Лены. Район работ был расположен напротив Трофимовской и Сардахской системы проток, в которые поступает более двух третей расхода реки Лена в периоды низкого стока. В результате поступления большого объема материкового стока к востоку от дельты Лены формировался речной плюм со значительными пространственными масштабами и большой толщиной. Минимальная поверхностная соленость, зафиксированная в плюме, составляла 1 епс. Распределение температуры и солености в поверхностном слое в плюме показало значительную пространственную неоднородность, по-видимому, вызванную неоднородностью размеров дельтовых проток и поступающего из них материкового стока. Области минимальных значений температуры и солености были приурочены к наиболее крупным Трофимовской и Сардахской протокам. Распределение термохалинных характеристик в поверхностном слое в плюме также характеризовалось значительными градиентами, на ряде участков длиной 5-7 км соленость и температура изменялись более чем на 5 епс и 1° С, соответственно. Максимальные значения солености в ходе измерений на полигоне составляли 15-16 епс.

Вертикальные измерения термохалинной структуры, проведенные на шести гидрологических станциях в исследуемом районе, зафиксировали, что толщина плюма составляла 7-15 м. Резкий градиент толщиной несколько метров разделял воды плюма и более соленые (21-25 епс) и холодные (0-2° С) морские воды. Вертикальные измерения были проведены в районах плюма с различной поверхностной соленостью, т.е. была получена вертикальная термохалинная структура различных стадий трансформации материкового стока в процессе перемешивания с более солеными нижележащими водами. Было показано, что увеличение поверхностной солености в результате перемешивания плюма Лены в придельтовой части сопровождается увеличением толщины плюма и, тем самым, ростом массового содержания соли в опресненном поверхностном слое. Совместный анализ новых

и архивных вертикальных термохалинных измерений в исследуемом районе, проведенных в 2008 и 2016 годах показал прямую зависимость поверхностной солености от массового содержания соли в речном плюме, которая достаточно хорошо аппроксимируется линейной функцией. На основе построенной линейной зависимости были получены оценки скорости перемешивания плюма Лены в придельтовой части.

В процессе экспедиционных работ был зафиксирован отклик придельтовой части плюма Лены на изменчивость локального ветрового воздействия. В течение 30 сентября - 1 октября в районе работ наблюдался очень слабый (∼2-3 м/с) восточный ветер. Измерения в поверхностном слое, проведенные вдоль четырех галсов в этот период показали, что плюм Лены распространялся в восточном направлении. Соленость поверхностного слоя монотонно росла по мере увеличения расстояния галсов от берега от 0-10 епс на наиболее близком галсе до 8-16 епс на наиболее удаленном. В течение 2-3 октября ветер усилился до 8 м/с и изменил свое направление на северное. Измерения, проведенные вдоль двух галсов в этот период, показали существенный рост солености на 8-10 епс в районе работ. По-видимому, в результате ветрового воздействия придельтовая распресненная часть плюма оказалась прижата к берегу, граница плюма менее чем за сутки сдвинулась на расстояние в 20 км. Этот эффект показывает высокую пространственную изменчивость наименее соленой и наиболее стратифицированной части плюма Лены на изменчивость ветрового воздействия, которая характерна для плюмов малых рек, имеющих малые пространственные масштабы, и не характерна для плюмов, сформированных большими реками.

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания ФАНО России, тема 0149-2019-0003 (сбор натурных данных); при поддержке РНФ, проект 18-17-00089 (анализ натурных данных); при поддержке РФФИ, проект 18-05-00019 (исследование речных плюмов)

ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРЫ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ НА ПРИМЕРЕ НАТУРНЫХ ДАННЫХ 2006 Г.

Степанова Н.Б.[1,2], **Собаева Д.А.**[1,2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный*

stepanova.nb@ocean.ru

Ключевые слова: термохалинная структура, ХПС, Балтийское море.

Холодный промежуточный слой (ХПС) Балтийского моря наблюдается около 8 месяцев в году. С начала мая, когда сезонный термоклин ограничивает холодные воды от поверхностного слоя, ХПС может быть выделен в поле температуры и наблюдается вплоть до середины октября, пока ветровое перемешивание и сезонное выхолаживание не стирает границу между поверхностными и промежуточными водами, формируя зимний верхний квазиоднородный слой. Из-за протяжённости моря вдоль его основной оси, связи с Атлантическим океаном в его юго-западной части и большей части стока рек в северной части, характеристики вод Балтийского моря значительно меняются по мере удаления от Датских проливов. Что приводит к необходимости использования единого физического критерия выделения ХПС - по значениям максимального и минимального градиентов температуры с глубиной [1]. В многочисленных натурных измерениях из Гданьского бассейна и точечных данных из Барнхольского и Готландского бассейнов в летний период ранее была обнаружена повторяющаяся структура ХПС, которая подразделяет слой на однородный и градиентный подслои в поле солёности [2]. В данной работе проверяется гипотеза о существовании подобных подслоев ХПС не только в водах Юго-восточной Балтики, но и на акватории всего собственно Балтийского моря. Для подтверждения гипотезы были детально проанализированы данные натурных измерений по продольному разрезу собственно Балтийского моря - от Арконского бассейна до Финского залива. В работе использовались CTD данные с шагом измерений 10-20 см, полученные в 2006 году в экспедициях от Арконского бассейна до Финского залива на НИС «Профессор Штокман» с 23 апреля по 4 мая (Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук) и НИС «Gauss» с 4 по 12 мая (Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde).

Анализ данных показал, что на всех рассматриваемых станциях можно выделить однородный и градиентный по солёности подслои. В ходе анализа определены глубины залегания границ ХПС, толщины однородного и градиентного подслоев и положение ядра ХПС. Проведённое сопоставление дало возможность взглянуть на только что сформировавшийся ХПС, еще значительно не изменённый внешними условиями конкретного сезона/года. Что позволило распространить понимание его структуры с Юго-восточной Балтики на акваторию всего собственно Балтийского моря, как слоя сформированного за счет действия не только локальных механизмов, но и за счет обмена вод в масштабах всего бассейна.

Сбор и обработка данных выполнены в рамках государственного задания тема № 0149-2019-0004. Анализ данных выполнен при поддержке РФФИ проект № 18-35-00453 мол_а

Список литературы

1) Stepanova N. B., Chubarenko I. P., and Shchuka S. A. (2015). Structure and Evolution of the Cold Intermediate Layer in the Southeastern Part of the Baltic Sea by the Field Measurement Data of 2004–2008. Oceanology. Vol. 55, No. 1, pp. 25–35.

2) Stepanova N. (2017) Vertical structure and seasonal evolution of the cold intermediate layer in the Baltic Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science. Vol. 195. P. 34-40. doi: 10.1016/j.ecss.2017.05.011.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКАТА ДЛИННОЙ ВОЛНЫ НА СУХОЙ БЕРЕГ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЦУНАМИРАЙОНИРОВАНИЯ, НА ПРИМЕРЕ БУХТЫ ЮЖНО-КУРИЛЬСКАЯ (О. КУНАШИР)

Стокоз А.К., Плинк Н.Л.

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, г. Санкт-Петербург

yastokoz@gmail.com

Ключевые слова: физика океана, цунами, опасные явления, защита прибрежной зоны, цунамирайонирование, моделирование, комплексное управление прибрежными зонами.

Волны цунами - слабозаметные в открытом океане - при подходе к берегу подвергаются значительной трансформации, и приводят к затоплению обширных территорий, значительному экономическому ущербу и многочисленным человеческим жертвам. В Российской Федерации воздействию цунами в наибольшей степени подвержены прибрежные территории Дальнего Востока. Так, после катастрофического цунами в Северо-Курильске 1952 г. была создана служба цунами, главной задачей которой стало раннее обнаружение цунами и оповещение населения о возможной угрозе. Одним из инструментов, направленных на уменьшение ущерба от воздействия цунами, связанного с разрушением прибрежной инфраструктуры, капитальных строений и т.п., является процедура цунамирайонирования. Широко используемая в мировой практике процедура цунамирайонирования является основой для разработки программ комплексного развития прибрежных зон, планов территориального развития, правил застройки береговой полосы и других инструментов комплексного управления прибрежными зонами в контексте общего подхода к управлению рисками экстремальных подъемов уровня. Данные о высотах подходящих волн цунами или величинах зоны затопления, используемые для составления схем цунамирайонирования, характеризуют потенциальную угрозу и должны соответствовать наиболее неблагоприятным условиям образования и трансформации цунами. Схема цунамирайонирования должна характеризовать максимальную величину зоны затопления (давать оценку сверху), учитывать вероятностную оценку параметров цунами (высоты, длины периода), а также различные варианты подхода волны

Цунамирайонирование бухты Южно-Курильская производилось с использованием данных Шикотанского землетрясения 1994 года, характеризующегося магнитудой Mw=8.3 балла по шкале Рихтера и являющегося одним из сильнейших землетрясений, случавшихся в исследуемой области, что позволяет рассматривать полученные результаты как оценку, близкую к оценке сверху. Землетрясение вызвало волну цунами, приведшую к затоплению значительных участков тихоокеанского побережья Курильских островов. Данные возмущения уровня свободной поверхности в эпицентре землетрясения были получены с официального сайта Геологической службы США [1].

Для вычисления максимально возможных величин дальности заплеска расчет характеристик наката волны на берег был выполнен посредством численной модели с подвижной береговой границей. Расчет основан на решении системы линеаризованных уравнений теории мелкой воды, с использованием «шахматной» конечно-разностной сетки и аппроксимации явного вида. В качестве начальных условий задается мгновенное статическое возмущение уровня. В качестве граничных условий на жидкой границе применяется условие полного излучения, на твердой границе условие непротекания.

Решение задачи наката реализуется путем задания подвижной твердой (береговой) границы, положение которой определяется на основе вариационного принципа. Численная реализация процесса наката волны на сухой берег с использованием граничного условия вариационного типа была предварительно верифицирована на одномерной численной

модели, а также двумерной численной модели с использованием простой модельной морфометрии.

На первом этапе расчет характеристик наката был выполнен с применением одномерной численной модели. Расчет параметров производился вдоль поперечных профилей. В качестве исходных данных были использованы значения уровня свободной поверхности на изобате 10 м, полученные путем решения задачи распространения волны в открытом океане посредством двухмерной гидродинамической численной модели, используемой в Институте морской геологии и геофизики в Южно-Сахалинске [2].

Высота вертикального заплеска в среднем по бухте составила 5 - 6 м. Дальность заплеска в зависимости от уклона рельефа берега в южной части колеблется в диапазоне 200 - 400 м, а в северной достигла 800 м.

На следующем этапе был произведен расчет характеристик наката с применением двухмерной численной модели. Расчет был выполнен при подходе волны южного направления, соответствующего случаю зарождения на юге Курило-Камчатского желоба.

В результате расчета наката волны были получены значения дальности зоны затопления сухого берега и величина вертикального заплеска для каждой точки побережья в разные моменты времени. В среднем по бухте критическое значение высоты вертикального заплеска колеблется от 4 до 6 м. При этом дальность заплеска в южно части бухты составляет 200 - 400 м, в центральной части 500 - 800 м, а в северной достигает 1100 м. Наибольшая дальность заплеска достигается в северной части бухты, образованной Южно-Курильским перешейком.

Использованная двухмерная модель позволяет учитывать распространение волны в продольном и поперченном направлениях относительно подхода волны, особенности рельефа береговой линии, а также возможность интерференции падающих и отраженных волн в условиях сложной береговой линии, что приводит в некоторых случаях к уменьшению или увеличению критических значений

Полученные в ходе моделирования карты мелкомасштабного цунамирайонирования сопоставимы с приведенными в работе [3] картами цунамирайонирования южных Курильских островов на основе данных повторяемости раз в сто лет. Полученные в ходе моделирования карты распределения максимальных значений дальности заплеска демонстрируют более высокую степень детализации в условиях сложного рельефа.

Список литературы

1) Significant Earthquakes – 1994. M 8.3 – Kuril Islands [Электронный ресурс] // U.S. Geological Survey [сайт]. URL: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0006kdp/executive (дата обращения: 08.02.2019).
2) Лоскутов А.В. Динамика волн цунами в северо-западной части Тихого океана на основе инструментальных измерений и численного моделирования: диссертация кандидата физико-математических наук. ИМГиГ ДВО РАН, Южно-Сахалинск, 2016.
3) Кайстренко В.М. Количественная оценка цунамиопасности и карты цунамирайонирования // Фундаментальная и прикладная гидрофизика №3 (10). 2017. С. 39-55.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ КОНВЕКЦИИ В СЛОИСТОМ СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ МОРСКОГО ЛЬДА

Сумкина А.А.[1,2], Богородский П.В.[2]

[1]*Институт наук о Земле СПбГУ, г. Санкт-Петербург*

[2]*Арктический и Антарктический НИИ, г. Санкт-Петербург*

alexandrasumkina@gmail.com

Ключевые слова: снежный покров морского льда, число Рэлея, конвективный тепло- и массоперенос.

В снежном покрове морского льда при разности температуры на внешних границах начинается макроскопическое движение воздуха, значительно интенсифицирующее тепло- и массоперенос. Основной особенностью реально наблюдаемого снежного покрова является слоистая структура, которая обусловлена влиянием внешних воздействий и процессов метаморфизма. В результате физические свойства соседних слоев могут различаться на порядок, таким образом, слоистость может значительно влиять на конвективный тепло- и массоперенос. В данной работе рассматривается конвективный тепло- и массоперенос в слоистом снежном покрове морского льда и определяется критический параметр, при котором воздух, содержащийся в порах снега, становятся нестабильными. Для определения границы устойчивости воздуха в снежном покрове морского льда рассчитывается критическое число Рэлея с помощью метода Галеркина [1, 2]. Использовалась система линеаризованных уравнений, определяющих тепловую конвекцию воздуха в двухслойном снеге [1, 2]. Граничные и сопряженные условия для данной системы формулируются следующим образом: нижняя граница (снег-лед) снежного покрова непроницаема, следовательно вертикальная составляющая скорости воздушного потока на этой границе равна нулю; верхняя граница снежного покрова проницаема для воздуха, и горизонтальный градиент давления равен нулю. Выполняется условие неразрывности для температуры, тепловых потоков на границах раздела. Далее система записана в безразмерном виде, где все производные взяты относительно безразмерных координат и времени. Таким образом, небольшие возмущения равновесия воздуха определяются системой линейных однородных уравнений с постоянными коэффициентами [3, 4]. Получена безразмерная величина числа Рэлея (Ra) для снежного покрова морского льда, которая входит в систему из четырех уравнений для вертикальных компонент скорости и температурных возмущений:

$Ra=(ß*g*f_1*H^2*M_1*\sigma_1*\gamma_{10})/(\nu*\chi_1)$, (1)

где $ß$ - коэффициент теплового расширения воздуха; f - коэффициент пористости нижнего слоя снежного покрова; g - ускорение свободного падения; H - общая толщина снежного покрова; M - величина, определяющая тепло, передаваемое насыщенным водяным паром воздухом, содержащимся в порах снега; σ - коэффициенты проницаемости снега; γ - градиент температуры в слое снега; χ- температуропроводность снега; ν - кинематическая вязкость; $_{1,2}$ - индексы верхнего и нижнего слоя снежного покрова. Предложенная спектральная задача имеет нетривиальные решения при большом количестве декрементов (λ) равновесного возмущения. Для двухслойного снежного покрова, а также для однородного плоского снежного слоя граница устойчивости определяется при условии, что $\lambda = 0$. Было получено выражение, определяющее нейтральную кривую на плоскости (Ra_1, k) и разделяющее области устойчивости и неустойчивости:

$Ra_1=(pi^2/4 + k^2)*(a_1 + \sigma_1/\sigma_2 * A^2 * a_2)*[(pi^2 + k^2)*(b_3 + \sigma_1/\sigma_2 * b_5) + C * \lambda_1/\lambda_2 *(2* pi^2 * b_6 + k^2 * b_7)] / k^2* (b_1 + A * b_2)$. (2)

k - волновое число; a, b - коэффициенты характеризующие отношения верхнего слоя снега к общей толщине снежного покрова ($a1=1/2*(h1/H - 1/pi * sin(pi*h1/H))$); $h1$-толщина верхнего слоя снега; H - общая толщина снежного покрова; $A=f_1*\sigma_1/ f_2*\sigma_2$; $C=(1-\lambda_1/\lambda_2)*cot(pi*h_1/H)$. Получено семейство кривых по формуле (2), показывающее изменение числа Рэлея (Ra_1) в зависимости от волнового числа (в пределах от 1 до 10) и соотношения коэффициентов теплопроводности ($\lambda s_1/ \lambda s_2$). Коэффициент теплопроводности рассчитывался для двух слоев с различной плотностью. В качестве эксперимента были выбраны коэффициент теплопроводности для верхнего слоя (λs_1) - соответствующий плотности 350 кг/м^3 и для нижнего слоя (λs_2) - соответствующий плотности 150 кг/м^3. Далее проводился эксперимент, где плотность верхнего слоя приравнивалась 280 и 200 кг/м^3, а нижнего слоя - 150 кг/м^3. Толщины верхнего и нижнего слоев снежного покрова зафиксированы и равны 15 см, общая толщина равна 30 см. Следующий численный эксперимент для расчета числа Рэлея проводился с фиксированным значением плотности 350 кг/м^3 для верхнего и 150 кг/м^3 для нижнего слоев, следовательно коэффициент теплопроводности постоянный, но были выбраны разные соотношения толщин слоев снежного покрова. Согласно полученным результатам с увеличением плотности снежного покрова, коэффициента теплопроводности и уменьшением отношения верхнего слоя к общей толщине снежного покрова число Рэлея увеличивается. Минимальное значение волнового числа, при котором начинается конвекция равняется 2. Наименьшее Ra_1 соответственно равняется 9.02 и наблюдается при толщине верхнего слоя 20 см, общей толщине снежного покрова 30 см и коэффициенте теплопроводности 0.0618 Вт/(м*К). Наибольшее критическое значение Ra_1 равно 88.5 при теплопроводности, соответствующей 0.2872 Вт/(м*К) и отношению толщин 0.5. Наблюдается наибольший вклад коэффициента теплопроводности в начало конвективного теплопереноса. С увеличением коэффициента теплопроводности и уменьшением толщины верхнего слоя снежного покрова увеличивается порог устойчивости. Фиксируется большая чувствительность значения числа Рэлея к изменению задаваемых теплофизических параметров, чем к изменению отношения толщин слоев снежного покрова. Подтверждается реальность конвективного режима теплопереноса в слоистом снежном покрове морского льда и необходимость его учета в расчетах теплового и массового баланса морского льда в зимний период.

Список литературы

1) Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. – Наука, 1972. 392.
2) Жекамухов М.К., Жекамухова И.М. О конвективной неустойчивости воздуха в снежном покрове //Инж. физ. журнал. – 2002. – Т. 75. – №. 4. – С. 65.
3) Жекамухов М.К., Жекамухова И.М. Конвективная неустойчивость воздушной конвекции в двухслойном снежном покрове. I. Система линеаризованных уравнений для тепловой конвекции воздуха //Инж. физ. журнал. – 2007. – Т. 80. – №. 1. – С. 107–112.
4) Жекамухов М.К., Жекамухова И.М. Устойчивость воздушной конвекции в двухслойном снежном покрове. II. Расчет критических параметров основного уровня устойчивости воздуха //Инж. физ. журнал. – 2007. – Т. 80. – №. 1. – С. 120–127.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВИХРЕВОГО ПОЛЯ В АНТАРКТИЧЕСКОМ ЦИРКУМПОЛЯРНОМ КОЛЬЦЕ СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Тароян В.К., Тараканов Р.Ю.

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

taroyan@phystech.edu

Ключевые слова: физика океана, вихревое поле, Антарктическое циркумполярное течение.

Предметом исследования данной работы являются статистические характеристики вихревого поля в Антарктическом циркумполярном кольце, а именно характерные радиусы и амплитуды абсолютной динамической топографии (далее АДТ) циклонов и антициклонов. Антарктическое циркумполярное течение (далее АЦТ) является самым мощным течением Мирового океана, опоясывающим антарктический континент с запада на восток. По современным представлениям АЦТ имеет многоструйную структуру, то есть течение распадается на зоны с повышенными скоростями течений. На сегодняшний день выделяют до восьми струй в АЦТ [1].

Исследование основано на ежесуточных данных по АДТ французского агентства CLS, публикуемых на сайте http://www.aviso.altimetry.fr . Данные по АДТ публикуются за каждый день, начиная с 1 января 1993 года по настоящее время, район от 0° до 360° з.д., от 75° до 30° ю.ш. В каждой точке на поверхности океана в каждый момент времени данные по АДТ представляют собой сумму аномалии и средней (по времени) АДТ. Аномалия АДТ вычисляется на основе измерений спутников-альтиметров. Осреднение таких измерений за значительный промежуток времени дает среднюю форму поверхности океана, отклонение которого в каждый момент времени от среднего дает аномалию уровня океана. Так как узлы сетки, на которой даются значения аномалии уровня, не совпадают с трассами спутников, в этих узлах значения аномалии уровня вычисляются путем интерполяции с трасс спутников на $\frac{1}{4}$ градуса. Интерполяция также осуществляется и по времени, поскольку период полного облета одним спутником всех трасс составляет около 10 суток, а сами карты публикуются агентством CLS за каждые сутки. Далее вычисляются АДТ из аномалии уровня океана самим агентством CLS, используя среднюю динамическую топографию. Отметим, что, как правило, проводятся исследования глобального поля вихрей Мирового океана (напр. [2]).

Прежде всего, по данным АДТ были выделены вихри циклоны и антициклоны. Для этого определялись экстремальные значения АДТ и граничные изогипсы (самые дальние от ядра вихря замкнутые изолинии АДТ). Для каждого вихря определялись относящиеся к ним группы точек исходной сетки. Нумерация вихрей уникальна для каждой даты, т.е. номер одного и того же вихря при переходе от даты к дате не сохраняется. Отрицательные номера вихрей соответствуют циклоническим вихрям, положительные - антициклоническим. На основе ежесуточного массива данных с пронумерованными вихрями был проведен анализ: количества вихрей, радиусов и площадей вихрей, амплитуды вихрей, первых четырех статистических момента, характеризующих распределения, причем отдельно для циклонических и антициклонических вихрей в Антарктическом циркумполярном течении.

Для анализа вихревого поля отдельно для циклонов и антициклонов строились распределения:

- суммарных площадей вихрей, нормированных на количество дней, в зависимости от радиусов вихрей
- количества вихрей, нормированные на количество лет
- суммарных площадей вихрей, нормированных на количество дней, в зависимости от амплитуды вихрей

Для характеристики распределений, обычно достаточно расчета первых четырех статистических момента: математическое ожидание, среднеквадратичное отклонение, коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса.
По значениям АДТ на границах между струями Антарктического циркумполярного течения [3] проводилось разбиение массивов данных на струи. По новым массивам данных для каждой струи АЦТ был выполнен анализ суммарных площадей вихрей в зависимости от амплитуды АДТ и радиуса

Результаты работы:

- Наибольшую суммарную площадь в Антарктическом циркумполярном течении занимают вихри, размер которых находится в соответствии с теоретическими оценками Россби (15 км) для этого района.
- Северные две струи (первая струя и средняя струя Субантарктического течения) преимущественно содержат антициклонические вихри, последние три струи (южная струя Южного полярного течения, северная струя Южного антарктического течения и восьмая струя) преимущественно содержат циклонические вихри.
- Вихреобразование в большей степени происходит на периферии АЦТ, антициклонические вихри интенсивно образуются в первой и второй струях, циклонические - в первой и восьмой струях.
- Средняя величина амплитуды АДТ циклонических вихрей варьируется между (-7 см) и (-8 см), а антициклонических - между 8 см и 9 см.

Грант РФФИ 18-05-00283 Струйная структура течений верхнего (бароклинного) слоя в Южном океане.

Список литературы

1) Sokolov S., Rintoul S.R. The circumpolar structure and distribution of the Antarctic Circumpolar Current fronts. Part A: Mean circumpolar paths // J.Geophys. Res. – 2009. – V.114 – C11018. – doi: 10.1029/2008JC005108.
2) Chelton D.B., Schlax M.G., Samelson R.M. Global observations of nonlinear mesoscale eddies // Prog. Oceanogr., 2011, V.91, № 2, P. 167-216.
3) Тараканов Р.Ю., Гриценко А.М. Тонкая струйная структура Антарктического циркумполярного течения к югу от Африки // Океанология, 2014, Т. 54, № 6, С. 725–736.

РЕЖИМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ, РАССЧИТАННЫЕ ПО МОДЕЛИ ДРЕЙФА АЙСБЕРГА

Тюгалева А.И.[1], **Май Р.И.**[1,2]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,*

[2] *Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург*

st055402@student.spbu.ru

Ключевые слова: численное моделирование, дрейф айсбергов, повторяемость встречи айсбергов, режимные характеристики дрейфа айсбергов.

Основной целью работы является оценка вероятности появления айсбергов и характеристик их дрейфа в юго-западной части Карского моря.

Для расчета используется математическая модель дрейфа айсберга [1, 2], в основе которой лежит уравнение движения, где вынуждающими силами являются силы воздействия ветровых потоков, течений, морского льда, сила, обусловленная наклоном морской поверхности и сила Кориолиса.

Моделирование происходит по данным ветра, уровня и течений на поверхности и различных горизонтах, взятых из реанализа ERA-INTERIM и системы диагноза и прогноза для Северной Атлантики и Арктики TOPAZ, основанной на модели HYCOM, соответственно. Данные ветра представлены с 6-тичасовой дискретностью. Данные уровня и поверхностных течений за период 1991-2016 год являются ежедневными, осредненными за 24 часа. С 2016 по 2018 год данные представлены с ежечасной дискретностью. Течения по глубинам с 1991 по 2016 имеют осреднение по месяцам, за период 2016-2018 год эти данные имеют ежедневную дискретность и являются осредненными за день значениями [3]. Для моделирования производится интерполяция значений ветра, течений и уровня для временного шага интегрирования сил. Для холодного времени года в модели учитывается воздействие ледяного покрова на айсберги - толщина льда, сплочённость и скорости дрейфа берутся из результатов расчета системы TOPAZ .

Начальные точки генерации траекторий выбраны в соответствии с местоположениями выводных ледников архипелага Новая Земля. Линейные размеры айсбергов в начальных точках генерации задаются методом Монте-Карло по известной эмпирической функции распределения вероятностей длины айсбергов в Карском море [4]. По воспроизведенной длине айсберга, используя регрессионные соотношения, опубликованные в работе [5], рассчитываются масса айсберга и площади поперечного и продольного сечений надводной и подводной частей айсберга. Для тёплого отрезка времени возможен учет изменения массы и размеров айсберга за счет термической и волновой эрозии [6].

С помощью описанной модели воспроизводятся возможные траектории движения айсбергов за длительный период (29 лет). Геометрические параметры и масса айсберга не являются постоянной компонентой, то есть моделируются траектории различных типов айсбергов. Далее происходит расчет условной вероятности появления айсбергов в различных ячейках сгенерированной сетки. Условная вероятность определяется как отношение времени нахождения айсберга в выбранной ячейке ко всему времени моделирования. Оценкой пространственного распределения полной вероятности появления айсберга является произведение полученной условной вероятности на вероятность нахождения айсберга в начальной точке. Моделирование траекторий айсбергов из различных точек и расчет условной и полной вероятности позволит получить интегральную оценку вероятности появления айсберга в юго-западном районе Карского моря.

Помимо расчета пространственного распределения вероятностей появления айсбергов в Карском море, модель позволяет провести расчет оценок вероятностных характеристик скоростей дрейфа айсбергов в заданной точке акватории (например, в точке предполагаемого размещения морской нефтедобывающей платформы). В выбранной точке в зависимости от условий окружающей среды воспроизводятся скорости дрейфа айсбергов различных геометрических параметров и масс с часовой дискретностью. По полученным временным рядам скоростей дрейфа происходит оценка режимных характеристик: рассчитывается средняя скорость дрейфа и изменчивость скорости дрейфа. Оцененные режимные характеристики скоростей дрейфа различных айсбергов могут быть учтены при проектировании и обеспечении безопасной эксплуатации сооружений на арктическом шельфе

По полученным результатам были построены различные карты, иллюстрирующие набор сгенерированных траекторий, распределения статистических характеристик повторяемости встречи различных айсбергов, а также результаты оценок скоростей дрейфа айсбергов в юго-западной части Карского моря: эллипс среднеквадратического отклонения дрейфа, роза дрейфа и др.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-60109 «Исследование процессов формирования и эволюции опасных ледовых явлений и ледяных образований в Арктике при современных изменениях климата»

Список литературы

1) Клячкин С. В., Май Р. И. Прогностическая модель дрейфа айсберга//Проблемы Арктики и Антарктики,2012. №1(91), с.78-88.

2) Тюгалева А. И., Май Р. И. Численное моделирование дрейфа айсберга // Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». 19 - 20 декабря 2018. СПб. с. 655-658.

3) Bertino, L , Lisæter, KA The TOPAZ monitoring and prediction system for the Atlantic and Arctic Oceans // Journal of operational oceanography. 2008. Vol. 1 (N 2) , 15-18 pp

4) Павлова Е.А., Миронов Е.У. Особенности распределения айсбергов по данным судовых и вертолётных наблюдений // Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». 19 - 20 декабря 2018. СПб. с. 507-510.

5) Май Р. И., Павлова Е. А., Тюгалева А. И., Хотченков С. В. Регрессионные соотношения между геометрическими параметрами айсбергов// Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». 19 - 20 декабря 2018. СПб. с. 415-418.

6) Keghouche I., Bertino L., Lisaeter A. Parameterization of an iceberg drift model in the Barents Sea // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 2009. № 26 (10). с. 2216–2227.

АНАЛИЗ ВИХРЕВОЙ ДИНАМИКИ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА GLORYS 12V1

Федоров А.М.[1,2], **Белоненко Т.В.**[1]

[1] *Санкт-Петербургский государсвенный университет, г. Санкт-Петербург*

[2] *Международный центр по дистанционному зондированию и окружающей среде имени Нансена, г. Санкт-Петербург*

aandmofficially@gmail.com

Ключевые слова: вихревая динамика, Норвежское море, Лофотенская котловина, Лофотенский вихрь, параметр Окубо-Вейса, GLORYS.

Динамика вод в акватории Лофотенской котловины, которая находится в центральной части Норвежского моря, выступает объектом изучения исследователей со всего мира. Главной особенностью является антициклонический Лофотенский вихрь (ЛВ), в полях температуры и солености которого наблюдаются положительные аномалии [1].

Динамические особенности вод в районе Лофотенской котловины представлены множеством мезомасштабных вихрей, которые образуются либо в самой котловине, либо являются результатом бароклинной неустойчивости огибающих ее ветвей крупномасштабных течений и взаимодействуют друг с другом тем или иным способом.

Продукт GLORYS12V1 вихреразрешающий реанализ глобального океана с разрешением $1/12^\circ$ (около 8 км) на 50 горизонтах для периода, в который имеются альтиметрические наблюдения - 1993-2016. Для идентификации вихрей и определения их параметров (радиус, амплитуда и др.) на поверхности применялся автоматический алгоритм, описанный в [2]. Вместо полей аномалий альтиметрического уровня использовались поля аномалий уровня реанализа.

Анализируются два типа мезомасштабных вихревых структур, для которых рассчитывается относительная завихренность и параметр Окубо-Вейса W [3]:

1. Вихри - замкнутые структуры с ненулевой относительной завихренностью; положительным значениям относительной завихренности соответствуют циклонические вихревые образования, отрицательным - антициклонические. В вихре значения параметра Окубо-Вейса $W < 0$. Мезомасштабные вихри делятся на две группы, исходя из геометрического критерия: «симметричные» и «несимметричные» вихри. К первой группе относятся вихри, для которых суммарная площадь областей, отклоняющейся от круга , где R - радиус вихря, составляет не более 35% от площади круга [4]. Ко второй группе относятся вихревые структуры, где данное условие не выполняется. Из-за своей формы эти структуры неустойчивы и быстро диссипируют [5].

2. Вихревые нити или филаменты - области с ненулевой относительной завихренностью, например, области сдвиговых течений. Здесь параметр Окубо-Вейса W положителен. К филаментам относятся зоны сдвиговых течений, где присутствует ненулевая относительная завихренность, однако в формуле для W доминируют сдвиговые составляющие [6].

Проанализированы следующие ситуации:

1. Слияние вихрей. Исследуются размеры вихрей до и после слияния, их радиус и площадь. Например, в апреле 2015 года в центре котловины Лофотенским вихрем был поглощен антициклон меньшего размера, в то же время на севере котловины наблюдалось слияние двух циклонов, близких по пространственным масштабу друг к другу, при этом они совместно вращались вокруг общего центра масс до полного объединения их ядер.

2. Взаимодействие вихрей разной полярности. В марте 2008 года два вихря близких друг к другу по пространственным размерам, но разного знака, перемещаются совместно

с севера на юг на расстояние не менее 200 км, в последствии циклон диссипирует, а антициклон сливается с Лофотенским вихрем. Также в январе 2011 года взаимодействие ЛВ с крупным циклоном привело к тому, что циклон диссипировал, а от ЛВ отделился малый антициклон.

3. Зарождение вихрей из вихревой нити. В марте 2001 года наблюдается регенерация Лофотенского вихря в центральной части котловины, чему предшествует серия слияний малых вихрей.

Указанные ситуации анализируются как на первом горизонте, так и в глубине. Рассматривается трехмерная структура вихрей на горизонтальных разрезах до и после слияния или до и после взаимодействия их друг с другом. Рассматривается динамическая изменчивость их параметров, оценивается изменение относительной завихренности и величины параметра Окубо-Вейса. Исследуется потенциальная завихренность вихрей до и после взаимодействия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-17-00027.

Список литературы

1) Белоненко Т.В., Колдунов А.В., Сентябов Е.В., Карсаков А.Л. Термохалинная структура Лофотенского вихря Норвежского моря на основе экспедиционных исследований и по данным гидродинамического моделирования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. Т. 63. №4. 2018. С. 502-519

2) Faghmous J.H., Frenger I., Yao Y., Warmka R., Lindell A., Kumar V. A daily global mesoscale ocean eddy dataset from satellite altimetry // Sci. Data. Vol. 2. 2015.P. 150028.

3) Isern-Fontanet J., Font J., García-Ladona E., Emelianov M., Millot C., Taupier-Letage T. Spatial structure of anticyclonic eddies in the Algerian basin (Mediterranean Sea) analyzed using the Okubo–Weiss parameter // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. Vol. 51. № 25–26. 2004. P. 3009-3028. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.09.013.

4) Kurian J., Colas F., Capet X., McWilliams J.C., Chelton D.B. Eddy properties in the California current system // Journal of Geophysical Research: Oceans. V. 116. 2011. P. C08027. doi:10.1029/2010JC006895.

5) Schecter, D. A., Montgomery, M. T. On the symmetrization rate of an intense geophysical vortex. // Dynamics of Atmospheres and Oceans. V. 37. I. 1. 2003. P. 55-88. doi:10.1016/S0377-0265(03)00015-0.

6) Белоненко Т.В., Шоленинова П.В. Об идентификации синоптических вихрей по спутниковым данным на примере акватории северо-западной части Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 13. № 5. 2016.С. 79-90

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ВОД МОРЯ СОДРУЖЕСТВА В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД

Федотова А.А.[1], **Демидов А.Н.**[1], **Кашин С.В.**[2]

[1]*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

[2]*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург*

fedotovalina@yahoo.com

Ключевые слова: Южный океан, водные массы, воды шельфовых ледников, море Содружества, MEOP-CTD.

Антарктические донные воды (ААДВ) занимают значительную часть придонного слоя Мирового океана. По разным оценкам вокруг Антарктиды образуется от 5 до 15 Св ААДВ [1]. Эта более плотная вода обеспечивает стабильность глобальной термохалинной циркуляции [Лаппо, 1984]. Согласно последним оценкам, в пределах акватории моря Содружества формируется до 0.24 Св в заливе Прюдс [2] и 0.3-0.7 Св [3] в полынье Дарнли Антарктических шельфовых вод (ААШВ), участвующих в формировании Антарктических донных вод (ААДВ).

До 2007 года доступный массив CTD-данных по шельфовой зоне моря Содружества (база данных World Ocean Database, база данных ААНИИ) состоит преимущественно из данных измерений, выполненных в летний период (январь-март) с судов. За исключением четырёх крупных полыней (Дарнли, МакКензи, Барриер, Дейвис), с апреля по ноябрь шельфовая зона моря Содружества большей частью занята льдом. Из-за труднодоступности и сплошного льда в холодный период CTD-данные по шельфовой зоне моря Содружества практически отсутствовали.

Необходимость исследовать процессы подо льдом, в труднодоступных для судов районах в холодный период года спровоцировала разработку и реализацию программы MEOP (Marine Mammals Exploring the Oceans Pole to Pole) в полярных районах и, в частности, в море Содружества. Программа MEOP запущена в индоокеанском секторе Южного океана группой французских учёных в 2004 году. На данный момент к эксперименту присоединились Австралия и Китай. Эксперимент проводится каждый год, но самым активным периодом эксперимента является 2011-2012 года. База состоит из данных, полученных в течение всего года, за исключением второй половины декабря и января. Максимум измерений приходится на период апрель-июль (>3000 станций), что является очень важным для понимания межсезонной изменчивости структуры вод шельфовой зоны моря Содружества. Также анализ данных MEOP-CTD позволяет оценить глубины конвекции в полыньях и определить значения характеристик водных масс в холодный период.

В рамках программы MEOP прикрепляются датчики CTD-SRDL (Satellite Relay Data Loggers) к голове маркированного морского слона *(Mirounga leonina)* после сезонной линьки. Для акватории моря Содружества использовались два центра выпуска животных: архипелаг Кергелен и станция Дейвис. Одной из направлений программы MEOP является комплексное исследование полыней: CTD-датчики, совмещённые со спутниковыми ретрансляторами данных, позволяют получить данные не только по температуре и солёности, но и отследить место пребывания животного и его циклы кормления в полынье [4].

Однако, несмотря на вышеперечисленные достоинства базы данных MEOP, она имеет ряд недостатков, усложняющих процесс анализа данных: заявленная точность CTD-данных ±0,05(°C, епс), малое количество станций с промерами до дна, большое количество неглубоких станций в 50-ти метровом слое.

Принципиальным вопросом для понимания процессов, происходящих на шельфе, являются районы распространения модифицированных Циркумполярных глубинных вод (МЦГВ) и вод шельфовых ледников (ВШЛ). Поступление МЦГВ в прибарьерную область шельфового ледника Эймери (ШЛЭ), и как следствие, его таяние и вынос очень холодных, но менее солёных вод в западном секторе ШЛЭ, является одним из главных механизмов, блокирующих процесс выхода ААШВ на бровку шельфа.

В ходе анализа базы данных MEOP-CTD выявлено, что в холодный период, несмотря на активное распространение МЦГВ в восточном секторе залива Прюдс и зафиксированные зимние модификации МЦГВ в прибарьерной области ШЛЭ, образование ВШЛ ослабляется. ВШЛ в западной прибарьерной части ШЛЭ (район полыньи МакКензи) обнаружены только в марте и апреле. Нужно отметить, что выходу ВШЛ из-под ШЛЭ также препятствует развитие глубокой конвекции в полынье МакКензи в июне.

Список литературы

1) Morozov et al. Abyssal channels in the Atlantic Ocean: Water structure and flows / Springer. 2010
2) Головин П.Н., Антипов Н.Н., Клепиков А.В. Сток антарктических шельфовых вод в летний период на шельфе и материковом склоне моря Содружества и их влияние на формирование донных вод Южного океана // Океанология (№ 3). 2011. С. 393–408.
3) Ohshima, K. I., et al. Antarctic Bottom Water production by intense sea-ice formation in the Cape Darnley polynya // Nature Geoscience (6). 2013. P. 235–240
4) Sara Labrousse et al. Coastal polynyas: Winter oases for subadult southern elephant seals in East Antarctica // Scientific Reports. 2018.
5) База данных проекта Marine Mammals Exploring the Oceans Pole to Pole (MEOP-CTD): www.meop.net

РЕТРОСПЕКТИВНЫЕ РАСЧЕТЫ ЦИРКУЛЯЦИИ И ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ОХОТСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОЙ МОДЕЛИ МОРСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ INMOM И МОРСКОГО ЛЬДА CICE

Фомин В.В.[1], **Дианский Н.А.**[2,3], **Чумаков М.М.**[4], **Степанов Д.В.**[5]

[1]*Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва*

[2]*МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

[3]*Институт вычислительной математики РАН, г. Москва*

[4]*ООО «Газпром ВНИИГАЗ», г. Москва*

[5]*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток*

vladimirfomin@live.com

Ключевые слова: численное моделирование, морская циркуляция, динамика и термодинамика льда, Охотское море.

Охотское море относится к Дальневосточным морям России, динамика его вод определяется муссонным характером атмосферного воздействия, сопровождаемым наличием интенсивных мезомасштабных циклонов; сильным приливным воздействием; наличием больших пространств, покрытых льдом; водообменом с северо-восточной частью Тихого океана и с северной частью Японского моря. Также Охотское море характеризуется пространственной неоднородностью поля плотности, влияющей на динамику его вод. Нерегулярные измерения гидрологических параметров, неравномерное расположение сети гидрологических станций и их постепенное закрытие, а также трудности с измерением гидродинамических параметров в зимний период делают фактически невозможным изучение физических особенностей его циркуляции на основе данных наблюдений. Таким образом, наиболее перспективным методом изучения циркуляции Охотского моря является численное моделирование.

В настоящей работе на основе модели морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) [1] и модели морского льда CICE (Los Alamos Sea Ice Model) [2] была использована единая система совместного моделирования, реализованная с использованием фреймворка ESMF (Earth System Modeling Framework) [3]. Модели INMOM и CICE были реализованы на единой сеточной области в повернутой (относительно географической) системе координат с пространственным разрешением, равным ~ 3.2 - 3.5 км [4]. Модели были реализованы для акваторий Японского и Охотского морей, а также части Тихого океана, что позволило в явном виде описать водообмен Охотского моря с Японским море, а также водообмен Охотского моря с Тихим океаном через проливы Курильских островов. По глубине задавалось 25 σ-уровней. Для расчета атмосферного форсинга использовались поля реанализа метеорологических полей COSMO-ru с пространственным разрешением в 6 км над акваторией Охотского моря и 13 км над акваторией Японского моря и прилегающей части Тихого океана [5]. Атмосферный форсинг рассчитывался с использованием балк-формул [1]. Реализация совместной модели морской циркуляции и динамики и термодинамики морского льда, при которой осуществляется обмен гидродинамическими полями и ледовыми полями между моделями позволил в расчётах в явном виде учесть граничные условия на поверхности в обеих моделях с учетом обратных связей. Обмен между моделями осуществлялся с дискретностью в 1 час. Расчеты проводились за период с 1986 по 2015 гг.

По результатам расчетов было показано, что разработанная технология с использованием атмосферного форсинга высокого пространственного разрешения COSMO-RU и численных моделей INMOM и CICE, объединенных в единый расчетный комплекс, позволяет

воспроизводить гидрологические и ледовые характеристики с высокой точностью. Показана важность использования физически наиболее полных численных моделей. Например, показано, что при прохождении штормового нагона в период 20 - 25 сентября 1986 в порту Корсаков наблюдалось наложение максимального прилива на экстремальный нагон, что привело к значительно большему подъему уровню. Результаты моделирования показали высокое соответствие данным измерениям, что говорит о том, что модель INMOM корректно воспроизводит не только величину уровня моря, но также и фазу наступления максимальных или минимальных значений. Были проанализированы экстремальные синоптические ситуации и исследован отклик морской циркуляции при их прохождении. Исследована пространственная изменчивость течений, а также их вертикальная структура. Показана необходимость использования физически полной модели морской гидротермодинамики для более точного воспроизведения отклика в морской циркуляции.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант № 17-77-30001).

Список литературы

1) Дианский Н. А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия // Физматлит. Москва, 2013. 272 с.

2) Hunke, E.C. Lipscomb W.H. CICE: the Los Alamos sea ice model, documentation and software user's manual, Version 4.1: Tech. Rep. LA-CC-06-012. // Los Alamos, NM Los Alamos National Laboratory. 2010.

3) Ресурс с описанием фреймворка ESMF [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL: https://www.earthsystemcog.org/projects/esmf/ (10.01.2019).

4) Дианский Н.А., Фомин В.В., Чумаков М.М, Степанов Д.В. Ретроспективные расчеты циркуляции и ледяного покрова Охотского моря на основе современных технологий численного моделирования // Вести газовой науки № 4(24). 2017. С. 82-93.

5) Ривин Г.С., Никитин М.А., Розинкина И.А., Кислов А.В., Варенцов А.В., Платонов В.С., Чумаков М.М. Использование региональной системы прогноза погоды COSMO-ru для изучения гидрометеорологических условий на шельфе Охотского моря: детализированные поля метеорологических элементов за 1985–2015 гг. // Вести газовой науки № 32(4). 2017. С. 62–71.

ВОЛНЫ РОССБИ В АНТАРКТИЧЕСКОМ ЦИРКУМПОЛЯРНОМ ТЕЧЕНИИ

Фролова А.В.[1], **Кубряков А.А.**[2], **БелоненкоТ.В.**[1]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2] *Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

nastiafrolova@mail.ru

Ключевые слова: Антарктическое циркумполярное течение, АЦТ, нелинейная теория, альтиметрические измерения, мезомасштабные вихри, волны Россби, струйное течение.

Южный океан в целом и Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ) играют ключевую роль в передаче ветрового воздействия всей цепочке Глобального океанского конвейера. АЦТ - одно из самых мощных течений в Мировом океане. Тараканов [1] в своем исследовании отмечает, что на сегодняшний день не существует однозначных представлений о структуре АЦТ и его струях. В то же время правильное их описание имеет существенное значение для корректной оценки вихревого переноса в АЦТ, который является одним из трех составляющих баланса глобального океанического конвейера в Южном океане.

Белоненко и Фролова [2] на основе комплексного анализа альтиметрических измерений и данных моделирования показали, что АЦТ является волноводом волн Россби в океане. Здесь захватывается энергия волн Россби и преобразовывается их структура: волны блокируются мощным потоком и неизменное распространение их в западном направлении прекращается. В области АЦТ волны Россби и мезомасштабные вихри могут распространяться как на запад, так и на восток. В АЦТ фазовые скорости распространения волн в восточном направлении составляют 1-3 см/с. При этом важно указать, что эти скорости значительно меньше: на один-два порядка - типичных поверхностных скоростей течения в стрежне АЦТ. Указанное обстоятельство не позволяет использовать дисперсионные соотношения, рассматривающие взаимодействие волн с течением как простой доплеровский сдвиг, как это предлагал Hughes [3], так как огромная разница в скоростях волн и течений делает данную теорию вообще неприменимой к описанию рассматриваемых процессов. В своей работе Hughes [4] показал, что при взаимодействии волн Россби с сильным потоком доминируют нелинейные эффекты, и, следовательно, линейная теория вообще не применима.

В работе (Гневышев и др., [5]) предлагается новый подход для описания взаимодействия волн Россби со струйным течением. В рамках нелинейной теории показано, что нелинейность в длинноволновом приближении в точности компенсирует доплеровский сдвиг, что позволяет получить новое дисперсионное соотношение для волн Россби на струйном потоке. На примере взаимодействия волн Россби с АЦТ данная теория верифицируется при помощи спутниковых альтиметрических измерений. Для области, расположенной в зоне АЦТ, проводится сравнение эмпирических и теоретических фазовых скоростей волн, рассчитанных по нелинейному дисперсионному соотношению с использованием эквивалентного β-эффекта. Сравнение показывает, что полученное в рамках нелинейного подхода новое дисперсионное соотношение позволяет описать перемещение в восточном направлении мезомасштабных неоднородностей, в поле аномалий уровня, идентифицируемых, как волны Россби.

Для анализа выбран район, ограниченный 40°-60° ю.ш., 80°-120° в.д., расположенный в Индийском океане. Сравнение скоростей течения, рассчитанных по альтиметрическим данным, с фазовыми скоростями, рассчитанными по новой теории, показало, что оно позволяет описать распространение на восток волн Россби, захваченных течением АЦТ. Рас-

считанные по новому дисперсионному соотношению фазовые скорости волн Россби зависят от меридионального изменения сдвига зонального потока и в области АЦТ могут быть как отрицательными, так и положительными. Максимальные скорости, соответствующие перемещению волн на восток, составляют 3 см/с и характерны для стрежня АЦТ. В пространственном распределении фазовых скоростей присутствует тенденция к зональному распределению их величин, обусловленная зональным изменением радиуса деформации Россби и параметра β.

Работа выполнена в рамках грант РФФИ №17-05-00034.

Список литературы

1) Тараканов Р.Ю. Структура крупномасштабной циркуляции антарктических вод. Автореферат дисс. на соискание ученой степени доктора ф.-м. наук. Москва. ИО РАН. 2015. 42 с.

2) Белоненко Т.В., Фролова А.В. Антарктическое Циркумполярное течение как волновод для волн Россби и мезомасштабных вихрей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019 (принята в печать).

3) Hughes C. W. The Antarctic Circumpolar Current as a waveguide for Rossby waves // J. Phys. Oceanogr. 1995. V. 26 (7). P. 1375-1387.

4) Hughes C. W. Nonlinear vorticity balance of the Antarctic Circumpolar Current // J. Geophys. Res. 2005. 110, C11008, doi:10.1029/2004JC002753.

5) Гневышев В. Г., Фролова А. В., Кубряков А. А., Собко Ю. В., Белоненко Т.В. Взаимодействие волн Россби со струйным потоком: основные уравнения и их верификация для Антарктического циркумполярного течения. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. (В печати).

КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В АРАЛЬСКОМ МОРЕ

Химченко Е.Е.[1], **Серебряный А.Н.**[1,2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*АО "Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева", г. Москва*

ekhym@ocean.ru

Ключевые слова: внутренние волны, Аральское море, соленость, стратификация.

В настоящее время Аральское море представляет собой систему отдельных водоемов, часть из которых в процессе высыхания трансформировалась в гипергалинные [1]. Западная часть бассейна бывшего Аральского моря - Большой Арал - характеризуется резкой вертикальной стратификацией, что предполагает развитие бароклинных процессов, в том числе, внутренних волн. В стратифицированных водоемах внутренние волны наблюдаются повсеместно [2, 3].

В октябре-ноябре 2013 г. во время экспедиции Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН на Большое Аральское море здесь впервые были проведены целенаправленные измерения внутренних волн. Для этой цели использовались миниатюрные датчики температуры (термисторы) производства фирмы Star-Oddi (Исландия), которые устанавливались на заякоренных станциях. Запись велась непрерывно с дискретностью 30 секунд в течение 6 суток. В период измерений термоклин находился на глубине 20-21 м, при максимальной глубине моря 37 м. Всего было установлено четыре станции в районе свала глубин у западного и восточного склонов бассейна (по две станции на каждом склоне). В ходе измерений были зарегистрированы внутренние сейши [4]. В данной работе представлены результаты наблюдений короткопериодных внутренних волн на шельфе Большого Аральского моря.

Во время наблюдений были зарегистрированы короткопериодные внутренние волны с периодами 5-20 мин. В период после сильного ветра на одной из станций наблюдались периодически появляющиеся и исчезающие температурные инверсии. В работе представлен анализ записей термисторов, рассчитаны частотные спектры внутренних волн, а также приведен расчет дисперсионных соотношений внутренних волн для реальной стратификации Аральского моря. Короткопериодные внутренние волны в бассейне с повышенной соленостью имеют некоторые отличия от их аналогов в более пресных водоемах, что можно объяснить повышенной вязкостью аральской воды. Поэтому в данном исследовании также приводится сравнение наблюдаемых внутренних волн в Аральском и Черном морях.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2019-0011).

Список литературы

1) Izhitskiy A.S., P. O. Zavialov, P. V. Sapozhnikov, G. B. Kirillin, H. P. Grossart, O. Y. Kalinina, A. K. Zalota, I. V. Goncharenko, A. K. Kurbaniyazov. Present state of the Aral Sea: diverging physical and biological characteristics of the residual basins // Scientific Reports. V. 6. 2016. 23906.

2) Boegman, L., Imberger, J., Ivey, G. N., Antenucci, J. P. High-frequency internal waves in large stratified lakes //Limnology and Oceanography. V. 48 (2). 2003. P. 895-919.

3) Lorke A., Peeters F., Bäuerle E. High-frequency internal waves in the littoral zone of a large lake //Limnology and oceanography. V. 51 (4). 2006. P. 1935-1939.

4) Roget, E., Khimchenko, E., Forcat, F., Zavialov, P. The internal seiche field in the changing South Aral Sea (2006–2013) //Hydrology and Earth System Sciences. V. 21 (2). 2017. P. 1093-1105.

АКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЛАСТЕЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ РАЗГРУЗКИ МЕТАНА, НА ПРИМЕТЕ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ В М. ЛАПТЕВЫХ

Черных Д.В.[1,2], **Космач Д.А.**[1,2], **Шахова Н.Е.**[2], **Саломатин А.С.**[1], **Куриленко А.В.**[1], **Семилетов И.П.**[1,2]

[1] *Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток*

[2] *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

denis.chernykh.vl@gmail.com

Ключевые слова: Пузырьковый транспорт метана, акустика, методы оценки потока метана, всплывающие пузырьки, Восточно-Сибирский шельф, море Лаптевых.

Газовые факелы, связанные с эманацией из донных отложений всплывающих пузырьков, зарегистрированы во многих районах Мирового океана [1-3].Наибольший интерес представляют мелководные газовые факелы, достигающие поверхности океана, значительная часть которых сосредоточена на арктическом шельфе [3-6]. Прямые измерения показали, что в большинстве случаев выходящие из морского дна пузырьки состоят из второго по значимости парникового газа - метана [3].

Предполагается, что формирование атмосферного максимума метана над Арктикой может быть связано с разгрузкой гигантских запасов гидратов, которые дестабилизируются вследствие деградации подводной мерзлоты [4]. Наиболее важную роль в этом процессе играет самый широкий и мелководный шельф Мирового океана - Восточно-Сибирский, на территории которого сосредоточена значительная доля арктических мелководных гидратов и более 80% всей подводной мерзлоты [4], состояние которой определяет масштабы выбросов пузырькового метана из донных осадков в водную толщу и атмосферу [3-6]. Более того, на экспериментальном и модельном уровне доказано, что скорости деградации подводной мерзлоты в морях Восточной Арктики многократно превосходят принятые IPCC в 2014 оценки [5]. Поэтому, прогрессирующая деградация подводной мерзлоты морей Восточной Арктики может привести к массированному выбросу гидратного метана в атмосферу, что может привести к труднопредсказуемым последствиям [3].

Пузырьковый транспорт - наиболее эффективный механизм транспортировка газообразного метана из донных отложений через водный столб в атмосферу, так как позволяет избежать окисления в зоне сульфат-редукции [2-6]. Метан является эффективным парниковым газом, вклад которого в глобальное потепление неуклонно растет. Поэтому актуальным является развитие методов, позволяющих дистанционно и оперативно проводить количественную оценку пузырькового потока метана на обширных участках акватории Мирового океана [2,3,6].

Акустические методы, основанные на генерации акустического импульса и приеме рассеянного акустического сигнала, являются эффективными для наблюдения за всплывающими пузырьками и получения оценок количества метана, доставляемого ими в воду [2,3,6]. Данные методы позволяют обнаружить всплывающие пузырьки диаметром менее 5 миллиметров на глубинах более 1 километра, оценить их размеры и скорости всплытия [2,3,6].

В данной работе представлены результаты акустических исследований газовых факелов, выполненных на полигоне в северной части моря Лаптевых в период с 2011 по 2016 гг. Дана оценка количества газовых факелов на выбранном полигоне, проанализировано их распределение по глубине и определен поток метана в водную толщу за данный период времени.

Работа выполнена в рамках проектов Российского Научного Фонда, РНФ (№18-77-10004 ДЧ, ДК и №15-17-20032 НШ).

Список литературы

1) Judd A.G. The global importance and context of methane escape from the seabed / A. G. Judd // GEO-MARINE Lett. – 2003. – Т. 23 – № 3–4 – 147–154с.

2) Salomatin A.S. Acoustic Investigations of Gas "Flares" in the Sea of Okhotsk / A. S. Salomatin, V. I. Yusupov // OCEANOLOGY – 2011. – Т. 51 – № 5 – 857–865с.

3) Shakhova N. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice / N. Shakhova, I. Semiletov, V. Sergienko, L. Lobkovsky, V. Yusupov, A. Salyuk, A. Salomatin, D. Chernykh, D. Kosmach, G. Panteleev, D. Nicolsky, V. Samarkin, S. Joye, A. Charkin, O. Dudarev, A. Meluzov, O. Gustafsson // Philos. Trans. R. Soc. A-MATHEMATICAL Phys. Eng. Sci. – 2015. – Т. 373 – № 2052.

4) Shakhova N. Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf / N. Shakhova, I. Semiletov, O. Gustafsson, V. Sergienko, L. Lobkovsky, O. Dudarev, V. Tumskoy, M. Grigoriev, A. Mazurov, A. Salyuk, R. Ananiev, A. Koshurnikov, D. Kosmach, A. Charkin, N. Dmitrevsky, V. Karnaukh, A. Gunar, A. Meluzov, D. Chernykh // Nat. Commun. – 2017. – Т. 8.

5) Shakhova N. Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf / N. Shakhova, I. Semiletov, I. Leifer, V. Sergienko, A. Salyuk, D. Kosmach, D. Chernykh, C. Stubbs, D. Nicolsky, V. Tumskoy, O. Gustafsson // Nat. Geosci. – 2014. – Т. 7 – № 1 – 64–70 с.

6) Chernykh V D. NEW ACOUSTICAL TECHNIQUE TO QUANTIFY METHANE EBULLITION IN SEDIMENT WATER COLUMN: A CASE STUDY IN THE LAPTEV SEA, THE ARCTIC OCEAN / D. Chernykh V, V. Yusupov I, A. S. Salomatin, D. A. Kosmach, A. Konstantinov V, V. Silionov I, A. K. Mazurov, A. N. Salyuk, N. E. Shakhova, O. Gustafsson, A. A. Kolyubakin, E. Gershelis V, L. Lobkovsky I, I. P. Semiletov // Bull. Tomsk Polytech. Univ. ASSETS Eng. – 2018. – Т. 329 – № 11 – 153–167 с.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В КОНЦЕ XX - НАЧАЛЕ XXI ВЕКОВ

Шапкин Б.С., Рубченя А.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

shap99boris@gmail.com

Ключевые слова: ледяной покров, Северный Ледовитый океан.

Как известно, в конце XX - начале XXI веков происходили довольно значительные изменения климата, которые охватили как атмосферу, так и океан, особенно морские льды, являющиеся важной составной частью климатической системы. Наиболее значительные изменения климата обнаруживаются в приатлантической Арктике - Северо-Европейском бассейне Северного Ледовитого океана [1].

К настоящему времени всесторонне исследованы основные причины формирования ледовитости арктических морей - тепловые и динамические процессы в ледяном покрове. От интенсивности первых зависит, с одной стороны, объем льда, образовавшегося зимой, а с другой - количество расстаявшего льда летом. Как образование льда, так и его таяние определяются радиационными потоками и процессами взаимодействия ледяного покрова с контактирующими с ним средами - атмосферой и океаном. От направления и интенсивности динамических процессов зависит ледообмен с соседними бассейнами, ведущий к увеличению, либо сокращению количества льдов в море, а также разрежение, сплочение и торошение ледяного покрова, в результате чего изменяется распределение объема льда, приходящегося на единицу площади [1].

В данной работе были проанализированы особенности изменчивости площади ледяного покрова в Северном Ледовитом океане в период с 1979 по 2018 год с использованием материалов из базы данных Национального центра информации по снегу и льду США (NSIDC) [2]. NSIDC формирует базу данных о характеристиках ледового покрова в Арктике и Антарктике и регулярно публикует оценки ситуации в полярных регионах. Для вычисления и анализа площадей ледяного покрова, использовался пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений - MATLAB R2018b.

При выполнении работы было выделено два сезона, по которым проводился анализ изменчивости ледяного покрова: зимний сезон, включающий в себя месяцы с октября по март, и летний, который включал месяцы с апреля по сентябрь, также анализ выполнялся отдельно за каждый месяц с 1979 по 2018 год. Значения площадей каждого сезона рассчитывались двумя способами: суммированием всех значений для каждого месяца конкретного сезона и осреднением данных за все месяцы в сезоне. Необходимо отметить, что отсутствуют данные за август, декабрь 1987 года и за январь 1988 года. Минимальные значения площади ледового покрова наблюдаются в августе-сентябре, а максимальные - в феврале-марте. В ходе работы была проанализирована изменчивость ледовитости по сезонам, выделенным на основе суммирования, во всех случаях тренды оказались отрицательными. Сокращение площади ледяного покрова в летний сезон особенно заметно в августе, среднее отклонение в этом месяце было наибольшим и составило 0.68 млн. км^2, в то время как в летний сезон, который был выделен осреднением данных внутри месяцев, оно составляет 0.48 млн. км^2. В этом же случае наименее выражены изменения в апреле, в данном месяце среднее отклонение составило 0.34 млн. км^2. А зимнем сезоне, среднее отклонение составило 0.45 млн. км^2, сокращение площади ледяного покрова в данном сезоне наиболее заметно в октябре, среднее отклонение в этом месяце составило 0.88 млн. км^2, наименее выражены изменения в марте, мартовское средние отклонение составило 0.39 млн. км^2.

Среднемноголетние значения площади, занимаемой морскими льдами в Северном Ледовитом океане минимальны в августе-сентябре и максимальны в феврале-марте. Многолетние изменения площади характеризуются отрицательными линейными трендами во все месяцы. А межгодовая изменчивость максимальна в летние месяцы с июля по сентябрь и минимальна в зимне месяцы.

Список литературы

1) Гудкович З. М. и др. Взаимосвязь современных климатических изменений в атмосфере, океане и ледяном покрове //Тр. ААНИИ. – 1997. – Т. 437. – С. 7-17.
2) Fetterer, F., K. Knowles, W. N. Meier, M. Savoie, and A. K. Windnagel. Sea Ice Index, Version 3. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. doi: https://doi.org/10.7265/N5K072F8. [22.01.2019]

АЛГОРИТМ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ ДВУХЧАСТОТНОГО ДОЖДЕВОГО РАДИОЛОКАТОРА И РАДИОМЕТРА НА ПРИМЕРЕ ОХОТСКОГО МОРЯ

Шиков А.П.[1], **Панфилова М.А.**[2], **Понур К.А.**[1], **Виноградов И.Д.**[1], **Рябкова М.С.**[2], **Караев В.Ю.**[2]

[1]*ННГУ им. Лобачевского, г. Нижний Новгород,*

[2]*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород*

aps98@mail.ru

Ключевые слова: сечение обратного рассеяния, космический дождевой радиолокатор, ледяной покров, детектирование льда.

Современные орбитальные радиолокаторы активно используются для оперативного мониторинга поверхности Земли. Одной из задач дистанционного зондирования является мониторинг образования и разрушения ледяного покрова на морской поверхности. Эта информация необходима для обеспечения безопасности судоходства, используется при составлении метеорологических прогнозов и анализе климатических изменений. К настоящему времени разработан ряд методов для построения карт ледяного покрова по данным радиометров, скаттерометров, по РСА-изображениям и оптическим снимкам.

В настоящей работе предлагается алгоритм картографирования ледяного покрова по данным двухчастотного дождевого радиолокатора космического базирования. Этот прибор работает при малых углах падения, в широкой полосе обзора, и обладает достаточно хорошим разрешением.

Двухчастотный дождевой радиолокатор установлен на спутнике Global Precipitation Measurement (GPM). Измерения выполняются в Ku-диапазоне (длина волны 2.2 см) при углах зондирования +/- 17 градусов и в Ka-диапазоне (длина волны 0.8 см) при углах зондирования +/- 9.5 градусов. При высоте орбиты около 400 км ширина полосы обзора составляет примерно 245 км, а размер пятна засветки (пространственное разрешение) - порядка 5 км. В северных регионах повторяемость наблюдения одной и той же территории составляет примерно 1-2 дня. Наличие облачности не влияет на сечение обратного рассеяния, а данные при наличии осадков исключаются из рассмотрения. В работах [1, 2] было показано, что зависимости сечения обратного рассеяния от угла падения для водной поверхности и ледяного покрова имеют качественные различия. При обработке на первом этапе алгоритма анализируется вид зависимости сечения обратного рассеяния от угла падения, и определяется тип подстилающей поверхности: вода или лед (в направлении перпендикулярном направлению движения). Точное определение границы между водой и льдом выполняется для каждого угла падения, что соответствует направлению вдоль полосы обзора. Для локализации положения «скачка» сечения обратного рассеяния используется методика, применяемая для обработки изображений [3], и адаптированная для одномерной задачи. При углах зондирования близких к нулевому, величина «скачка» сечения обратного рассеяния сопоставима с уровнем шумов, поэтому положение границы вода-лед в данной области интерполируется. В результате каждому элементу разрешения в полосе обзора присваивается статус: вода или лед.

На данном этапе проводился анализ отдельных треков спутника, проходивших над Охотским морем в декабре 2016 года. Проводилась разметка каждого трека согласно алгоритму, описанному выше, всего было размечено порядка 120 треков. Для валидации алгоритма использовались данные радиометра, установленного на том же спутнике, а также

оптические изображения. Качественное сравнение границ ледяного покрова, полученных по данным дождевого радиолокатора и полученных по измерениям радиометра, а также по оптическим изображениям, подтвердило эффективность нового алгоритма.

В дальнейшем планируется провести накопление данных радиолокатора за несколько суток для построения карт ледяного покрова, а также получить количественные оценки качества алгоритма.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 17-05-00939-а).

Список литературы

1) Frank D. Carsey. Microwave remote sensing of sea ice / Frank D. Carsey – American Geophysical Union, 1992.

2) Караев В. Ю. Использование данных двухчастотного дождевого радиолокатора для мониторинга формирования и разрушения ледяного покрова на озере Байкал в осенне-зимний период 2015/2016 г. / В.Ю. Караев, М.А. Панфилова, Е.М. Мешков, Г.Н. Баландина, З.В. Андреева, А.А. Максимов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 206–220.

3) J. Canny. A computational approach to edge detection / J. Canny. // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. PAMI-8, November 1986.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ СЕЗОННОГО И ОСНОВНОГО ПИКНОКЛИНА НА ШЕЛЬФЕ КРЫМСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Шукало Д.М., Шульга Т.Я.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

mitya.googlovich@gmail.com

Ключевые слова: Черное море, шельф Крымского побережья, частота плавучести, глубина залегания пикноклина.

Плотность морской воды является одним из важнейших гидрологических параметров, влияющих на устойчивость и состояние морской среды. От ее пространственного распределения зависит интенсивность циркуляции и вертикальный обмен, которые имеют прямое влияние на распределение неорганических и органических взвесей в водной толще.

Данная работа посвящена исследованию глубины залегания сезонного и основного пикноклина на шельфе Крымского побережья. Для выполнения этой задачи использован массив океанографических данных Морского гидрофизического института, а также спутниковых измерений и данных глубоководных буев профилометров об усредненных величинах солености и температуры для Черноморского региона с 1951 по 2008 гг. Детальное описание базы ФГБУН МГИ по Черному морю приведено в работе [1]. Стоит отметить, что работы по нахождению глубины залегания пикноклина на шельфе Крымского побережья до этого времени проведено не было.

Для определения глубины залегания сезонного и основного пикноклина были обработаны файлы океанографической базы ФГБУН МГИ, содержащие сведения о солености и температуре, характеризующие весенне-летний период (май, июнь, июль, август) для 18 профилей, расположенных на шельфе Крымского побережья. Направленные по нормали к береговой линии профили находятся в районе Каламитского залива (1–10) и вдоль материковой отмели между Севастополем и Ялтой (11–18) [2].

Данные в файлах сгруппированы по отдельным вертикальным разрезам, равномерно разнесенным на каждом профиле, привязанным к значениям географических координат. Таким образом, данные измерений состоят из 5–10 групп значений, отвечающих вертикальным разрезам, размещенным на профиле, с диапазоном глубины от 10 до 1500 метров (в зависимости от рельефа морского дна). Для каждой группы вычислены вертикальные профили значений частоты Брента-Вяйсяля через градиент плотности:

$$N^2(z) = -\frac{g}{\rho}\frac{d\rho}{dz},$$

где z – глубина; ρ – плотность морской воды; g – ускорение свободного падения.

Анализ полученных значений частоты плавучести для каждого профиля позволил выявить два последовательных экстремума функции $N(z)$, соответствующих глубине залегания сезонного и основного пикноклина. Для нахождения этих экстремумов использован программный код, реализованный на языке *Python*. Программный код вычислял точки перегиба функции с последующим анализом полученных результатов.

Таким образом установлено, что сезонный пикноклин залегает на глубине 20 метров, а мода глубины основного пикноклина составляет 106 метров. Стоит отметить, что величина среднеквадратичного отклонения глубины залегания основного пикноклина колеблется более, чем на 10%. Средняя глубина залегания основного пикноклина на профилях 1–10

составляет 115 метров, а на профилях 11–18 составляет 89 метров. Это обусловлено узким шельфом побережья между Ялтой и Севастополем (профили 11–18), расположенного около зоны с сильной антициклонической завихренностью течений.

Работа выполнена в рамках научного проекта №18-45-920036 «Характеристики внутренних волн в районе Гераклейского полуострова: проявление, моделирование, влияние на экосистему», получившего поддержку от РФФИ и г. Севастополя.

Список литературы

1) Воронцов А.А., Годин Е.А., Ингеров А.В., Исаева Е.А., Халиулин А.Х. Анализ современного состояния баз данных ФГБУН МГИ и ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» по Черному морю и перспективы их дальнейшего развития // «Современные информационные технологии в гидрометеорологии и смежных с ней областях». 2017. С. 136

2) Ivanov V.A., Shul'ga T.Ya., Bagaev A.V., Plastun T.V., Medvedeva A.V., Verzhevskaya L.V., Svisheva I.A. Internal Waves Over The Continental Shelve Of The Heracles Peninsula: Modeling And Observation // Proceedings 4-d International Scientific School of Young Scientists "Physical and Mathematical Modeling of Processes in Geomedia" November, 2018, Moscow. – Moscow: IPMech RAS, 2018. – P. 88 – 90.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО ТЕЧЕНИЯ ПО МНОГОКАНАЛЬНЫМ ОПТИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ СО СПУТНИКА SENTINEL-2

Юровская М.В.[1,2], **Кудрявцев В.Н.**[1,2]

[1]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь,*

[2]*Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург*

mvkosnik@gmail.com

Ключевые слова: течения, поверхностные волны, дисперсионное соотношение волн, оптические спутниковые снимки, Sentinel-2.

Оптические датчики на спутниках Sentinel-2A и Sentinel-2B обеспечивают съемку в 13 спектральных каналах (от 443 до 2190 нм) с разрешением от 10 до 60 м в полосе шириной 290 км. Благодаря особой конструкции датчиков, а именно, их относительному смещению, съемка одной и той же точки в разных каналах осуществляется со сдвигом во времени до нескольких секунд. Так, например, максимальный временной сдвиг в каналах с разрешением 10 м составляет 1 с, что позволяет не только наблюдать волны на поверхности океана, но и исследовать их пространственно-временные характеристики.

В данной работе предлагается подход к восстановлению вектора скорости течения по изменению дисперсионных характеристик поверхностных волн, для оценки которых используется анализ фазового спектра яркости двух каналов. Разрез фазового спектра дает дисперсионное соотношение волн, а величина его отклонения от теоретически предсказанной кривой для волн в отсутствии течения является оценкой скорости течения в выбранном направлении. В двумерном случае полный вектор скорости течения восстанавливается с помощью метода наименьших квадратов, примененного ко всем точкам фазового спектра, где значения когерентности превышают некоторый пороговый уровень.

Подход применен к ряду снимков Sentinel-2 в разных районах океана (течение мыса Игольного, Гольфстрим, Мексиканский залив, Сомалийское течение). Все восстановленные поля течений находятся в хорошем соответствии с данными альтиметрии. Корректность восстановления полей течений также подтверждается выполнением теоретических соотношений, следующих из кинематических уравнений для волновых лучей в приближении геометрической оптики.

Сопутствующей возможностью использования временного сдвига между снимками Sentinel-2 является оценка скорости движущихся объектов, в частности, крупных обрушений волн, проявляющихся на изображениях в виде ярких областей.

Проведен анализ ошибок оценки скорости течений и движущихся объектов. Установлено, что для данных Sentinel-2 с разрешением 10 м необходима подпиксельная (до 0.03 пикселя) точность совмещения снимков, что выполняется в большинстве рассмотренных случаев.

Результаты работы демонстрируют перспективные возможности спутниковой мультиспектральной съемки для оценки поверхностных океанических течений на масштабах от 1 до 100 километров и могут послужить существенному развитию методов исследования течений из космоса.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ №17-77-30019 и государственного задания №0827-2018-0003.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МОРСКИХ ТЕЧЕНИЙ ДОПЛЕРОВСКИМ СКАТТЕРОМЕТРОМ: ВАЛИДАЦИЯ В НАТУРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Юровский Ю.Ю., Кудрявцев В.Н.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

yyyurovsky@gmail.com

Ключевые слова: поверхностное течение, эффект доплера, радиолокация, натурные измерения, спутниковый скаттерометр.

В число актуальных задач спутниковой океанографии входит одновременное измерение скорости поверхностного течения и ветра с высоким пространственным разрешением (5-10 км) с периодичностью не более 1 сут [1]. Решение этой задачи позволит улучшить представления о потоках через границу океан-атмосфера, разделить геострофические и агеострофические составляющие течений, в деталях исследовать динамику субмезомасштабных вихрей и их влияние на крупномасштабную циркуляцию. Методы классической спутниковой альтиметрии не позволяют получать высокое пространственное и временное разрешение и дают оценку лишь геострофической составляющей скорости течений. Поэтому для решения задачи планируется использовать спутниковые доплеровские скаттерометры [2].

Стандартный спутниковый скаттерометр представляет собой радиолокатор орбитального базирования, позволяющий измерять радиолокационное сечение рассеяния (шероховатость) подстилающей поверхности, по которому оценивается скорость приводного ветра. Использование доплеровского канала измерений позволяет производить прямые измерения скорости поверхности вместе с ветром с достаточно высоким пространственным и временным разрешением [3]. Принципиальная методологическая сложность, возникающая при обработке доплеровских измерений такого рода, состоит в выделении скорости поверхностного течения из суммарной скорости движения морской поверхности, включающей в себя скорость орбитальных движений поверхностных волн. Поскольку масштабы таких волн как правило меньше размеров пятна облучения скаттерометра локальные орбитальные скорости усредняются с весом, пропорциональным локальному сечению рассеяния элементов морской поверхности. В данной работе рассматривается вопрос оценки скорости течения по скаттерометрическим наблюдениям с учётом этого эффекта.

Для анализа используются данные натурных радиолокационных наблюдений, полученных со стационарной океанографической платформы МГИ РАН с помощью двухполяризационного скаттерометра непрерывного излучения. Скорости поверхностного течения восстанавливаются по радиолокационным данным с использованием эмпирической модуляционной передаточной функции (МПФ), связывающей уклоны морской поверхности и нормированные вариации удельной эффективной площади рассеяния. Полученные скорости течений сравниваются с независимо измеренными течениями на глубине 10 м (погруженный пропеллерный датчик) и на поверхности (дистанционное измерение по видеозаписям). Измерения течений на глубине 10 м приводятся к измерениям на поверхности с учётом ветрового дрейфа. Наибольший вклад волновой составляющей наблюдается при углах падения 20-30 градусов и более 65 градусов. При углах падения около 45-50 градусов наблюдается минимум волновой составляющей, который слабо зависит от скорости ветра. Обнаруженный эффект определяется балансом модуля МПФ (уменьшается с ростом ветра) и амплитудой вариаций орбитальных движений (увеличивается с ростом ветра). Таким образом, с точки зрения учёта волновой составляющей, диапазон углов падения 45-50 градусов в большей степени пригоден для скаттерометрических измерений скорости течений.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда 17-77-10052 "Развитие методов диагностики взволнованной морской поверхности на основе анализа доплеровского смещения частоты радиолокационного сигнала"

Список литературы

1) Chelton D.B., M.G. Schlax, R.M. Samelson, J.T. Farrar, M.J. Molemaker, J.C. McWilliams, J. Gula Prospects for Future Satellite Estimation of Small-Scale Variability of Ocean Surface Velocity and Vorticity // Progress in Oceanography. 2018. article in press. doi:10.1016/j.pocean.2018.10.012.

2) 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.

3) Rodriguez E. On the Optimal Design of Doppler Scatterometers // Remote Sensing. 2018. V.10. Iss. 11. 1765. doi:10.3390/rs10111765.

СВЯЗЬ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ МОРЯ ЛАБРАДОР И ИНДЕКСА СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ (САК)

Яковлева Д.А.[1], **Башмачников И.Л.**[1,2]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2] *Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Санкт-Петербург*

dianayak47@mail.ru

Ключевые слова: море Лабрадор, теплосодержание, потоки тепла, Северо-Атлантическое колебание.

Море Лабрадор является одним из районов глубоководной зимней конвекции и образования глубинных водных масс Северной Атлантики. Интенсивность конвекции связана с межгодовой изменчивостью теплосодержания верхнего слоя моря. Последнее, в свою очередь, зависит от радиационного баланса поверхности моря, интенсивности теплообмена с атмосферой и интенсивности океанической адвекции тепла в море. Данные моделирования [1] позволяют предположить, что изменчивость теплосодержания моря Лабрадор, прежде всего, определяется фазой Северо-Атлантического колебания (САК).

В данной работе на основе натурных данных исследуются основные механизмы связи межгодовой изменчивости теплосодержания в море Лабрадор с индексом САК, с изменчивостью интенсивности потоков тепла на границе океан-атмосфера и с изменчивостью адвективных океанических потоков тепла. Мы исходим из того, что при отрицательных значениях индекса САК над морем чаще проходят циклоны умеренных широт, что должно сказываться на увеличении скорости ветра и увеличении температуры воздуха. При положительных значениях индекса САК море чаще находится под воздействием затоков холодного полярного воздуха из Арктики. Также при увеличении индекса САК можно ожидать общего усиления океанической циркуляции.

Для расчета теплосодержания и адвективного океанического потока тепла в море Лабрадор используется массив комбинированных in-situ и спутниковых наблюдений ARMOR-3D (1993-2016 гг.) [2]. Потоки тепла на границе океан-атмосфера, температура воздуха и скорость ветра были получены из реанализа ERA-Interim [3]. Ежемесячные значения САК были загружены с сайтов NOAA [4, 5].

Проведенный анализ данных наблюдений показывает общее увеличение теплосодержания в море Лабрадор в верхнем 500-метровом слое за период 1993-2016 гг. при наибольших значениях в 2002-2011 гг. Выделенные тенденции находятся в противофазе с общим ходом интенсивности вертикальных потоков тепла на границе океан-атмосфера. Адвективные потоки океанического тепла на западной границе моря достаточно стабильны до 2004-2006 гг., после чего наблюдается тенденция к их уменьшению. Среднее значение горизонтального потока тепла через восточную границу района исследований (меридиан 44° з.д.) составили 1.03×10^{14} Вт, что в два раза выше суммы явного и скрытого потоков тепла в атмосферу (0.26×10^{14} Вт и 0.32×10^{14} Вт, соответственно). При этом среднеквадратическое отклонение горизонтального и вертикального потоков тепла сравнимы между собой. Таким образом, оба потока могут быть значимы в наблюдаемой изменчивости теплосодержания моря Лабрадор.

Результаты показали, что межгодовая изменчивость теплосодержания слабо зависит от скрытого потока тепла (коэффициент корреляции не более -0.1), но хорошо коррелирует с изменчивостью явного потока тепла (коэффициент корреляции не более -0.6), при

уровне значимости 0.4. Согласно формулам расчета явного потока тепла, его интенсивность определяется, разностью температур и скоростью ветра. Корреляция среднегодовых значений явного потока тепла и разницы температур воздуха и воды значимы и составляют 0.7; корреляция явного потока тепла и скорости ветра 0.5. Следовательно мы можем ожидать, что межгодовая изменчивость вертикальных потоков тепла, связана, прежде всего, с разностью температур воды и воздуха. Явный и суммарный потоки тепла на границе океан-атмосфера имеют высокую значимую корреляцию с САК (порядка 0.7), тогда как для скрытого потока тепла корреляция всего 0.4. Таким образом, можно предположить, что в годы отрицательного САК происходит накопление тепла в море Лабрадор в связи с уменьшением теплопотерь в атмосферу, что является следствием более высокой температуры приносимых с юга воздушных масс.

В отдельные годы наибольшие значения теплосодержания соответствуют увеличению интенсивности океанической адвекции тепла в море Лабрадор. С 1993 г. отмечается общее уменьшение интенсивности Лабрадорского и Западно-Гренландского течений [6], что и приводит к наблюдаемому уменьшению океанической адвекции тепла. При этом данные моделирования [1] показывают увеличение потока тепла через Срединно-Атлантический хребет в западном направлении и конвергенцию океанического тепла в море Лабрадор в периоды отрицательного САК, с временным лагом 2-3 года. Это согласуется с полученным нами коэффициентом корреляции 0.44 между горизонтальной адвекцией тепла и САК с лагом в 3 года.

Кросс-вейвлет анализ показал, что явный поток тепла и САК имеют высокую когерентность на 2-4-летних циклах после 2007 г. и на 7-8-летних циклах с запаздыванием экстремумов потока тепла на 1/8 периода. Скрытый поток тепла имеет высокую когерентность с САК на 2-4-летних циклах после 2005 г. Океанический поток тепла показал высокую значимую когерентность с САК на 6-8 годах и 3-4 годах после 2000 г. с запаздыванием относительно САК на четверть периода. Таким образом, изменение океанического потока тепла, связанное с САК, отстает на 1/8 периода от соответствующих изменений теплообмена океана и атмосферы.

На базе натурных данных нами показано, что теплосодержание моря Лабрадор в значительной степени регулируется САК, как через турбулентный теплообмен на границе океан-атмосфера, так и через изменчивость интенсивности океанической адвекции (с некоторым запаздыванием во времени). Выделены основные цикличности, на которых проявляются указанные связи параметров.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 17-17-01151.

Список литературы

1) Barrier N. et al. Heat budget in the North Atlantic subpolar gyre: Impacts of atmospheric weather regimes on the 1995 warming event //Progress in Oceanography. – 2015. – Т. 130. – С. 75-90.

2) http://marine.copernicus.eu/

3) https://www.ecmwf.int/

4) http://www.cpc.ncep.noaa.gov/

5) https://www.esrl.noaa.gov/

6) Белоненко Т. В. и др. Тренды интенсивности течений в Лабрадорском море и море Ирмингера по спутниковым альтиметрическим данным //Исследование Земли из космоса. – 2018. – №. 2. – С. 3-12.

ГРЕБНЕВИКИ BEROE В АРКТИКЕ. НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВИДАХ И ИХ БИОГЕОГРАФИИ

Абызова Г.А.

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

abyzova.ga@ocean.ru

Ключевые слова: Beroe, гребневики, Арктика.

Гребневики рода *Beroe Browne*, 1756 (*Ctenophora)* широко распространены по всему миру и представлены 25 описанными видами, однако, генетическое разнообразие видов слабо изучено. На основании последних генетических данных были выделены потенциальные новые виды, в том числе, для Арктики. Для изучения видового разнообразия проводилось секвенирование фрагментов ДНК и использовался внутренний транскрибируемый спейсер (ITS1). Предыдущие исследования показали, что участок гена 18S не отражает имеющихся отличий между видами Beroe, а данных по сиквенсам фрагмента митохондриальной ДНК CO1 мало из-за сложностей проведения амплификации. Классический метод определения основывается на морфологических характеристиках особей, но из-за прозрачности тела и высокой подвижности живых особей их сложно сфотографировать и точно установить различия. Сложности определения приводят к возможному существованию неописанных или ошибочно определенных видов. В таком случае, генетическое определение дает наиболее точное определение даже для видов-близнецов и помогает уточнить географию видов. Мы проанализировали пробы, собранные в Баренцевом, Карском море и море Лаптевых, а там же добавили данные о *Beroe* из фьордов Шпицбергена, Северного и Средиземного моря. Было проведено сравнение фрагментов ДНК, используя ITS1 сиквенсы, для установления филогенетических связей между видами Beroe. В данной работе была проведена ревизия арктических видов и обнаружено распространение трех видов *Beroe gracilis* Künne 1939, *Beroe cucumis* Fabricius, 1780 инового *Beroe "norvegica".* Нами описаны новые особенности распространении *Beroe cucumis* в других акваториях. Гребневики на сегодняшний день активно расселяются вместе с изменяющимся климатом и благодаря антропогенному воздействию. Они являются активными видами-вселенцами и серьезно угрожают балансу в пелагических экосистемах. Необходимо больше изучать эту широко распространённую и экологически важную группу для решения потенциальных проблем расселения желетелых.

Список литературы

1) White, T. J., Bruns, T., Lee, S. J. W. T., & Taylor, J. L. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. PCR protocols: a guide to methods and applications, 18(1), 315-322.
2) Johansson, M. L., Shiganova, T. A., Ringvold, H., Stupnikova, A. N., Heath, D. D., & MacIsaac, H. J. (2018). Molecular Insights into the Ctenophore Genus Beroe in Europe: New Species, Spreading Invaders. Journal of Heredity, 1, 10.

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИДИЙ, MYTILUS GALLOPROVINCIALLIS LAM., В УСЛОВИЯХ ГИПОКСИИ

Андреева А.Ю., Ефремова Е.С., Кухарева Т.А.

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

andreevaal@gmail.com

Ключевые слова: гипоксия, гемоциты, двустворчатые моллюски, клеточный иммунитет.

В настоящее время антропогенная гипоксия является одной из основных проблем, негативно влияющих на прибрежные морские экосистемы [1]. В связи с этим исследования влияния дефицита кислорода на культивируемые виды морских беспозвоночных приобретают значительную актуальность. Наряду с другими прибрежными моллюсками черноморские мидии часто обитают в регионах с пониженными содержанием растворенного кислорода. Гипоксия вызывает целый комплекс нарушений в организме двустворчатых моллюсков. Показано, что недостаток кислорода негативно воздействует на темпы роста, выживаемость и метаморфоз личиночных и ювенильных стадий двустворок [2]. На клеточном уровне гипоксия может индуцировать автоокисление дыхательных пигментов, угнетает обмен веществ, а также снижает иммунные функции гемоцитов в гемолимфе [3, 4]. В настоящей работе в ходе экспериментов in vivo исследовано влияние гипоксии на пролиферативную активность, смертность и спонтанную продукцию активных форм кислорода гемоцитов черноморской мидии, *Mytilus galloprovincialis*.

Взрослых мидий (*Mytilus galloprovincialis* Lmk.) (длина раковины 57.8±1.8 мм, 12.9±2.3 г, n=40) помещали в емкость с морской водой, продуваемой газообразным азотом до концентрации кислорода 0.3 мг/л. Спустя 24 часа инкубации проводили отбор гемолимфы стерильным шприцем из задней мышцы-замыкателя. Гемоциты отмывали в стерильной морской воде путем центрифугирования (500 g в течение 5 мин). Готовую суспензию гемоцитов разводили стерильной морской водой (1-2•10^6 гемоцитов на мл) и окрашивали ДНК-красителем SYBR Green I (финальная концентрация в пробе 10 мкМ, 30 мин в темноте). Содержание ДНК в гемоцитах мидий анализировали на основании гистограмм распределения флуоресценции красителя. Доля мертвых клеток определялась по флуоресценции красителя Propidium iodide спустя 30 мин инкубации клеток в темноте. Спонтанная продукция клетками активных форм кислорода оценивалась по флуоресценции красителя DCF-DA. Анализ данных проводили в компьютерной программе Flowing Software 5.2.

Клеточный состав гемолимфы мидий, находившихся в условиях гипоксии претерпел ряд существенных изменений. Мы наблюдали достоверное снижение доли агранулоцитов (54.7±8.3 % у контрольной группы и 32.3±1.2 % после воздействия дефицита кислорода). Доля гранулоцитов, напротив, возросла и составила 56.2±1.0 %. Достоверных изменений в доле мертвых и делящихся клеток не выявлено. Функциональные свойства гемоцитов мидий, подвергшихся воздействию дефицита кислорода, претерпели двоякие изменения. Способность агранулоцитов генерировать активные формы кислорода достоверна возросла в 2 раза в сравнении с контролем, в то время как у гранулоцитов наблюдалось существенное снижение флуоресценции DCF-DA.

Список литературы

1) Stramma, L., Schmidtko, S., Levin, L. A., Johnson, G. C. Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts. // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 57(4). 2010. P. 587-595.

2) Jansson, A., Norkko, J., Dupont, S., Norkko, A. Growth and survival in a changing environment: Combined effects of moderate hypoxia and low pH on juvenile bivalve Macoma balthica. // Journal of Sea Research. 102. 2015. P. 41-47.

3) Le Moullac, G., Quéau, I., Le Souchu, P., Pouvreau, S., Moal, J., René Le Coz, J., François Samain, J. Metabolic adjustments in the oyster Crassostrea gigas according to oxygen level and temperature. // Marine Biology Research. 3(5). 2007. P. 357-366.

4) Wang, Y., Hu, M., Cheung, S. G., Shin, P. K. S., Lu, W., & Li, J. Immune parameter changes of hemocytes in green-lipped mussel Perna viridis exposure to hypoxia and hyposalinity. // Aquaculture. 356. 2012. P. 22-29.

БАКТЕРИОПЛАНКТОН ОБЛАСТИ МАТЕРИКОВОГО СКЛОНА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В СЕНТЯБРЕ 2018 ГОДА

Беззубова Е.М., Романова Н.Д.

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

elena.m.bezzubova@gmail.com

Ключевые слова: бактериопланктон, море Лаптевых, материковый склон, арктические экосистемы, морская микробиология.

Наибольший интерес в оценке функционирования микробного сообщества арктических морей и изменений в нем представляют зоны его наибольшей активности: область выноса речного стока и зоны континентального склона. Немногочисленные исследования бактериопланктона районов континентального склона в Арктическом регионе за редким исключением [1] посвящены Чукотскому морю [2, 3]. Вклад бактериопланктона, увеличивающий эффективность функционирования пищевых сетей и ускоряющий реминерализацию органического вещества, играет наибольшую роль именно в олиготрофных водах арктических морей, во многом определяя продуктивность планктонного сообщества.

В данной работе рассматриваются особенности пространственной изменчивости и функционирования бактериопланктона глубоководных районов моря Лаптевых. Мы оценивали следующие параметры: общая численность бактериопланктона (ОЧБ), биомасса бактерий, величина прироста и активная фракция бактериопланктона (численность бактерий с активной электрон-транспортной цепью). Материал был собран в ходе 72 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в период с 25 августа по 2 сентября 2018 года на двух субмеридиональных разрезах вдоль 117° и 126° в.д. от края шельфа моря Лаптевых до абиссали бассейна Нансена.

На разрезе вдоль 117° в.д. значения ОЧБ изменялись в широком диапазоне от 29 тыс. кл./мл до 1.6 млн. кл./мл. Максимальные показатели ОЧБ были приурочены к верхним слоям воды северной части разреза. На протяжении всего разреза ОЧБ в вертикальном столбе воды плавно снижалась от поверхностных горизонтов к глубинным. В придонном слое воды на глубине 65 м самой южной станции разреза 5946_2 ОЧБ составляла 231 тыс. кл./мл. В диапазоне глубин 182-351 м численность бактерий в придонных водах не превышала 200 тыс. кл./мл. На глубинах 700-1500 м ОЧБ придонных вод снижалась с 74 до 26 тыс. кл./мл, несколько возрастая на глубинах более 2000 м (до 31 тыс. кл./мл). Наибольшая величина коэффициента чистого роста бактерий (1.85 $сут^{-1}$) была отмечена на станции 5946_2, на глубине соответствующей пику флуоресценции (24 м). При этом на прочих горизонтах станции 5946_2 коэффициент чистого роста был меньше нуля. Также относительно высокие показатели скорости роста (0.98-1.70 $сут^{-1}$) наблюдались на глубинах 0-10 м станции 5963, расположенной на краю континентального склона (общая глубина чуть более 1500 м). Биомасса, в отличие от ОЧБ, была выше на шельфовых станциях (1.20-6.67 $мгС/м^3$), в толще воды области края континентального склона величины биомассы варьировали от 0.30 до 4.58 $мгС/м^3$. Значения биомассы бактерий были максимальными в верхнем слое воды и убывали по мере увеличения глубины на всех станциях разреза. Доля активно-дышащих бактерий [4] на самой северной станции разреза не превышала 2.1%. Надо отметить, что этот параметр является показателем именно активных, а не просто жизнеспособных клеток и не отражает потенциальную способность перехода микробного сообщества к активному метаболизму при изменении условий существования [5].

Значения ОЧБ на разрезе вдоль 126° в.д. варьировали в пределах от 21 тыс. кл./мл до 1.4 млн. кл./мл. Севернее изобаты 1000 м наблюдалось заметное возрастание пока-

зателя численности бактериопланктона в верхнем 40-метровом слое. Для вертикального распределения численности бактерий было характерно постепенное уменьшение ОЧБ по мере увеличения глубины. На глубинах более 100 м величины ОЧБ не превышали значения 200 тыс. кл./мл на протяжении всего разреза. Коэффициент чистого роста бактериопланктона варьировал на протяжении всего разреза и в вертикальном столбе воды в широком диапазоне от отрицательных значений до 6.20 сут$^{-1}$. Наибольший прирост был отмечен в придонных водах станции верхней части склона на глубине 524 м. В слое пика флуоресценции коэффициент чистого роста постепенно увеличивался с 0.46 до 3.27 сут$^{-1}$ по мере продвижения в сторону континентального склона и увеличения глубины станций. В шельфовой части разреза биомасса бактерий находилась в диапазоне значений 0.84-4.38 мгС/м^3. В значительно большей степени этот показатель варьировал в толще вод континентального склона: 0.25-17.52 мгС/м^3. Наибольшие величины биомассы бактерий были характерны для верхних 40-50 м воды, на глубинах более 100 м биомасса бактерий не превышала 1 мгС/м^3. Доля активной фракции бактериопланктона составляла не более 1%.

В заключение стоит отметить высокие значения ОЧБ в поверхностных слоях воды над континентальным склоном моря Лаптевых. На глубинных горизонтах наблюдаются низкие величины ОЧБ и биомассы бактерий. Полученные нами результаты подтверждают высокую продуктивность экосистем в области континентального склона. Предположительные причины таких высоких показателей - апвеллинги, вызванные приливно-отливными течениями и течениями вдоль кромки шельфа [6], и заток атлантических вод, залегающих в арктических морях на глубине 400-800 м. Максимальные величины прироста бактериопланктона отмечались в слоях пика флуоресценции.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 17-77-10138, полевой сбор материала осуществлялся при поддержке РНФ № 14-50-00095.

Список литературы

1) Rapp J.Z, Fernández-Méndez M., Bienhold K., Boetius A. Effects of Ice-Algal Aggregate Export on the Connectivity of Bacterial Communities in the Central Arctic Ocean // Frontiers in Microbiology. 2018. V. 9. Article 1035

2) Kirchman D.L., Elifantz H., Dittel A.I., Malmstrom R.R., Cottrell M.T. Standing stocks and activity of Archaea and Bacteria in the western Arctic Ocean // Limnology and Oceanography, 2007. V. 52. I. 2. P. 495-507

3) Malmstrom R.R., Straza T.R.A., Cottrell M.T., Kirchman D.L. Diversity, abundance, and biomass production of bacterial groups in the western Arctic Ocean // Aquatic Microbial Ecology. 2007. V. 47 N. 1. P. 45-55

4) Howard-Jones M. H., Frischer M. E., Verity P. G. Determining the Physiological Status of Individual Bacterial Cells // Marine microbiology. 2001. № 30. P. 175-206

5) Романова Н.Д., Сажин А.Ф. Методологические аспекты определения численности, биомассы и продукции бактериопланктона // Океанология. 2011 Т. 51, № 3. С. 550-560

6) Springer A.M., Mcroy C. P., Flint M.V. The Bering Sea Green Belt: Shelf-edge processes and ecosystem production // Fisheries Oceanography. 1996. Vol. 5. P. 205-223

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГРИБОВ В МОРЯХ КАРСКОМ И ЛАПТЕВЫХ

Бондаренко С.А.[1,2], **Георгиева М.Л.**[1,3], **Сахарнов Г.В.**[4], **Бубнова Е.Н.**[1]

[1] *Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

[2] *ФИЦ Биотехнологии РАН, Институт микробиологии им. С.Н.Виноградского РАН,г. Москва*

[3] *Научно-исследовательский институт по изысканию новых антибиотиков имени Г.Ф. Гаузе, г. Москва*

[4] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

bond.sonia@gmail.com

Ключевые слова: биология океана, микология, морские грибы.

Грибы, наряду с бактериями, составляют звено сапротрофов, необходимое для функционирования любой экосистемы. Обладая мощным ферментативным потенциалом, грибы способны разлагать даже самые сложные соединения (лигнин, целлюлозу, кератин и пр.), возвращая их элементы в общий биологический круговорот. Они образуют разного рода ассоциации с растениями, животными и другими организмами, часто определяя облик и направление эволюции биоценозов. В морских местообитаниях роль грибов остается слабо изученной. В особенности это касается Арктической зоны. Так, в Арктических и Субарктических водах выполнено и опубликовано менее четырех десятков работ [1, 2]. Исследования преимущественно касаются грибов на таких субстратах, как грунты [1, 3, 4], плавающая древесина [2]. Отдельные работы посвящены грибам пелагиали [5], ассоциантам с водорослями-макрофитами [6] и грибам в арктических льдах [5].

Основные сложности при исследовании морских грибов в Арктике связаны с труднодоступностью большей части региона и с несовершенством методических подходов. Так, традиционный метод посевов грунта, воды и других субстратов на питательные среды исключает обнаружение некультивируемых видов. Кроме того, длительное хранение и транспортировка образцов от мест сбора до лаборатории могут пагубно влиять на жизнеспособность пропагул. Некультуральные молекулярно-генетические методы, которые получили широкое распространение в последние годы, в значительной степени расширяют информацию о скрытом разнообразии грибов, но не дают представления о реальном функционировании сообществ. Методы микроскопии, к которым относится и наиболее адекватное для выявления грибов окрашивание люминесцентным красителем Calcofluor White, имеют низкую специфичность.

Для понимания функционирования экосистем Арктики необходимо сформировать представление о структуре грибных сообществ, их ассоциативных связях с другими организмами, оценить вклад грибов в разложение и перенос органического вещества. Решение этих проблем невозможно без разностороннего подхода и новых методических наработок.

В 72-м рейсе НИС Академик Келдыш была предпринята попытка комплексного исследования грибов Карского моря и моря Лаптевых. Основными задачами стала отработка методов визуальной оценки грибов в различных морских местообитаниях методами люминесцентной микроскопии; выделение грибов из природных субстратов традиционными культуральными методами; отбор проб для исследований методом высокопроизводительного секвенирования.

В ходе рейса на 24 станциях были отобраны образцы в различных морских местообитаниях: донные осадки в области шельфа и континентального склона на глубинах от 60 до 3000 м, вода из придонного и фотического слоёв. Посевы образцов на питательные среды на основе морской воды и микроскопические наблюдения грибов с окрашиванием люми-

несцентными красителями CalcofluorWhite и DAPI были проведены непосредственно на судне.

В результате исследований визуально подтверждено присутствие грибов во всех изученных субстратах - как в пелагиали в качестве ассоциантов с фитопланктоном, так и в донных осадках в виде активно развивающегося мицелия, в том числе в области метановых сипов и на глубинах до 3000 м. Количественная оценка грибов с помощью люминесцентной микроскопии, несмотря на методические наработки, оказалась недостаточно точной в условиях низкой встречаемости грибов.

На питательные среды из разных местообитаний выделено более 100 чистых культур. Среди них 41 морфотип мицелиальных грибов и 6 морфотипов дрожжей. Что необычно, дрожжи отмечены в большом количестве во всех образцах. Количество пропагул культивируемых грибов в море на несколько порядков ниже, чем в большинстве наземных местообитаний. Так, по нашим подсчетам, на 1 г донных осадков в среднем приходится 4,5 колониеобразующих единиц (КОЕ) мицелиальных грибов и 40 КОЕ дрожжей. Получены уникальные культуры грибов из водной толщи. Их количество оценивается в ≈0,013 КОЕ мицелиальных грибов и 9 КОЕ дрожжей на 1 мл воды. В настоящее время проводится идентификация полученных культур, изучение их экофизиологических свойств.

Уже на этапе предварительной обработки данных понятно, что возможность работы с образцами и постановки экспериментов непосредственно на судне открывает новые возможности для оценки разнообразия грибов и их вклада в экосистемы арктических морей.

Список литературы

1) Bubnova E.N., Nikitin D.A.Fungi in bottom sediments of the Barents and Kara Seas // Russian Journal of Marine Biology. 2017. Vol. 43. No. 5. P. 400-406.
2) Bubnova E.N. Fungal diversity in bottom sediments of the Kara Sea // Botanica Marina. 2010. Vol. 53. No. 6. P. 595-600.
3) Bubnova E. N. Konovalova O. P. Fungi in the bottom sediments of the Chukchi Sea // Russian Journal of Marine Biology. 2019. Vol. 45. No 2
4) Rämä T., Davey M.L., Norden R., Halvorsen R., Blaalid R., Mathassen G.H., Alsos I.G., Kauserud H. Fungi sailing the Arctic Ocean: speciose communities in North Atlantic driftwood as revealed by high-throughput amplicon sequencing // Microbial ecology. 2016. Vol. 72. P. 1-10.
5) Hassett B.T., Ducluzeau A.L., Collins R.E., Gradinger R. Spatial distribution of aquatic marine fungi across the western Arctic and sub-Arctic // Environmental Microbiology. 2016. Vol. 19. No. 2. P. 475-484.
6) Коновалова О.П., Бубнова Е.Н., Сидорова И.И. Биология Stigmidium ascophylli – симбионта фукоидов в Кандалакшском заливе Белого моря // Микология и фитопатология. 2012. Т. 46. С. 353-360.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СБОРУ, ПРОБОПОДГОТОВКЕ И ХРАНЕНИЮ МЯГКИХ ГЛУБОКОВОДНЫХ ГРУНТОВ

Борзых О.Г., Орлова Т.Ю.

Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, г. Владивосток

alien-og@mail.ru

Ключевые слова: морские грунты, биобанкинг, глубоководные исследования, вулкан Пийпа, Берингово море.

В связи с развитием глубоководной аппаратуры и средств ее транспортировки, а также с необходимостью поиска организмов - продуцентов новых биологически активных веществ возрос интерес к изучению глубоководных экосистем, в частности глубоководных морских грунтов.

Морские грунты или аквапочвы составляют самостоятельную природную гидропочвенную область шельфовой зоны морей и подводного материкового склона океанов. Они возникли в результате самого древнего педосферного процесса на нашей планете [1]. Биоразнообразие морских грунтов обычно очень велико. Грунты - главный источник поступления микрорганизмов (грибы, бактерии) в водную толщу [2]. Исключение составляют глубоководные экосистемы, которые являются по своей сути экстремальными, из-за отсутствия света, и как следствие отсутствия привычных автотрофов, высокого гидростатического давления, довольно низкой температуры (2-5 градусов), а также, исключая гидротермы, из-за низкого содержания питательных веществ. Глубоководные гидротермальные экосистемы, а также места газовых сипов считаются оазисами жизни в океане [3]. С момента обнаружения этих экосистем в конце 1970-х, были описаны многие эндемичные виды бактерий, Архей и других организмов [3].

Обычными инструментами сбора морских грунтов являются дночерпатели, драги, гравитационные трубы и бокскореры. В чисто их достоинств входят простота в обращении, трубы и бокскореры позволяют доставать грунты в ненарушенном состоянии. Однако при отборе проб с большой глубины им приходится действовать практически "вслепую". При попадании на твердые грунты многие из орудий обычно приходят пустыми или ломаются. Это, несомненно, приводит к ухудшению собираемого материала, особенно для мейобентосных и микробиологических исследований. Для исправления сложившейся ситуации необходимо использование современные глубоководных инструментов сбора, а также разработка протоколов обработки их хранения полученных образцов.

В 2016 и 2018 годах состоялись экспедиции по комплексному изучению биологического разнообразия экосистем гидротермальных полей и склонов подводного вулкана Пийпа (Берингово море) и подводных гор северо-западной части Тихого океана с борта НИС «Академик М.А. Лаврентьев». Одной из целей которых являлась отработка методик сбора, биологической обработки и подготовки к хранению глубоководных морских грунтов.

В экспедициях использовался глубоководный телеуправляемый аппарат "Comanche 18", оборудованный видеокамерами высокого разрешения и кассетой с трубками для отбора грунтов. Обычные методы сбора донных осадков в данном районе были неприменимы, из-за большой дискретности в накоплении осадков.

"Comanche 18" позволил производит точеные сборы в интересующих районах. В ходе работ было отобрано 9 проб грунтов в 2016 году, а также 18 проб в 2018 году.

Для подготовки к хранению образцов были использованы 6 протоколов консервации биообразцов: прямая заморозка на -20 °C, заморозка на -20 и -196 °C с применением в качестве криопротектора глицерина 30%, заморозка на -20 -196 °C с применением в ка-

честве криопротектора DMSO, и консервация в этаноле 96%. с последующим хранением при температуре -20 °C.

Подготовленные таким образом пробы на суше были депонированы ЦКП РК «Морской биобанк» в автоматизированную система хранения биоматериала LiCONiC STC Compact ULT -80°C и систему хранения в парах жидкого азота BIOSAFE 420. Используемые системы обладают несколькими степенями зашиты образцов от перепадов температуры, а также минимизируют присутствие человека при депонировании и изъятии материала из хранилищ.

Всего было подготовлено и депонировано в «Морской биобанк» 54 образца грунта. Депонированные образцы снабжены обширным информационным паспортом, размещенным на сайте «Морского биобанка» (http://marbank.dvo.ru) и являются перспективным материалом для дальнейших исследований, а также качественным референсным материалом.

Работа поддержана программой Дальний Восток (грант № 18-4-050).

Список литературы

1) Ивлев А.М., Нестерова О.В. К вопросу об изучении аквапочв // Вестн. ДВО РАН № 4. 2006. С. 47–52.

2) Saito T. Soil microflora of a coast dune // I Sciences Report Tohoku University. Ser. 4 Biology Vol. 21. 1955. P. 145–151.

3) Захарова А.Н. Обитатели морских глубин // Зоосистема № 4 (27). 2005. С.709–723.

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНЬЯ О ГЛУБОКОВОДНЫХ ГРИБАХ ПОДВОДНОГО ВУЛКАНА ПИЙПА (МАССИВ ВУЛКАНОЛОГОВ, БЕРИНГОВО МОРЕ).

Борзых О.Г., Зверева Л.В.

Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, г. Владивосток

alien-og@mail.ru

Ключевые слова: мицелиальные грибы, Ascomycota, Basidiomycota, мягкие грунты, губки, вулкан Пийпа, Берингово море.

В последнее время возрос интерес к биоразнообразию микроорганизмов в глубоководных местообитаниях, в том числе в районах интенсивной вулканической деятельности. Подобные экосистемы являются по своей сути экстремальными, из-за отсутствия света, и как следствие отсутствия привычных автотрофов, высокого гидростатического давления, довольно низкой температуры (2-5 градусов), а также, исключая гидротермы, из-за низкого содержания питательных веществ.

Глубоководные гидротермальные экосистемы считаются оазисами жизни в океане. С момента обнаружения этих экосистем в конце 1970-х, были описаны многие эндемичные виды бактерий, Архей и других организмов.

В связи с развитием глубоководной аппаратуры и средств ее транспортировки, а также с необходимостью поиска организмов - продуцентов новых биологически активных веществ проводятся исследования грибов в глубоководных местообитаниях Мирового океана [1, 2], в районах гидротерм [2], в отложениях подводного вулкана на Самоа [3]. Микологам удалось культивировать грибы с глубины 1615 - 5315 м , 4500 м и 4610 м из Атлантики [4], 300 - 850 м в Индийском океане [1] и Тихом океане [2], в Южно- Китайском море [5]. В глубоководных микологических исследованиях используют метод культур и метагеномный метод [1, 2]. Большинство культурабельных грибов (в основном идентифицированных до рода) из глубоководных местообитаний относится к родам *Aspergillus, Cladosporium, Penicillium, Acremonium, Fusarium, Aureobasidium*. Однако на сегодняшний день биоразнообразие грибов в глубоководных экосистемах изучено слабо, в частности нет сведений о микобиоте глубоководных экосистем Берингова моря.

В связи с вышесказанным, цель работы заключалась в изучении микобиоты глубоководной экосистемы вулкана Пийпа (массив вулканологов Берингово море).

В ходе экспедиции по комплексному изучению биологического разнообразия, продуктивности и распределения экосистем гидротермальных полей и склонов подводного вулкана Пийпа (Берингово море) и подводных гор северо-западной части Тихого океана с борта НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2016 году были отобраны пробы илистого и илисто-песчанного грунтов, а также пробы 3 видов губок: *Farrea occa,* губки из рода *Hexactinellida* и губки из рода *Demospongia*.

Материал собирали с помощью телеуправляемого глубоководного аппарата "Команч". После поднятия аппарата на борт пробы помешались в стерильные пакеты и контейнеры и замораживались. Пробы отбирались с соблюдением условий стерильности: руки и инструмент необходимо протирались 70% этанолом, при отборе грунтов из трубок, перефирийные слои (1 см.) удалялись. Для выделения грибов истользовались класические микологические методы культивирования на твердых питательных средах. Для идентификации выделенных грибов были использованы общепринятые ключи и определители. Таксономический статус уточняли используя базу данных Index Fungorum (http://www.indexfungorum.org).

В ходе работы впервые проведено микологическое обследование глубоководных экосистем в районе подводного вулкана Пийпа (Берингово море). В ходе исследования донных

грунтов и губок было выделено более 60 изолятов мицелиальных грибов, относящихся к 15 видам из 6 родов Ascomycota, Basidiomycota, а также был выделен стирильный мицелий (Mycelia Sterilia).

Это несомненно беднее чем в хорошо изученных прибрежных местообитаниях. К примеру, микобиота грунтов Японского моря насчитывает 91 вид [6], а микобиота губок по данным Пивкина 78 видов.

Таксономический состав грибов представлен видами из родов *Aspergillus* (8 видов), *Aureobasidium* (1вид) *Penicillium* (3вида), *Cladosporium* (1вид) , *Papulaspora* (1вид) и Mycelia Sterilia. Из илистых и илисто-песчаных грунтов выделено по 6 видов микромицетов, из губок *Farrea occa*, *Hexactinellida*, *Demospongia* - 2, 3 и 1 вид грибов, соответственно. Подавляющее видовое богатство рода *Aspergillus* является характерным для экстремальных местообитаний. Отмечен характер морфолого-культуральной изменчивости штаммов *Aspergillus melleus* Yukawa, выделенных из губки *Hexactinellida,* на универсальной среде Сабуро и обедненной агаровой среде. Как минимум, 1 вид рода *Aspergillus* является новым для науки.

Список литературы

1) Raghukumar C., Damare S., Singh P. A review on deep-sea fungi: occurrence, diversity and adaptions // Bot Mar (53). 2010. P. 479–492.
2) Le Calvez T., Burgaud G., Mahe S., Barbier G., Vandenkoornhuyse P. Fungal diversity in deep-sea hydrothermal ecosystems // Appl Environ Microbiol (75). 2009. P. 6415–6421.
3) Connell L., Barrett A., Templeton A., Staudigel H. Fungal diversity associated with an active deep sea volcano: Vailulu'u Seamount, Samoa // Geomicrobiol J 26. 2009. P.597–605.
4) Kohlmeyer J. New genera and species of higher fungi from the deep sea (1615-5315m) // Rev. Mycol. (41). 1977. P. 189–206.
5) Lai X., Cao L., Tan H., Fang S., Huang Y., Zhou S. () Fungal communities from methane hydrate bearing deep-sea marine sediments in South China Sea // ISME J (1). 2007. P. 75–762.
6) Пивкин М. В., Худякова Ю. В., Кузнецова Т. А., Сметанина О.Ф., Полохин О.В. Грибы аквапочв прибрежных акваторий Японского моря в южной части Приморского края // Микология и фитопатология 9(39). 2005. С. 50–61.

ФАУНА МЕТАНОВЫХ ВЫСАЧИВАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Веденин А.А., Галкин С.В., Кокарев В.Н., Гебрук А.В.

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

urasterias@gmail.com

Ключевые слова: метановые высачивания, фауна восстановительных биотопов, море Лаптевых, донная фауна шельфа.

В различных районах Мирового Океана в зонах активных метановых высачиваний (иначе называемых метановыми сипами) наблюдается отклик фауны, выражающийся в изменении видового состава и интегральных показателей донных сообществ. Как правило, наблюдаемые фаунистические изменения в зоне высачиваний проявляются на больших глубинах, находящихся за пределами фотического слоя [1], в то время как на малых глубинах ($\approx$<100 м) никаких изменений в качественном и количественном составе донной фауны не происходит. В Северном Ледовитом Океане известно несколько точек с метан-ассоциированной макрофауной, располагающихся на глубинах более 200 м - наиболее изученные располагаются у берегов Шпицбергена и на грязевом вулкане Хакон Мосби [2]. В данной работе мы сосредоточились на изучении донной фауны, ассоциированной с метановыми высачиваниями в северной области шельфа моря Лаптевых на небольших глубинах (менее 80 м). В наши задачи входило обнаружение ответной реакции макрофауны на проявления метановых высачиваний.

Материал был собран в ходе трех экспедиций на НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2015, 2017 и 2018 гг. при помощи дночерпателей «*Океан*» и «*Ван Вина*» площадью 0.1 м^2 и трала Сигсби. Суммарно было обследовано три района - поле C15 (76 ° 46'сш, 125 ° 50'вд, глубина 72 м, 12 дночерпательных проб, 1 траловая), поле ODEN (76 ° 53'сш, 127 ° 48'вд, 63 м, 6 дночерпательных проб, 1 траловая) и контрольный участок шельфа без метановой активности (76 ° 50'сш, 126 ° 40'вд, 70 м, 3 дночерпательные пробы). Дночерпательные пробы были промыты через сито с диаметром ячеи 0.5 мм; из каждой траловой пробы была взята полуколичественная подпроба объемом в десять литров и промыта на сите с диаметром ячеи 1 мм. Полученный материал фиксировался нейтрализованным 4% формалином. Разбор проб производился в лаборатории, все организмы определялись до наименьшей таксономической категории, подсчитывались и взвешивались (сырой вес). Последующий статистический анализ включал в себя: построение графика ранжирования видов в процентах от общей численности для траловых проб; анализ сходства дночерпательных проб при помощи количественного индекса Брея-Кертиса и последующий кластерный анализ (метод UPGMA); верификация полученных кластеров методом однофакторного анализа сходства (ANOSIM); оценку видового разнообразия при помощи индексов Пиелу, Симпсона и среднего ожидаемого числа видов на 100 особей; анализ SIMPER для выявления видов, наиболее различающихся по численности внутри и вне зон активных высачиваний [3]. При обработке результатов использовались программы Microsoft Excel 2003 и Primer 6.

В траловых пробах было обнаружено 253 вида донной макрофауны. Обе станции, взятые как на поле C15, так и на поле ODEN, показали наличие достаточно типичного сообщества с доминированием офиур *Ophiocten sericeum* (>37% от общей численности), характерного для обширных площадей сибирского шельфа [4]. Помимо других хорошо известных и широко распространенных видов, в обеих пробах в больших количествах были обнаружены полихеты сибоглиниды *Oligobrachia haakonmosbiensis* и брюхоногие моллюски *Frigidalvania* sp.. Первый вид характерен для восстановительных биотопов и в боль-

ших количествах был обнаружен в области метановых сипов грязевого вулкана Хакон Мосби. Второй вид является новым для науки. Близкие виды моллюсков из этого семейства (Rissoidae) были ранее обнаружены на вулкане Хакон Мосби и на гидротермальных полях хребта Мона [5], где, по всей видимости, занимают трофическую нишу грейзеров, соскребающих бактериальные маты.

В дночерпательных пробах было обнаружено 170 видов макробентоса. Кластерный анализ с использованием данных по биомассе показал, что все пробы, взятые в зоне метановых сочений, группируются в два отчетливых кластера, соответствующие полям C15 и ODEN. При этом контрольные пробы сгруппировались с отдельный кластер вместе с двумя пробами с поля ODEN, которые, судя по таксономическому составу, оказались взяты вне зоны активных высачиваний из-за чрезвычайно небольшой площади и мозаичности метановых проявлений. Численность и биомасса в районах активных высачиваний была несколько выше, чем вне этих зон: численность в районах активных метановых сипов составляла в среднем 3377 экз./м^2 ($\pm$2262 SD), в то время как вне зон высачиваний - 1503 $\pm$ 700 экз./м^2; суммарная биомасса, соответственно, составляла 92,1 $\pm$ 102,3 г/м^2 в пределах сипов и 49,4 $\pm$ 41,7 г/м^2 вне зон сочений. Индексы разнообразия не продемонстрировали никакой закономерности: так, среднее ожидаемое число видов на 100 особей в зонах высачиваний составило 26 $\pm$ 6 видов, а вне сипов - 27 $\pm$ 4 вида. Видовой состав в зоне высачиваний отличался от фоновых станций наличием сибоглинид *Oligobrachia haakonmosbiensis*, а также, в случае нескольких станций, наличием моллюсков *Frigidalvania* sp., *Axinopsida orbiculata* и полихет *Ophryotrocha* sp..

Полученные нами данные показывают, что в море Лаптевых наблюдается отчетливая реакция донной макрофауны на метановые высачивания, выраженная как в изменении интегральных характеристик сообщества, так и в таксономическом составе (в частности, в присутствии отдельных, эндемичных для восстановительных биотопов видов). Наблюдаемые отличия донных сообществ в зоне метановых сипов от сообществ фоновой части шельфа зарегистрированы на рекордно малой глубине, менее 80 м.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ №14-50-00095 (полевые работы) и РФФИ № 18-05-60228 (обработка материала).

Список литературы

1) Галкин С.В. Гидротермальные сообщества Мирового океана. Структура, типология, география. М.: ГЕОС, 2002. – 200 с

2) Åström E.K., Carroll M.L., Ambrose Jr W.G., Carroll J. Arctic cold seeps in marine methane hydrate environments: impacts on shelf macrobenthic community structure offshore Svalbard // Marine Ecology Progress Series. 2016. Vol. 552. P. 1-18

3) McCune B., Grace J.B., Urban D.L. Analysis of Ecological Communities. Gleneden Beach, Oregon: Vol. Mjm Software Design, 2002. – 28 p.

4) Зенкевич Л.А. Биология морей СССР. М.: Изд-во Академии Наук СССР, 1963. – 739 с

5) Sweetman A.K., Levin L., Rapp H.T., Schander, C., 2013. Faunal trophic structure at hydrothermal vents on the southern Mohn's Ridge, Arctic Ocean // Marine Ecology Progress Series. 2013. Vol. 473. P. 115-131

ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕМОЦИТОВ CRASSOSTREA GIGAS

Ефремова Е.С., Андреева А.Ю., Кухарева Т.А.

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

kladchenko_ ekaterina@bk.ru

Ключевые слова: гипоксия, гемоциты, Crassostrea gigas, проточная цитометрия.

В результате чрезмерного увеличения поступления органических веществ в прибрежную морскую воду, гипоксия стала одной из основных экологических проблем. Морские организмы разных уровней организации, в особенности бентосные виды, испытывают на себе различные негативные последствия дефицита кислорода [1]. У устриц гипоксия может привести к снижению иммунитета [2]. В связи с чем, актуальными становятся исследования функционального состояния моллюсков под воздействием гипоксической нагрузки, особенно в случае ценных объектов марикультуры, таких как Crassostrea gigas.

Целью настоящей работы было проанализировать влияние гипоксической нагрузки на жизнеспособность и функциональные показатели гемоцитов Crassostrea gigas.

Экспериментальная группа особей Crassostrea gigas в течении суток содержалась в морской воде с концентрацией кислорода 0,2 мг/л. Образцы гемолимфы для анализа на проточном цитометре отбирали из мышцы-замыкателя, фильтровали (фильтр 20 мкм) и трижды отмывали в стерильной морской воде путем центрифугирования (1500 об. мин-1, 10 мин). Для анализа на проточном цитометре готовую суспензию гемоцитов разводили стерильной морской водой (1-2•10^6 гемоцитов на мл) и окрашивали ДНК-красителем SYBR Green I (финальная концентрация в пробе 10 мкМ, 30 мин в темноте). Содержание ДНК в гемоцитах мидий анализировали на основании гистограмм распределения флуоресценции красителя в программе Flowing Software 5.2.[3].

Оценка продукции активных форм кислорода проводилась методом проточной цитометрии по флюоресценции красителя 2-7-дихлорфлуоресцеин-диацетата (DCF-DA). 1 мл суспензий гемоцитов инкубировали с 10 мкл раствора DCF-DA в течение 30 мин в темноте. Зеленая флуоресценция, создаваемая DCF, измерялась детектором FL1 проточного цитометра [4].

Смертность гемоцитов определяли с использованием флюоресцентнго красителя пропидий йодид (PI). К 1 мл суспензии гемоцитов добавляли 10 мкл раствора PI (Sigma Aldrich) и образец инкубировали в темноте в течение 30 мин при 4° С перед анализом проточной цитометрии. Процент мертвых гемоцитов по отношению к общему числу гемоцитов оценивали по гистограммам флуоресценции PI в канале FL4 цитометра [5].

Обе исследуемые группы устриц были однородными по содержанию ДНК. Описанные профили флюоресценции красителя SYBR Green I соответствовали нормальному клеточному циклу. Случаи анеуплоидии, асимметрии диплоидного пика и деления клеток небыли обнаружены.

Анализ показателей прямого (FS) и бокового (SS) рассеяния позволил идентифицировать 3 типа клеток с различным относительным размером и уровнем гранулярности. Относительно мелкие клетки с низким уровнем гранулярности классифицированы как агранулоциты. Популяция крупных клеток с высоким уровнем гранулярности определена как гранулоциты. Промежуточный тип, по показателям FS и SS, - гиалиноциты. Для устриц контрольной группы характерно преобладание гиалиноцитов - 53.9±15.8% и меньшее содержание агранулоцитов - 37.4±14.2% и гранулоцитов 8.8±4.5%. После гипоксической нагрузки у устриц отмечено снижение количества гранулоцитов - 0.7±0.2% и гиалинцитов - 3.9±0.7%, а так же увеличение числа агранулоцитов- 95.3±0.9%.

У экспериментальной группы устриц отмечено увеличение числа мертвых клеток в два раза по сравнениюс контролем 7.5±2.6%, однако данный показатель внутри группы варьировал в широких пределах.

Гранулоциты контрольной группы характеризовались выраженной флюоресценцией красителя DCF-DA, меньшей флюоресценцией обладали гиалиноциты. У группы устриц, испытавших гипоксическую нагрузку, флюоресценция красителя гранулоцитов снизилась более чем в 9 раз, а гиалиноцитов в 6 раз.

Таким образом, методом проточной цитометрии позволил оценить изменения в функциональных показателях клеток, отвечающих за иммунный ответ в организме моллюсков - гемоцитов.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0828-2018-0003

Список литературы

1) David E. et al. Response of the Pacific oyster Crassostrea gigas to hypoxia exposure under experimental conditions //The FEBS journal. – 2005. – Т. 272. – №. 21. – С. 5635-5652.
2) Boyd J. N., Burnett L. E. Reactive oxygen intermediate production by oyster hemocytes exposed to hypoxia //Journal of Experimental Biology. – 1999. – Т. 202. – №. 22. – С. 3135-3143.
3) Andreyeva A. Y., Soldatov A. A., Mukhanov V. S. The influence of acute hypoxia on the functional and morphological state of the black scorpionfish red blood cells //In Vitro Cellular & Developmental Biology-Animal. – 2017. – Т. 53. – №. 4. – С. 312-319.
4) Lambert C. et al. Measurement of Crassostrea gigas hemocyte oxidative metabolism by flow cytometry and the inhibiting capacity of pathogenic vibrios //Fish & shellfish immunology. – 2003. – Т. 15. – №. 3. – С. 225-240.
5) Brousseau P. et al. Flow cytometry as a tool to monitor the disturbance of phagocytosis in the clam Mya arenaria hemocytes following in vitro exposure to heavy metals //Toxicology. – 1999. – Т. 142. – №. 2. – С. 145-156.

РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНОЙ СОСТАВ И ТЕМП РОСТА ТРЕСКИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Жукова К.А.[1], Строганов А.Н.[2], Лобырев Ф.С.[2]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва

[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. г. Москва

kzh@vniro.ru

Ключевые слова: треска, Gadus morhua marisalbi, Белое море, рост, возраст.

Треска *Gadus morhua marisalbi* (*Derjugin*) - важный представитель ихтиофауны Белого моря и излюбленный объект лова рыбаков-любителей в прибрежных районах, особенно в Кандалакшском заливе.

Сбор материала по треске проводили летом 2017 г в Кандалакшском заливе в районе Беломорской биологической станции имени Н.А. Перцова (ББС МГУ). Исследованы размеры трески, возраст и темп роста. Возраст рыб определен по отолитам.

Длина трески в уловах варьировала в широких пределах - от 11 до 38 см, средняя длина самцов составила 23,8 см, средняя длина самок - 24,9 см. Масса рыб в уловах колебалась от 15 до 691 г, средняя масса самцов составила 161 г, самок - 182,3 г. В соотношении полов преобладали самки (61,5%). Возраст рыб варьировал от 1+ до 4+. Среди самцов преобладали особи в возрасте 2+ и 3+ (45%), среди самок - 2+ (50%). Самки ряда возрастных групп имели несколько большую длину, чем одновозрастные самцы, однако эти различия в большинстве случаев были невелики. Размеры одновозрастных самцов и самок были сходны до возраста 2+, в старших возрастных группах самки были крупнее самцов. Средняя масса самцов была выше, чем у самок в возрасте 1-2 года. В старших возрастных группах самки опережали по массе самцов. Взаимоотношение между длиной и массой хорошо описывается уравнением степенной функции: $y = 0{,}006 \times x^{3{,}1762}$, $R^2 = 0{,}8617$.

Биологические показатели исследованных в 2017 г. рыб соответствовали данным, полученным Ильиным и Певзнером (1939), но существенно отличались от данных Европейцевой (1937) и Талиева (1931). Так, размерно-весовые показатели особей в нашей работе были выше, чем у одновозрастных рыб, изученных в 1930-е годы.

Список литературы

1) Европейцева Н.В. Расовый анализ беломорской трески / Л.: Изд-во ЛГУ. 1937. 98 с.
2) Ильин Б.С., Певзнер В.И. Новые сведения о беломорских видах трески // Сб., посвященный научной деятельности Н.М. Книповича. М.-Л.: Пищепромиздат. 1939. С. 316-334
3) Талиев Д.Н. К познанию трески Белого моря // Изв. Лен. науч.-исслед. ихтиол. ин–та № XT(2). 1931. С. 102-148

ВИДОВОЙ СОСТАВ, ПЛОТНОСТЬ ОСЕННЕГО ФИТОПЛАНКТОНА И СЛУЧАИ ЦВЕТЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ДИАТОМЕЙ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ 2012-2016 ГГ.

Зинов А.А.[1,2], **Стоник И.В.**[2]

[1]*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток*

[2]*Национальный научный центр морсокй биологии, г. Владивосток*

toni.zinov.95@mail.ru

Ключевые слова: залив Петра Великого, потенциально токсичные микроводоросли, диатомовые водоросли, Уссурийский залив.

Изучен видовой состав и количественное распределение фитопланктона в заливе Петра Великого, российских водах Восточно-Японского моря. Амурский и Уссурийский заливы являются заливами второго порядка в бухте Петра Великого. Многолетние исследования видового состава фитопланктона проводились в осенний период с 2012 по 2016 гг., было выявлено 110 видов планктонных водорослей, относящихся к пяти отделам. Представлен аннотированный перечень видов. Самые высокие концентрации фитопланктона ($1{,}8{\cdot}10^6$ клеток л$^{-1}$) были зарегистрированы в ноябре 2012 года в бухте Патрокл, а самые низкие ($2{,}3{\cdot}10^4$ клетки л$^{-1}$) в ноябре 2015 года в бухте Лазурная. Диатомеи *Aulacoseira granulata*, *Skeletonema costatum*, *frauenfeldii Thalassionema*, *Rhizosolenia pungens*, *Pseudo-nitzschia calliantha*, *P. multistriata* и динофлагелляты *Torodinium robustum and Gymnodinium sp.* преобладали в фитопланконе (30-85%). Наиболее распространенными микроводорослями, способные вызвать "цветение" воды, были потенциально токсичные диатомовые водоросли, принадлежащие к роду *Pseudo-nitzschia* . Морфологический анализ на основе трансмиссионной электронной микроскопии выявил, что *P. multistriata* и *P. calliantha* наиболее многочисленные виды. Виды *Pseudo-nitzschia* имели высокую плотность клеток ($1.2\text{-}1.5{\cdot}10^6$ клетки л$^{-1}$) в ноябре 2012 года в бухте Патрокл, Соболь и Лазурная, преобладали *P. multistriata*, *P. calliantha*, и виды, относящиеся к комплексу *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima/cuspidata*. Кроме того, потенциально токсичные виды *Pseudo-nitzschia* превысили пороговое значение ($1{\cdot}10^5$ клеток л$^{-1}$), принятое в Европе, как ограничение для культивирования и добычи моллюсков[1], были зафиксированы в шести случаях на станциях в Уссурийском заливе ($3.1{\cdot}10^5$ клеток л$^{-1}$ в октябре 2013 года в бухте Сухопутная; $1.7{\cdot}10^5$ клеток л$^{-1}$ в октябре 2015 года в бухте Патрокл; $2.2{\cdot}10^5$ клеток л$^{-1}$ в октябре 2016 года в открытых водах Уссурийского залива). В работе представлены карты, показывающие распределение видов *Pseudo-nitzschia* и их плотность в исследуемых зонах. Зоны с повышенным риском амнезического отравления моллюсков были обнаружены в Уссурийском заливе.

Работа выполнена в рамках гранта "Современные методы мониторинга фикотоксинов на акватории дальневосточных морей РФ" (18-5-074).

Список литературы

1) Bates S.S., Bird C.J., de Freitas A.S.W., Foxall R., Gilgan M.W., Hanic L.A., Johnson G.E., McCulloch A.W., Odense P., Pocklington R.G., Quilliam M.A., Sim P.G., Smith J.C., Subba Rao D.V., Todd E.C.D., Walter J.A., Wright J.L.C. Pennate diatom Nitzschia pungens as the primary source of domoic acid, a toxin in shellfish fram Eastern Prince Edward Island, Canada // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1989. Vol. 46, no 7. C. 1203-1215.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРОВ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛИТОРАЛИ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ ПЕСКОЖИЛА (ARENICOLA MARINA) НА ОНЕЖСКОМ БЕРЕГУ БЕЛОГО МОРЯ

Кокорин А.И., Барымова А.А., Никитенко Е.Д.

Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова

alexander.kokorin@marine-rc.ru

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, аэрофотосъемка, мониторинг, комплексные морские исследования.

Комплексное картографирование и мониторинг обстановки - важные составляющие комплексного управления прибрежными зонами. Существуют два традиционных подхода к решению этих задач: метод прямых наблюдений (работы на трансектах) и анализ спутниковых снимков сверхвысокодетального разрешения. Однако каждый из этих методов имеет свои недостатки: высокая трудоемкость и необходимость интерполяции результатов в случае прямых описаний и недостаточная пространственная детализация в случае использования спутниковых снимков. Коллективом авторов ранее [1] были получены положительные результаты при использовании аэрофотосъёмки с легких квадрокоптеров для картографирования литорали на Карельском берегу. В настоящей работе были поставлены две основные цели: 1. Опробовать ранее применявшийся метод для исследования и картографирования литорали на аккумулятивных берегах, более широко распространённых в российской Арктике. 2. Уточнить применимость аэрофотосъёмки с квадрокоптера для оценки состояния популяции, площади и плотности поселения пескожила Arenicola marina как одного из ключевых элементов бентосных сообществ и потенциального промыслового вида. Работы выполнялись в июне 2018 года на Онежском берегу Белого моря в районе деревень Летняя Золотица, Пурнема и в губе Конюховой по согласованию с НП "Онежское поморье" в ходе рейса НИС "Профессор Зенкевич". Для съемок был использован квадрокоптер DJI Phantom 4 Pro. Обработка снимков велась в нескольких программах, включая Agisoft Photoscan и ImageJ, привязка к местности - в программе QGIS. Показано, что отработанная ранее методика аэрофотосъёмки литорали пригодна для аккумулятивных берегов, однако наиболее полно её преимущества раскрываются на сложных участках с высокой мозаичностью; при картографировании обширных песчаных осушек без выраженной смены литологических типов поверхности или бентосных сообществ преимущества детальности аэрофотосъёмки перед спутниковой раскрываются не в полной мере. Также показано, что при сочетании ряда оптимальных условий (характер грунта, характер освещения, небольшая высота съёмки) возможен автоматизированный подсчет количества особей пескожила с точностью до единичных норок на всём пространстве съёмки, что даёт возможность составить высокодетальную карту его распределения на литорали и с высочайшей точностью оценить пространственные и количественные параметры популяции.

Это направление работ представляется нам перспективным и имеющим существенное прикладное значение.

Список литературы

1) Кокорин А.И., Барымова А.А. Применение БПЛА для аэрофотосъемки с целью комплексного картирования прибрежных зон на примере литорали Карельского берега Белого моря // Процессы в геосредах. – № 3(17). – 2018. – С. 34-35.

МЕЙОБЕНТОС ЛИТОРАЛИ ГУБЫ ЧУПА БЕЛОГО МОРЯ

Лепихина П.П., Канафина М.М., Голиков А.В., Сабиров Р.М.

Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, г. Казань

lepikhina_p@mail.ru

Ключевые слова: мейобентос, биоразнообразие, пространственное распределение, размерный спектр, биология океана, Белое море.

В настоящее время выделяют три размерные категории бентоса в морских экосистемах - это микро-, мейо- и макробентос. Первые исследования качественных и количественных показателей мейофауны начались относительно недавно, ближе к середине двадцатого столетия, в работах Р. Ремане в Кильской бухте [4] и М. Мэр у побережья Англии [3]. Стремление к изучению мейобентоса со стороны учёных объясняется следующим: во-первых, интерстициальные животные являются важным источником пищи для ряда морских обитателей ввиду колоссального биоразнообразия и биомассы; во-вторых, они участвуют в переработке детрита, тем самым меняя физические параметры грунта; а в-третьих, могут использоваться как биоиндикаторы для мониторинга водных экосистем. Благодаря продолжительным исследованиям мейобентоса удалось обнаружить несколько высокоорганизованных таксономических групп, таких как *Gnathostomulida*, *Cephalocarida* и *Mystacocarida*. Однако установление полного систематического состава на многих акваториях Мирового Океана, включая моря, где фауна мейобентоса изучается на протяжении десятилетий (например, Белое море [1, 2]), ещё далеко до завершения. Наряду с таксономическим составом важно установление закономерностей пространственного распределения мейофауны для выявления влияния абиотических факторов на плотность поселений составляющих её групп. Таким образом, целью настоящей работы стало описание фаунистического состава, количественный учёт организмов и анализ вертикального распределения мейобентоса на акватории губы Чупа Белого моря.

Сбор материала для выполнения исследования производился в июне и июле 2018 года на акватории Кандалакшского залива Белого моря с четырёх литоральных станций: №1 - о. Большой Горелый (координаты 66°31'N, 33°61'E), №2 - пролив Узкая Салма (66°28'N, 33°67'E), №3 - о. Матрёнин (66°31'N, 33°63'E), №4 - о. Сидоров (66°35'N, 33°81'E). Мейобентос отбирался на малой воде трубчатым пробоотборником с обрезанным нижнем краем диаметром 2 см и объёмом 21 мл на 7 см (по 1 пробе на станцию). Данный прибор применяется для установления вертикального распределения организмов в толще песка по слоям (за один слой принят 1 см, что соответствует 3 мл). Фиксация собранного материала производилась в 4% формалине. Экстракция животных осуществлялась по стандартной методике просеивания через серию из 5 сит с уменьшающимся диаметром ячеи - 500, 250, 125, 63 и 40 мкм.

На исследуемой территории были обнаружены представители 13 классов из 7 типов - *Forami-nifera*, *Platyhelminthes*, *Annelida*, *Mollusca*, *Nematoda, Gnathostomulida, Arthropoda*. Численность мейобентосных животных в точках сбора составляет от 136 до 363 особей (в среднем, 216,5±52,5). Для станций №1, №2 и №4 было характерно постепенное уменьшение количественного обилия организмов при понижении глубины, однако это снижение носит нелинейный характер. На станции №3 сначала также наблюдалось уменьшение особей от первого к пятому горизонту с 68 до 17 экземпляров, а затем резкое увеличение до 43 и 40 особей на шестом и седьмом горизонтах соответственно. В целом, основная часть животных сконцентрирована в верхнем слое осадка (в среднем по всем станциям, 43,4±11,4%). Исследования размерного состава мейобентоса показали, что большинство организмов станции о. Матрёнин задерживаются во фракции частиц с диаметром более

0,5 мкм (34,7%), в то время как на о. Сидоров - с диаметром 0,063 (48,8%) и 0,125 мкм (31,7%). Возможно, преобладание более мелких фракций, т.е. уменьшение размеров тела организмов на о. Сидоров, связано с увеличением доли особей на личиночных стадиях. При изучении размерного спектра нематод как одной из наиболее исследованных по этому параметру группе, представленной в мейобентосе, установлено, что большинство из них (56,9%) принадлежат к размерной фракции 63 - 125 мкм.

Наши результаты показали, что ведущими группами в мейобентосе являются тип *Nematoda*, на долю которого приходится 54,8±7,4% от общей численности в среднем по всем станциям, и отряд *Harpacticoida* (16,8±4,8%). Остальные таксоны встречаются спорадически. В таксоцене *Nema-toda* найдено 505 особей из 5 отрядов и 12 семейств. Качественно и количественно более богатое нематодное сообщество обнаружено на литорали о. Сидоров. В целом, во всех пробах массовыми являются представители семейств *Chromadoridae, Xyalidae* и *Enoplidae*. В исследованных пробах из подкласса Copepoda были встречены циклопы (1 экземпляр) и гарпактикоидные рачки - вторая руководящая группа мейобентоса, в которой доминантными видами являются *Huntemannia jadensis* и *Tachidius discipes*. Из псевдомейобентоса нами обнаружены 2 группы беспозвоночных животных - моллюски и кольчатые черви. Тип *Mollusca* (79 особей) представлен 2 классами *Bivalvia* (массовые виды - *Dacrydium vitreum*, *Mytilus edulis*) и Gastropoda (*Punctulum minutum*, *Hydrobia ulvae*, *Jeffreysina globularis*). В типе *Annelida* (67 особей) встречены классы *Polychaeta* и *Oligochaeta*. В эумейобентосе отмечены животные из класса *Turbellaria* (отряд *Acoela*). Стоит оговорить, что многие учёные не рассматривают тип *Foraminifera* как составляющую часть мейобентоса ввиду принадлежности данной группы к одноклеточным, однако в данной работе к мейофауне относятся и многоклеточные, и фораминиферы. Таким образом, в наших точках сбора 5,0±3,1% всего биоразнообразия приходится именно на данный таксон. Интересной находкой можно считать обнаружение трёх особей из типа Gnathostomulida в пробах со станции №4. К настоящему времени единственный известный вид на акватории Белого и Баренцева морей - это *Gnathostomula murmanica*.

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что на всей исследованной акватории располагается мейобентосное сообщество с выраженным доминированием нематод и гарпактикоидных копепод по численности. Остальные группы встречаются от случая к случаю и составляют существенно меньшие доли общего биоразнообразия. В целом, мейобентос должен рассматриваться как важный компонент экологических процессов, протекающих в морских экосистемах.

Список литературы

1) Гальцова В.В. Мейобентос в морских экосистемах (на примере свободноживущих нематод) // Тр. ЗИН АН СССР, 1991. – Т. 224. – 240 с.
2) Мокиевский В.О. Экология морского мейобентоса. – М.: КМК, 2009. – 286 с.
3) Mare M.F. A study of a marine benthic community with special reference to the micro-organisms // Marine Biological Association of the United Kingdom, 1942. – V. 25. – P. 517-554.
4) Remane A. Verteilung und Organisation der Benthonischen Mikrofauna der Kieler Bucht // Wissenschaft. Meeresunter, N. F., 1933. – Bd. 21. – H. 2. – S. 161 – 221.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ СТРУКТУРЫ ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Лифанчук А.В., Федоров А.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Южное отделение, г. Геленджик

lifanchuk.anna@mail.ru

Ключевые слова: фитопланктонное сообщество, Черное море, доминирующие виды, элементы минерального питания.

Структура фитопланктонного сообщества северо-восточной части Черного моря характеризуется сезонной и межгодовой сменой доминирующих видов в системе диатомовые водоросли - кокколитофориды. Данные полевых исследований показывают, что в северо-восточной части Черного моря весной доминируют мелкоклеточные диатомеи *(Chaetoceros curvisetus,Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima, Skeletonema costatum, Thalassionema nitzschioides)*, в конце весны - начале лета кокколитофорида *Emiliania huxleyi*, с середины июня - осень крупноклеточные диатомеи *(Proboscia alata и Pseudosolenia calcar-avis)*. Одни лишь полевые исследования не могут объяснить причин смены видов в течение годовой динамики, т.е. дать ответов на вопрос: почему те или иные виды становятся доминантами или субдоминантами в северо-восточной части Черного моря? Экспериментальные исследования с природной популяцией фитопланктона могут дать ответ на заданный вопрос. Экспериментальные исследования по влиянию концентраций элементов минерального питания на структуру природной популяции фитопланктона с целью определения причин доминирования тех или иных видов проводились с 2009 по 2014 гг. В качестве факторов среды были выбраны концентрации азота и фосфора. Так как район северо-восточной части Черного моря относится к мезотрофному типу и, следовательно, существенное значение имеют элементы минерального питания. Концентрация кремния находится в прибрежных водах на достаточно высоком уровне [1], поэтому она не рассматривалась как возможный регулятор.

При накопительном культивировании природного фитопланктона интенсивно развиваются виды, являющиеся субдоминантами и доминантами в сообществе.

Виды фитопланктона, доминирующие весной *(Chaetoceros curvisetus, Skeletonema costatum, Thalassionema nitzschioides и Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima)*, имеют малый объем клетки и при этом относительно высокие показатели отношения площади поверхности к объему. При высокой концентрации элементов минерального питания клетки растут с максимальной удельной скоростью роста, затем, при снижении концентрации элементов в среде, соотношение поверхности к объему становится принципиальным для успешной конкуренции за ресурсы. Результаты экспериментальных исследований с природной популяцией фитопланктона в марте 2012 г. показали, что добавки азота и фосфора не влияли на рост диатомей *S. costatum* и *P. pseudodelicatissima*. По-видимому, это следствие того что запасов этих элементов в среде достаточно для того, чтобы иметь нелимитированный рост. При этом соотношение азота и фосфора близко к соотношению Редфилда. Уже в апреле концентрация элементов минерального питания в поверхностных слоях снижается вследствие стратификации, и одновременная добавка азота и фосфора стимулирует рост мелкоклеточных диатомей. Соотношение азота и фосфора при одновременной добавке этих элементов близко к соотношению Редфилда. Таким образом, можно считать, что это соотношение является оптимальным для доминирующих видов диатомей весеннего комплекса.

Кокколитофорида *Emiliania huxleyi* демонстрирует интенсивный рост в конце весны и начале лета. При этом одновременная добавка элементов минерального питания или добавка одного фосфора способствует интенсивному росту водорослей. Уравнения регрессии показывают, что при одновременной добавке обоих элементов минерального питания, вклад фосфора в стимулирование роста кокколитофорид значительно превышает вклад азота. Соотношение азота и фосфора ниже соотношения Редфилда является оптимальным для роста кокколитофорид. Эти данные подтверждают ранее полученные результаты [2].

Рост мелкоклеточных диатомей в этот период невозможен из-за лимитирования, прежде всего, концентрацией азота. Кокколитофориды способны расти при низких концентрациях азота, что связано с более низкими значениями константы полунасыщения для поглощения азота. Согласно теории R-competition Тилмана [3] константа полунасыщения является ключевым параметром при определении способности вида конкурировать за данный элемент питания. Выигрывает конкуренцию вид, способный расти при более низких концентрациях ресурса.

В летний сезон развиваются крупноклеточные формы диатомей *(Proboscia alata и Pseudosolenia calcar-avis)*. Обычно эти виды не реагируют на изменение концентраций азота и фосфора в среде в тех пределах, которые использовались в экспериментах. Это связано с тем, что эти виды являются накопителями элементов питания. Благодаря большому объему клетки они имеют высокое содержание вакуолей [4]. По-видимому, в летнее время внутриклеточный запас достаточно высокий, что и позволяет доминантам этого сезона не реагировать на добавки элементов питания. Действительно, при цветении *P. calcar-avis* биомасса превышает 1 г/м^3 и в этом случае сумма внутриклеточных запасов азота (около 50 мкМ) и его концентрации в среде (свыше 1,5 мкМ) значительно превышает концентрацию после добавки в вариантах 2 (только азот) и 4 (азот и фосфор). В данном случае эффект добавки сравним с ошибкой эксперимента. Это и есть косвенные доказательства справедливости гипотезы накопления как основного механизма, позволяющего крупноклеточным диатомеям доминировать. Кроме того, во время цветения крупноклеточных диатомей отмечаются относительно высокие концентрации азота и низкие концентрации фосфора. Таким образом, соотношение азота к фосфору выше соотношения Редфилда необходимо для интенсивного роста крупноклеточных диатомей.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме № 0149-2019-0014.

Список литературы

1) Yakushev E.V., Arhipkin V.S., Antipova E.A., Kovaleva I.N., Chasovnikov V.K., Podymov O.I. Seasonal and interannual variability of hydrology and nutrients in the Northeastern Black Sea // Chemistry and Ecology. Vol. 23. 2007. P. 29-41.

2) Силкин В.А., Паутова Л.А., Микаэлян А.С. Рост кокколитофориды Emiliania huxleyi (Lohmann) of Hay et Mohler в северо-восточной части Черного моря, лимитированный концентрацией фосфора // Альгология. Т. 19, №2. 2009. С. 135-144.

3) Tilman D., Kilham S.S., Kilham P. Phytoplankton community ecology: the role of limiting nutrients // Annual Review of Ecology and Systematics. Vol. 13. 1982. P. 349-372.

4) Redfield A.C. The biological control of chemical factors in the environment // Am Sci. Vol. 46. 1958. P. 205-222.

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОРГАНАХ МОРСКОГО ЕРША В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ МОРСКОЙ АКВАТОРИИ

Малахова Л.В.[1], Лобко В.В.[1], Скуратовская Е.Н.[1], Шилова Ю.Б[2].

[1]Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь

[2]ГБОУ ЦДО "Малая академия наук", г. Севастополь

lobkoveronika@gmail.com

Ключевые слова: полихлорированные бифенилы, ДДТ, жабры, печень, морской ерш, Севастопольская морская акватория.

Хлорорганические соединения (ХОС), к которым относятся полихлорбифенилы (ПХБ) и хлорорганические пестициды (ХОП), являются наиболее опасными загрязнителями морской среды. ХОС обладают чрезвычайной токсичностью для гидробионтов, даже при незначительных концентрациях они могут вызвать хронические заболевания, в том числе злокачественные образования и нарушения в репродуктивной функции организмов. Несмотря на запрещение в большинстве стран производства и использования ХОС, они по-прежнему загрязняют акваторию Чёрного моря, попадая в прибрежные воды с речным стоком, с выпусками сточных вод, со сбросами в районах дампинга, с атмосферными выпадениями. ХОС являются не природными соединениями, поэтому их обнаружение в экосистемах указывает на наличие антропогенных источников загрязнения. Уровни загрязненности ХОС в компонентах экосистемы Севастопольской морской акватории могут служить индикатором антропогенного воздействия. В качестве объекта исследования был выбран морской ёрш (скорпена) *Scorpaena porcus* (L.), обычный вид для донной прибрежной ихтиофауны Черного моря. Целью работы было сравнение концентраций ХОС в мышцах, гонадах, печени и жабрах ерша, выловленного в шести пяти бухтах с различным антропогенным воздействием: Александровской, Балаклавской, Казачьей, Стрелецкой, Ласпи и в открытой прибрежной акватории поселка Любимовки.

Рыб отлавливали в 2016-2018 гг. Для определения индивидуальных особенностей в накоплении ХОС в каждом районе были отобраны самки и самцы с одинаковыми размерами 16-17 см. После препарирования печень, жабры, гонады и белые мышцы герметично упаковывали, замораживали и хранили до анализа при температуре -20°С.

Определение содержания ХОС в органах ершей проводили в соответствии с методикой МВИ М.Н.2352-2005 на газовом хроматографе Хроматэк Кристалл 5000 с ЭЗД в ЦКП «Спектрометрия и Хроматография» ФГБУН ИМБИ. В пробах определяли содержание α-, β-, γ-изомеров гексахлорциклогексана (ΣГХЦГ), гексахлорбензола (ГХБ) п,п'-ДДТ и его метаболитов п,п'-ДДЭ и п,п'-ДДД (далее - ΣДДТ), а также шести индикаторных конгенеров ПХБ: 28, 52, 101, 138, 153, 180 ($\Sigma ПХБ_6$), рекомендованных Международным советом по изучению моря (ICES) для мониторинга загрязненности морских экосистем. Концентрация ХОС представлена на сырую массу образцов. В органах ершей также определяли концентрацию экстрагируемых липидов гравиметрическим методом.

Результаты показали, что во всех пробах определены ДДТ и его метаболиты ДДЭ и ДДД, а также шесть конгенеров ПХБ. В 100% образцов печени также обнаружены ГХЦГ и ГХБ. Распределение ХОС в органах отличалось значительной неоднородностью. В основном они накапливались в тканях таких органов с высоким содержанием липидов, как печень, средний показатель жирности которой в исследованных пробах составил 24,51% сырой массы. В мышцах ершей среднее содержание жиров было равно 0,59, в гонадах - 1,59, жабрах - 2,07%.

Концентрация ΣПХБ$_6$ превышала содержание ХОП во всех районах, что свидетельствовало о преобладании в исследуемых акваториях промышленного загрязнения над сельскохозяйственным. Значительные различия были обнаружены между концентрацией ХОС в мышцах и печени. Концентрация ΣДДТ изменялась от 0.42 в мышцах до 655 нг·г$^{-1}$ в печени, ΣПХБ$_6$ - от 6.42 до 3873 нг·г$^{-1}$ соответственно. Между концентрациями ПХБ в печени самок и самцов обнаружены существенные различия: у самцов в печени содержание поллютантов было выше, чем у самок в каждом районе исследования, что свидетельствует о возможных различиях в механизмах накопления и биотрансформации ксенобиотиков в гепатоцитах разнополых рыб. Максимальное содержание как ΣПХБ$_6$, так и ΣДДТ определено в печени самцов ершей в бухте Стрелецкой. В целом содержание ХОС увеличивается в ряду мышцы, гонады, жабры, печень. Неравномерность распределения липофильных ХОС в органах особей мы в первую очередь связываем с различием в них показателя жирности, что подтверждается достоверной положительной корреляцией между содержанием липидов в органах и средней концентрацией ΣДДТ (r=0.81), ΣПХБ$_6$ (r=0.57), ΣГХЦГ (r=0.71) и ГХБ (r=0.80). В ершах исследованных районов достоверной разницы в содержании липидов не выявлено, поэтому различие в содержании ХОС между бухтами и открытыми районами не связано с этим фактором, а определяется отличающейся загрязненностью акваторий. В районах с высокой концентрацией ХОС в донных отложениях, к которым относятся Александровская, Стрелецкая и Балаклавская бухты, зафиксировано наибольшее содержание всех ХОС, минимальные уровни загрязненности ΣПХБ$_6$, ΣГХЦГ и ГХБ определены в бухте Ласпи, ΣДДТ - в бухте Казачьей.

Сравнение уровня загрязненности в рыбах с ПДК, равной для ΣПХБ 2000 нг·г$^{-1}$, а для ХОП - 200 нг·г$^{-1}$, учитывает оценку риска употребления рыбы для человека. По сумме ПХБ токсический предел по ПДК превышен почти в 2 раза в печени самцов в бухте Стрелецкой и в 1.1 раз - в печени самцов в бухте Александровской, по ΣДДТ - в 3 раза в печени самцов в бухте Стрелецкой и в 1.5 раза - в Балаклавской. Такие значительные уровни накопления ХОС в ершах являются отражением продолжающегося поступления токсикантов в среду их обитания. Очевидно, что акватории Стрелецкой, Александровской и Балаклавской бухт более загрязнены, чем Казачья бухта и открытые акватории.

Результаты показали значительные индивидуальные отличия в содержании ХОС в органах ершей. К факторам, отвечающим за накопление ХОС в тканях рыб, следует отнести физиологическую функциональность органов, их жировую составляющую, половую принадлежность особей и уровень загрязненности среды обитания.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ по темам «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (номер гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2) и «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (номер АААА-А18-118020890074-2).

МАКРО И МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В РАСТИТЕЛЬНОЯДНОМ ЗООПЛАНКТОНЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ: СВЯЗЬ С СОСТАВОМ СООБЩЕСТВА

Лобус Н.В.

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

lobus.nikolay@gmail.com

Ключевые слова: Арктика, химический состав зоопланктона, биоаккумуляция.

В последние два десятилетия море Лаптевых интенсивно исследовалось и в настоящее время является достаточно хорошо изученным районом арктического шельфа. Однако целый ряд аспектов биогеохимической структуры экосистемы пелагиали моря остается малоизученным. В частности, полностью отсутствуют данные о химическом составе организмов планктона и их роли в аккумулировании макро и микроэлементов из окружающей среды. Понимание специфики процессов биоаккумуляции химических элементов важно для прогнозирования их биогеохимической судьбы в поверхностных водах Арктики и для оценки состояния морских экосистем в условиях меняющегося климата и возрастающей антропогенной нагрузки [1]. Целью работы было изучение химического состава растительноядного зоопланктона, обитающего на мелководном шельфе и в области континентального склона моря Лаптевых и выявление связи содержания макро и микроэлементов с составом сообщества.

Работы были выполнены в сентябре 2015 г. в 63-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» вдоль 130° в.д. от дельты Лены до континентального склона моря Лаптевых. Сбор проб зоопланктона осуществлялся сетью Джеди в процессе вертикального лова. Видовой состав, численность и биомасса определялись по стандартной методике [2]. Предварительная подготовка и химический анализ проб выполнен по ранее опубликованным методикам [3, 4].

Структура и функционирование экосистемы пелагиали моря Лаптевых, как и других морей Сибирской Арктики, в значительной степени находится под влиянием речного стока [1]. В сентябре 2015 года его воздействие на сообщество мезозоопланктона проявлялось в четко выраженной кросс-шельфовой зональности смены доминирующего комплекса видов. По мере удаления от берега и ослабления влияния пресного стока происходила замена солоноватоводных видов на шельфово-неретические и далее морские глубоководные [2]. Наряду с этим, гетерогенность среды, образующаяся под воздействием речного стока, определяет формирование специфических биогеохимических условий, которые должны отражаться на химическом составе живых организмов [5]. Однако анализ полученных данных показал, что зональные различия в накоплении установлены лишь для 4 (Li, Zn, As, U) из 56 проанализированных нами макро и микроэлементов, то есть химический состав растительноядного зоопланктона моря Лаптевых вдоль изученного разреза практически не зависел от смены доминирующего комплекса видов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №18-77-00064).

Список литературы

1) Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития / Отв. редакторы: Х. Кассенс, А.П. Лисицын, Й Тиде и др. – М.: Изд-во МГУ. 2009. 608 с.

2) Арашкевич Е.Г., Дриц А.В., Пастернак А.Ф. и др. Распределение и питание растительноядного зоопланктона в море Лаптевых // Океанология №3 (58). 2018. С. 404-419.

3) Лобус Н.В. Элементный состав зоопланктона Карского моря и заливов восточного побережья Новой Земли // Океанология №6 (56). 2016. С. 890-900.

4) Лобус Н.В., Дриц А.В., Флинт М.В. Концентрирование химических элементов доминирующими видами копепод в эстуарии реки Обь и на прилежащем шельфе Карского моря // Океанология №3 (58). 2018. С. 431-442.

5) Демина Л.Л. Количественная оценка роли живого вещества в геохимической миграции микроэлементов в океане // Геохимия №3. 2015. С.234-251.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАНА В ЭВФОТИЧЕСКОМ СЛОЕ ПРИКРЫМСКОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ 102 РЕЙСА НИС "ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ"

Малахова Т.В.[1], **Мансурова И.М.**[1], **Заговенкова А.Д.**[2]

[1]*Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь;*

[2]*МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

t.malakhova@imbr-ras.ru

Ключевые слова: метан, хлорофилл "a", Черное море.

Метан является одним из наиболее важных парниковых газов, теплоёмкость которого в 20 раз превышает теплоёмкость CO_2. За последние 200 лет атмосферная концентрация метана возросла в 2 раза и продолжает увеличиваться со скоростью 0,01 ppmv/год [1]. Не смотря на то, что по современным представлениям вклад океанов в глобальный бюджет атмосферного метана составляет около 0.3-2.8% от всех источников, эти оценки все еще имеют высокую степень неопределенности из-за больших пространственных и сезонных колебаний.

Среди внутренних морей Черное море является одним из самых мощных метановых резервуаров [2]. Источниками метана в нем являются как микробная продукция в донных осадках и водной толще, так и струйные метановые газовыделения, широко распространенные вдоль всего черноморского шельфа. Наличие в Черном море мощной аноксической зоны обусловило высокие скорости микробной продукции в толще воды глубже редоксзоны [2]. При этом было показано, что метан анаэробной зоны практически не проникает в кислородсодержащую водную толщу, поскольку скорости его анаэробного окисления выше скорости продукции. В связи с этим рядом исследователей был сделан вывод, что именно процессы образования метана в аэробной водной толще определяют поток метана в атмосферу с глубоководной акватории Черного моря [2].

Цель работы состояла в оценке пространственной структуры распределения метана в эвфотической зоне северной части Черного моря.

Исследования проводили в 102 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (июнь-июль 2018 г.) в северной части Черного моря. Концентрацию CH_4 в поверхностном слое воды определяли на 114 станциях, на 53 из которых также было определено содержание CH_4 на различных горизонтах эвфотического слоя (до 50 м). Содержание CH_4 измеряли методом фазово-равновесной дегазации [3] на газовом хроматографе HP 5890 с набивной колонкой и пламенно-ионизационнным детектором. Ошибка определения метана не превышала 7%.

Концентрация растворенного в поверхностной воде CH_4 для всех станций изменялась в диапазоне от 0 до 39 нмоль/л. Пространственная структура распределения имела мозаичный тип.

Известно, что на относительно неглубоких шельфовых станциях на структуру вертикального распределения метана значительную роль могут оказывать его потоки из донных осадков. В связи с этим для оценки закономерностей вертикального распределения метана все исследованные станции были разбиты на 2 условные группы: глубина которых достигала анаэробной зоны (σ_t>16,2) и станции открытого шельфа (σ_t<16,2). В первую группу попали 25 станций с глубинами от 161 до 2110, во вторую - 21 станция с глубинами от 28 до 140 м.

Также как и в предыдущих исследованиях нами был обнаружен концентрационный подповерхностный максимум CH_4: в первой группе на 68% станций, во второй - на 33%, при этом в среднем на шельфовых станциях наблюдался рост концентрации от поверхности ко дну. Максимум содержания метана располагался на глубинах от 20 м до 40 м

и достигал 132 нмоль/л. На нескольких станциях в северо-восточной части Черного моря были обнаружены аномально высокие концентрации метана, достигающие у дна 269 нмоль/л. Вероятно, такие концентрации метана в придонных горизонтах водной толщи связаны с поступлением метана из сипов, широко распространенных в районе палео-русла Днепра [4].

Известно, что появление метана в воде может быть связанно с деструкцией различных метилированных молекул, содержащихся в растворенном органическом веществе, а также продуктах метаболизма нескольких видов фитопланктона. Ранее по данным 96 рейса НИС «Профессор Водяницкий» нами была показана связь между содержанием метана и концентрацией хлорофилл "a" (Chl-a) в воде Черного моря, и установлено, что концентрации обоих показателей увеличивались от поверхности ко дну [5]. Но т.к. исследования были проведены в прибрежном районе, где глубины станций не превышали 50 м, повышенные концентрации CH_4 в придонном слое могли быть также связаны с диффузией из донных отложений.

Напротив, в июне 2018 г. в вертикальном распределении Chl-a так же, как и для CH_4, наблюдался подповерхностный максимум, достигающий 3,51 мг/м^3. Такое распределение Chl-a обнаружено как для шельфовых, так и для глубоководных станций. Показано, что характер распределения CH_4 и Chl-a в толще воды эвфотической зоны Черного моря качественно совпадает.

Работа подготовлена по темам государственного задания ФГБУН ИМБИ "Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем" (номер гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2) и «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (номер гос. регистрации АААА-А18-118021490093-4).

Список литературы

1) Saunois, M., Bousquet, P., Poulter, B. et al. The global methane budget 2000–2012. Earth Syst. Sci. Data 8, 2016. P. 697–751.

2) Леин А. Ю., Иванов М. В. Биохимический цикл метана в океане / отв. ред. А.П. Лисицин; Ин-т микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН. – М.: Наука. 2009. – 576 с.

3) Большаков А.М., Егоров А.В. Об использовании методики фазово-равновесной дегазации при газометрических исследованиях // Океанология. - 1987. - 27. - № 5. - С. 861-862.

4) Егоров В. Н., Артемов Ю. Г., Гулин С. Б. Метановые сипы в Черном море: средообразующая и экологическая роль / ИнБЮМ НАНУ, Под ред. Г. Г. Поликарпова./ – Севастополь. – НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. – 405 с.

5) Малахова Т.В., Мансурова И.М. Зависимость между метаном и хлорофиллом-а в воде эвфотической зоны шельфа Черного моря // ЭКОБИО–2018: Экобиологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами : сб. материалов V науч.-практ. молодежной конф., Севастополь, 8–11 октября 2018 г. Севастополь : Филиал МГУ в г. Севастополе, 2018. С. 183-186.

СТЕПЕНЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ РАЗЛИЧИЙ СИМПАТРИЧЕСКИХ МИДИЙ MYTILUS EDULIS L. И M. TROSSULUS GOULD МЕНЯЕТСЯ В ГЕОГРАФИЧЕСКОМ МАСШТАБЕ

Марченко Ю.Т.[1], **Хайтов В.М.**[1,2], **Католикова М.В.**[3], **Стрелков П.П.**[1]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,*

[2]*Кандалакшский государственный природный заповедник, г. Кандалакша,*

[3]*Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск*

yuliya1992gridina@mail.ru

Ключевые слова: гибридная зона, M. edulis, M. trossulus, биотопические различия, морфология раковины, generalized linear mixed model.

Мидии Mytilus - массовые беспозвоночные прибрежий северных морей, объекты промысла и марикультуры, модельные объекты в морской биологии. В водах Кольского полуострова (Белое, Баренцево моря) сосуществуют и формируют гибридную зону два вида мидий - M. edulis (ME) и M. trossulus (MT) [1]. Будучи древними эволюционными линиями, два вида похожи морфологически и традиционно различаются по молекулярно-генетическим признакам. Данные об их экологических и морфологических отличиях противоречивы и недостаточны. Недавно выяснили, что в Белом море у большинства (80%) MT на внутренней стороне створок раковины под лигаментом отсутствует перламутровый слой и выражена узкая полоска призматического слоя раковины (T-морфотип), в то время как у 97% ME этот признак отсутствует (E-морфотип). Также в Белом море ME и MT демонстрируют четкие биотопические различия: MT преимущественно встречается на макрофитах (литоральные фукоиды), а ME - на грунте. Межвидовые гибриды, численность которых относительно невелика (≈20%), морфологически и экологически подобны тому виду, чьих генов в их генотипе больше [2]. В Баренцевом море о морфологических и экологических различиях двух видов ничего не известно. В работе мы ищем ответ на вопрос: являются ли морфологические и экологические различия ME и MT, выявленные в Белом море, стабильными в популяциях Кольского полуострова.

В работе использованы сборы мидий из Кандалакшского залива Белого моря (13 выборок из работы [2], из них три выборки включают субвыборки с грунта и с макрофитов) и собственные сборы из Кольского залива Баренцева моря и сопредельных районов открытого побережья (13 выборок, из них 7 включают субвыборки с разных субстратов). Мидии были генотипированы по 3-4 «таксономическим» ядерным локусам, вклад генов ME и MT в генотипы был определен с помощью метода Structure, как в [2]. Длину раковины определяли при помощи штангенциркуля с точностью 0,1 мм. Термогалинный режим Белого и Баренцева морей различается, однако и в Кандалакшском и в Кольском заливах выражены градиенты солёности (10- 25 и 10-34 ‰, соответственно). Структура данных позволяет проанализировать проявление признака отсутствия/наличия полоски перламутрового слоя под лигаментом на внутренней стороне створок раковины во всем диапазоне солености в двух заливах. Связь между субстратом и генотипом в Баренцевом море тестируема только для выборок из вод высокой солености. При статистической обработке данных были построены обобщённые линейные модели со случайными факторами (GLMM, generalized linear mixed model) в среде статистического программирования R [3].

Как в Белом, так и в Баренцевом морях, вероятность иметь T-морфотип выше у MT, чем у ME, однако в Баренцевом море степень морфологических различий между видами варьируется в зависимости от солености. В то время как в опресненных (<25 ‰, т.е. соленость, как в Белом море) водах Кольского залива степень морфологических различий

ME и MT такая же, как в Белом море, то в местах с соленостью, близкой к океанической, ME «приобретает» T-морфотип, что делает определение видовой принадлежности мидий по раковине невозможным. Возможно, это отражает пластичность ME в отношении солёности и (или) коррелированных факторов, в первую очередь кислотности. Внутренний, перламутровый слой раковины считается наиболее уязвимым при подкислении [4]. Вероятно, в таких условиях ME наращивает перламутр для увеличения прочности раковины, а MT - нет. Подобные различия между видами в способности реагировать на факторы среды увеличением толщины раковины отмечались в литературе [5].

Как в Белом, так и в Баренцевом морях, в литоральных поселениях ME чаще можно встретить на грунте, а MT- на макрофитах. Однако эта связь в Баренцевом море выражена слабее, чем в Белом (различия в частотах MT на макрофитах и грунте составляют 40% в Белом море и 5% в Баренцевом). Возможно, географические различия связаны с отсутствием в местах сбора баренцевоморского материала морских звезд Asterias rubens (наши наблюдения). В Белом море было показано, что морские звезды избирательно выедают MT, для которых плавучий субстрат - водоросли могут быть убежищем от хищника [6].

Степень проявления морфологических (наличие/отсутствие полоски перламутрового слоя под лигаментом на внутренней стороне створок раковины) и экологических (преимущественный субстрат обитания MT - макрофиты, ME - грунт) различий ME и MT варьируется в пределах Кольского берега и, вероятно, зависит от абиотических и биотических условий обитания.

Работа выполнена при поддержке следующих проектов: «Динамика морских гибридных зон (на примере комплексов Mytilus edulis и Macoma balthica)» (№ 13-04-00394, РФФИ-а), «Эволюция в постгляциальных морях: ретроспективный анализ морских популяций по молекулярно-генетическим данным» (№ 1.38.253.2014, НИР СПбГУ, Мероприятие 2), "Морские виды, объекты промысла и марикультуры, в условиях гибридизации и клональных раковых инфекций" (№ 19-74-20024, РНФ).

Список литературы

1) Vainola R., Strelkov P. P. Mytilus trossulus in Northern Europe // Marine Biology. - 2011. - Vol. 158, № 4. - P. 817–833.

2) Katolikova M. et al. Genetic, ecological and morphological distinctness of the blue mussels Mytilus trossulus Gould and M. edulis L. in the White Sea // Plos one. - 2016. - Vol. 11, № 4. –URL: e0152963.

3) Zuur A. F. et al. Mixed effects models and extensions in ecology with R // Statistics for biology and health. NewYork, Springer, 2009.

4) Melzner F. et al. Food supply and seawater pCO2 impact calcification and internal shell dissolution in the blue mussel mytilus edulis // Plos one. - 2011. - Vol. 6, № 9. –URL: e24223.

5) Lowen J.B. et al. Predator-induced defenses differ between sympatric Mytilus edulis and M. trossulus // Marine Ecology Progress Series. – 2013. - Ser 475. – P. 135-143.

6) Khaitov V. et al. Discriminating Eaters: Sea Stars Asterias rubens L. Feed Preferably on Mytilus trossulus Gould in Mixed Stocks of Mytilus trossulus and Mytilus edulis L. // Biol Bull. – 2018. – Vol. 234. – P. 85-95.

ЦВЕТЕНИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ВОДАХ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ В ИЮЛЕ 2018Г.

Мельник А.С.[1,2], **Ежова Е.Е.**[1]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Балтийский Федеральный университет имени Иммануила Канта, г.Калининград*

AnastassizaHabar@rambler.ru

Ключевые слова: фитопланктон, цветения микроводорослей, цианобактерии, Балтийское море.

В третьей декаде июля 2018 наблюдалась мощное цветение фитопланктона в Балтийском море, захватившее обширные площади в открытых водах и в центральной части моря, а также прибрежной зоне Юго-Восточной Балтики.

Спутниковые данные (Аква-MODIS, Landsat 8-OLI) для российской экономической зоны за 23 июля свидетельствуют об очевидных проявлениях цветения на акватории российской ИЭЗ, за исключением прибрежной зоны вдоль западного побережья Самбийского п-ва, где спутниковые данные отсутствуют [1-2]. Данные за 26 июля демонстрируют очевидное или вероятное цветение в мористой части ИЭЗ РФ, но данные для территориальных вод (прибрежной зоны) отсутствуют. В сопредельных территориальных водах Польши, в Гданьском заливе в эти даты, в частности, было запрещено купание на пляжах ввиду выявленной токсичности в связи с цветением цианобактерий. В российских в прибрежных водах, в т.ч. в рекреационных участках, также наблюдалось выраженное поверхностное цветение цианобактерий, однако сведения о возможной опасности вод для населения отсутствовали, поскольку официальный мониторинг ситуации цианобакериальных и других цветений фитопланктона в Калининградской области не проводится. Сведения об опасности цветения микроводорослей является важным звеном в оценке качества санитарного состояния зон отдыха и рекреации в Калининградской области. И отсутствие этих данных влечет за собой ряд вопросов связанных с влиянием этого явления на здоровье населения и жизнедеятельность морской биоты.

Материалы собраны в третьей декаде июля 2018 г. в прибрежном глубоководном районе над Гданьской впадиной и в наиболее мористом участке ИЭЗ над южным склоном Готландской впадины, а также в середине августа 2018 г. в мелководной прибрежной зоне северного и западного побережья Самбийского п-ва. Оба наблюдения и пробоотбора проходили в зоне проявления обширного цветения микроводорослей. Материалы прямых наблюдений и результаты обработки проб фитопланктона дают возможность восполнить пробел в спутниковых данных по летнему цветению цианобакетрий в Балтийском море для российской экономической зоны и территориальных вод в Юго-Восточной Балтике.

В августе работы проводились на станциях с глубинами 9-32 м. Прозрачность воды по диску Секки была низкой и варьировала от 1.5 м до 5.5 м. Наибольшая прозрачность воды отмечена на глубинах более 30 метров, при этом поверхностных скоплений фитопланктона в воде не отмечено. Гидрометеорологическая ситуация характеризовалась ветровым волнением слабой силы. При приближении к берегу на глубинах 9-18 м отмечены поверхностные скопления фитопланктона разной плотности; наибольшие - в районе мелководной зоны западного побережья Самбийского полуострова вблизи Балтийского пролива. Здесь наблюдалась ситуация полного штиля при солнечной погоде, поверхностные проявления микроводорослей отмечены в виде обширных пятен с явно различимыми конгломератами колониальных цианобактерий. Т.о. мелководные (до 18

м) прибрежные участки вдоль западного побережья Самбийского п-ва в третьей декаде августа характеризовались выраженным поверхностным цветением в отличие от более глубоких участков прибрежной зоны. Это связано как с большей степенью прогрева вод, так и, вероятно, дополнительным снабжением биогенными элементами из муниципально-бытовых стоков курортных городов.

При микроскопировании пробы воды в лаборатории установлено, что «цветение» воды вызвано, в основном, токсичной цианобактерией *Nodularia spumigena*, присутствовали также колонии *Anabena sp. , Merismopedia sp.*

В прибрежном районе над Гданьской впадиной, так же как и над южным склоном Готладской впадины, на различных станциях отмечено поверхностное цветение - скопления клеток, отчетливо заметны на поверхности воды, либо подповерхностное - видимые глазом скопления клеток на поверхности не отмечены или немногочисленны, но концентрация цианобактерий в горизонте 0-20 м велика и намного превышает таковую в более глубоких горизонтах. Визуально отмечали проявления цианобактериального цветения с преобладанием колоний *Nodularia spumigena, Planktothrix sp., Aphanizomenon flos-aquae*. При микроскопировании в живой капле из районов цветения отмечены многочисленные мертвые особи организмов зоопланктона, что может быть следствием присутствия цианотоксинов, в частности, нодулярина, в воде.

Продолжающееся более 1,5 месяцев «цветение» воды, вызванное нодулярией, является следствием комплекса благоприятных для данных видов условий, сложившихся в Балтийском море в июле-августе - длительный период экстремально жаркой безветренной погоды. Содержание микроцистинов и нодуляринов не было измерено, однако структура фитопланктона и прямые наблюдения очевидного доминирования нодулярии в поверхностном горизонте водной толщи, позволяют с уверенностью заключить, что вода также содержала нодулярины. Следует безотлагательно внедрять экспресс мониторинг содержания нодуляринов в прибрежных водах в рекреационных участках и наладить информирование населения в случае их опасных концентраций в летний период.

Список литературы

1) Summer Blooms in the Baltic and Barents [Электронный ресурс]. 2018. Дата обновления 20.07.2018. URL:https://earthobservatory.nasa.gov/images/92462/summer-blooms-in-the-baltic-and-barents(дата обращения 18.01.2019)
2) Satellite observations [Электронный ресурс]. 2018. Дата обновления 15.01.2019. URL:https://www.syke.fi/en-US/Open_information/Satellite_observations(дата обращения 18.01.19)

СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА GYRODACTYLUS (PLATYHELMINTHES: MONOGENEA) – ПАРАЗИТОВ МОРСКИХ РЫБ В ЧЕРНОМ И АЗОВСКОМ МОРЯХ

Прохорова Д.А., Водясова Е.А.

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

daryastafev@gmail.com

Ключевые слова: Gyrodactylus, Чёрное море, Азовское море, генетическая изменчивость.

Род *Gyrodactylus* von Nordmann, 1832 включает около 450 видов [1] - главным образом, это паразиты жабр, кожи и плавников рыб. Биология и экология представителей этого рода хорошо изучены, т.к. ряд видов являются возбудителями опасных заболеваний рыб в естественной среде и аквакультуре [2].

Наиболее изучаемый вид гиродактилюсов - *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 в связи с его катастрофическим воздействием на молодь лосося в реках северной Европы и огромный экономический ущерб, нанесенный им аквакультуре этих стран [3]. Именно для этого вида был получен единственный реконструированный полный геном этого рода и ему принадлежат около 60% исследованных генов, размещённых в генетическом банке данных NCBI по роду *Gyrodactylus*. Всего около 4000 фрагментов ядерных и митохондриальных генов приблизительно 200 видов и sp., идентифицированных как представители этого рода, представлены в GenBank NCBI.

При этом результаты молекулярных исследований гиродактилюсов из Черного моря представлены единственной последовательностью фрагмента ITS1-5.8S-ITS2 рДНК для одной особи *Gyrodactylus bubyri* Osmanov, 1965. Кроме этого вида в Черном и Азовском морях известно еще 13 видов: *G. alviga* Dmitrieva et Gerasev, 2000; *G. atherinae* Bychowsky, 1933; *G. arcuatus* Bychowsky, 1933; *G. crenilabri* Zaika, 1966; *G. flesi* Malmberg, 1957; *G. harengi* Malmberg, 1957; *G. leopardinus* Dmitrieva et Skidan, 2005; *G. mugili* Zhukov, 1970; *G. mulli* Gerasev, Dmitrieva, 2005; *G. proterorhini* Ergens, 1967; *G. rarus* Wegener, 1910; *G. sphinx* Dmitrieva et Gerasev, 2000 и *G. zhukovi* Ling, 1962. Из них 4 вида встречаются также в Баренцевом, Норвежском, Северном и Балтийском морях; 2 - виды вселенцы из Японского моря, паразиты кефали пиленгас; 2 вида известны еще из Средиземноморского бассейна и 1 вид - из Каспия; 5 видов найдены только в Черном и Азовском морях, и 1 из них недавно вселился в Балтийское море. Кроме того, *G. harengi* зарегистрирован у атлантического побережья Канады. Все эти виды не изучены в отношении их генома в Азово-Черноморском регионе и только для четырех из вышеперечисленных видов имеются молекулярно-генетические данные из других морей. Так, 20 последовательностей фрагментов ДНК размещены в Генбанке NCBI для особей *G. arcuatus* из Балтийского моря; 8 последовательностей имеется для *G. rarus* и 3 для *G. flesi* из Балтики и Норвежского моря; 5 - для *G. harengi* из Северо-западной Атлантики. Все секвенированные фрагменты относятся к рибосомальному кластеру ядерной ДНК, данные по митохондриальному геному для этих видов отсутствуют.

Анализ литературы показал, что около 30 праймеров успешно использованы для получения фрагментов митохондриального генома участка «NCR-cox3-nad1-cox1-cox2-nad5» и «tRNA-Trp-CO1-tRNA-Thr» и участков ядерного генома «18S-ITS1-5,8-ITS2-28S» и ADNAM1 [3, 4] для 8 видов получен полный митохондриальный геном [5] и около 40 микроРНК для *G. salaris* [6].

В то же время молекулярно-генетическая идентификация видов *Gyrodactylus* по-прежнему остается методической проблемой, т.к. данный род отличается высокой скоростью дивергенции, и разные гены эволюционируют с разной скоростью. В результате на основе различных последовательностей получаются существенно отличающиеся филогенетические реконструкции. На сегодня имеется только один реконструированный полный геном - *G. salaries* и при этом нет надежных генетических маркеров даже для решения вопроса о самостоятельности этого вида и близкого к нему *G. thymalli* Zitnan, 1960 [6]. Таким образом, поиск новых маркерных генов для видовой идентификации и изучения популяционной структуры представителей рода *Gyrodactylus* остается актуальной задачей.

Работа выполнена в рамках гос. задания 0828-2018-0002 (AAAA-A18-118020890074-2).

Список литературы

1) Shinn A.P., Harri, P.D., Cabl, J., Bakk, T.A., Paladin, G., Bron, J.E. Editors. 2010. GyroDb. World Wide Web electronic publication. www.gyrodb.net, version (06/2010).

2) Bakke T.A., Cable J., Harris P.D. The biology of gyrodactylid monogeneans: the "russian-doll killers" // Advances in parasitology. –V. 64 – P. 162–330.

3) Mieszkowska A., Górniak M., Jurczak-Kurek A., Ziętara M.S. 2018. Revision of Gyrodactylus salaris phylogeny inspired by new evidence for Eemian crossing between lineages living on grayling in Baltic and White sea basins // PeerJ. – 2018. – 6 : e5167. https://doi.org/10.7717/peerj.5167.

4) Kuusela J., Ziętara M.S., Lumme J. Description of three new European cryptic species of Gyrodactylus Nordmann, 1832 supported by nuclear and mitochondrial phylogenetic characterization // Acta Parasitologica. – 2008. – 53(2). - P. 120-126.

5) Vanhove M. P. M., Briscoe A. G., Jorissen. M. W. P., Littlewood D. T. J., Huyse T. The first next-generation sequencing approach to the mitochondrial phylogeny of African monogenean parasites (Platyhelminthes: Gyrodactylidae and Dactylogyridae) // BMC Genomics. – 2018. – 19 : 520. https://doi.org/10.1186/s12864-018-4893-5

6) Fromm B., Burow S., Hahn C., Bachmann L. MicroRNA loci support conspecificity of Gyrodactylus salaries and Gyrodactylus thymalli (Platyhelminthes: Monogenea) // International Journal for Parasitology. – 2014. – 44. – P. 787–793.

СПОСОБНОСТЬ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ FUCUS VESICULOSUS К ОЧИСТКЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Салахов Д.О.

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Мурманск

Salahov04@yandex.ru

Ключевые слова: fucus vesiculosus, накопление, тяжелые металлы, свинец, мышьяк, Баренцево море.

В современной науке накоплен обширный фактический материал о воздействии тяжелых металлов на морские макрофиты. Большинство исследователей рассматривает фукусовые водоросли, доминирующие на литорали арктических морей, как объекты мониторинга, способные улавливать изменения в содержании тяжелых металлов в морской среде. Известна способность водорослей-макрофитов накапливать тяжелые металлы (ТМ) в концентрациях в 1000-10000 раз больше по сравнению с их содержанием в воде [1].

О способности водорослей «удерживать» накопленные ТМ сведений в литературе значительно меньше, и большая их часть носит гипотетический характер.

Объектом исследования являлись литоральные водоросли *Fucus vesiculosus* Linnaeus, 1753. Данный вид водорослей доминирует среди фукусовых водорослей Баренцева моря, обладает широким диапазоном толерантности к факторам внешней среды, антропогенной нагрузке [2].

Целью исследования являлось определение возможной роли *F.vesiculosus* в очистке морской среды от ТМ.

Эксперименты проводили лаборатории ММБИ в термостатированном прилавке при постоянном освещении 16-18 Вт/м^2 и температуре 6-8 °С, с постоянной аэрацией. Талломы *F.vesiculosus* в возрасте 2-3 лет (4-6 дихотомических ветвлений), предварительно адаптированные к искусственным условиям среды, очищали от обрастателей, взвешивали на аналитических весах и помещали в стеклянные емкости, содержащие 2,5 литра морской воды солёностью 35‰. В емкости вносили 10 мг/л нитрата свинца, либо арсената натрия.

Эксперимент состоял из 2 частей:

1. Задача первой части: анализ сорбционной способности водорослей. Длительность опыта составляла 10 суток. После опыта у водорослей анализировали содержание ТМ и фотосинтетическую активность. Параллельно определяли концентрацию свинца и мышьяка в воде с растениями и без них.
2. Задачей второй части было определение способности водорослей удерживать ТМ. Для этого растения, с накопленными в ходе первой части эксперимента металлами, помещали в чистую воду на 5 суток. Анализировали содержание ТМ в водорослях и в воде, а также фотосинтетическую активность растений.

Концентрацию ТМ в воде измеряли методом атомно-абсорбционной спектрометрии на базе ЦЛАТИ по Мурманской области (г. Мурманск). В водорослях - методом атомно-абсорбционной спектрометрии на базе ЦСМ по Мурманской области (г. Мурманск).

Интенсивность фотосинтеза определяли скляночным методом в кислородной модификации [3].

За 10 дней первой части эксперимента концентрация свинца в воде в присутствии водорослей снизилось с 10 мг/л до 0,22мг/л; мышьяка - с 10 мг/л до 1,29 мг/л. При этом

отмечалось увеличение содержания свинца в фукусе с 0,13 мг/кг до 244 мг/кг. Содержание мышьяка в водорослях также возросло с 1,76 мг/кг до 62,98 мг/кг.

После первой части эксперимента водоросли с накопленным свинцом поместили в чистую морскую воду. Через 5 дней экспозиции концентрация свинца в воде увеличилась, но осталась в пределах ПДК (0,102 мг/л). Вероятнее всего увеличение концентрации тяжелых металлов в воде после помещения в них водорослей с накопленными ТМ, объясняется тем, что часть нитрата свинца не проникшая в ткани *F. vesiculosus* «смылась» чистой водой с поверхности талломов. В водорослях концентрация тяжелых металлов значительно не изменилась.

При воздействии свинца на *F. vesiculosus* в концентрации 10 мг/л интенсивность фотосинтеза достоверно увеличилась по сравнению с контрольным талломами. Воздействие мышьяка, в такой же концентрации, было губительным для фукуса. Через 10 дней эксперимента фотосинтез отсутствовал, наблюдалось разрушение тканей таллома. При переносе растений, подвергнутых воздействию свинца, в чистую воду интенсивность фотосинтеза возрастает в 2 раза.

Выводы:

Экспериментально показана способность водорослей накапливать и удерживать в тканях ТМ.

Анализ физиологического состояния макрофитов показал, жизнеспособность растений при воздействии высоких концентраций нитрата свинца. Высокие же концентрации арсената натрия вызвали гибель растений.

Накапливая и удерживая ТМ в тканях макрофиты могут играть важную роль в защите морской среды от поступающих в нее поллютантов.

Выводы о возможности использования макрофитов в биоремедиации морской среды от тяжелых металлов, пока преждевременны, из-за отсутствия технологий их последующей переработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-80058\18.

Список литературы

1) Bailey R.S., Stokes .RMEvaluation of filamentous algae as biomonitors of metal accumulation on softwater lakes: A multivariate approach. (Aquat. Toxicol. and Hazard Assessment 7th symp., Milwaukee, Wis.). Philadelphia, 1985. 177 p.

2) Воскобойников Г. М. Механизмы адаптации, регуляции роста и перспективы использования макрофитов Баренцева моря: автореферат дисс. докт. биол. наук. - Мурманск: ММБИ, 2006. - 46 с.

3) Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. Изд. 2-е. — М.: Химия, 1973.

РАЗНООБРАЗИЕ АРХЕЙ ПРИБРЕЖНЫХ МЕТАНОВЫХ СИПОВ ЧЕРНОГО МОРЯ

Тарновецкий И.Ю.[1,2], **Меркель А.Ю.**[2], **Гулин М.Б.**[3], **Пименов Н.В.**[2]

[1]*Биологический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, г. Москва,*

[2]*Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, г. Москва,*

[3]*Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь*

ivan.tarnoveckii93@gmail.com

Ключевые слова: метановые сипы, Черное море, археи, ANME, DHVEG-1, Euryarchaeota.

Углеводородные газовыделения (метановые сипы) из морских осадков представляют собой одно из наиболее интересных геологических явлений, которое в последние десятилетия привлекает внимание многих исследователей. Места таких газовых высачиваний часто представляют собой оазисы жизни на морском дне, резко отличающиеся от окружающих донных осадков по физико-химическим и микробиологическим параметрам, а также по структуре бентосных сообществ. В Черном море газовые сипы были открыты в конце восьмидесятых годов прошлого века. К настоящему времени детально исследованы только метановые сипы, располагающиеся на свале глубин северо-западного шельфа Черного моря, где в результате анаэробного окисления метана ANME-1,2 археями совместно с сульфатредуцирующими бактериями образуются карбонатные постройки [1,2].

Недавние геоакустические исследования прибрежной зоны Крымского полуострова свидетельствуют о широком распространении мелководных метановых сипов на глубинах до 10 м [3]. Поэтому целью нашей работы была оценка разнообразия и распространенности архей именно в прибрежных газонасыщенных осадках с использованием современных методов молекулярной биологии. Для этого мы исследовали тотальную ДНК микробных сообществ донных осадков с помощью секвенирования V3-V4 вариабельных участков гена 16S рРНК на платформе MiSeq (Illumina). Отбор материала производили из прибрежных метановых сипов, обнаруженных в районе мыса Тарханкут и бухты Ласпи (северо-западный Крым). В качестве контрольных образцов были отобраны восстановленные осадки из залива Донузлав, где струйные газовыделения не выявлены. Для каждой точки было исследовано несколько горизонтов донных осадков глубиной до 15 см.

В результате секвенирования нами было получено более 800 тысяч последовательностей участков гена 16S рРНК, и более 51 тысячи этих последовательностей в ходе биоинформатического анализа были отнесены к последовательностям архей. В микробных сообществах на разных горизонтах прочтения архей составляли от 1 до 62%, при этом их высокая относительная численность была выявлена как в точках с высоким содержанием метана (мыс Тарханкут, бухта Ласпи), так и в точке с низким содержанием метана (залив Донузлав). Было установлено, что археи доминируют в анаэробных глубинных горизонтах. В метановых сипах мыса Тарханкут наиболее многочисленными оказались классические метаногены филума *Euryarchaeota*, относящиеся к родам *Methanogenium* (до 30% от всех прочтений), *Methanococcoides* (до 25%), *Methanosarcina* (до 7%). Небольшая часть последовательностей была отнесена к анаэробным метанотрофам ANME-3 (до 0,6%). В бухте Ласпи археи группы ANME-2a/b преобладали в глубинных горизонтах, где относительная численность их прочтений составляла почти 24%. В бухте Донузлав доминирующими оказались эвриархеи DHVEG-1 (порядок *Thermoplasmatales*) (до 11%). Анаэробные метанотрофы и классические метаногены в этой точке отсутствовали. Также было идентифицировано большое количество минорных групп архей: *Bathyarchaeota, Marine Benthic*

Group B, Woesearchaeota, Marine Hydrothermal Vent Group, Aenigmarchaeota, Miscellaneous Euryarchaeotic Group, Lokiarchaeia, Nanoarchaeaeota.

Наше особое внимание привлекли группы некультивируемых ANME и DHVEG-1 архей. Ранее ANME микроорганизмы обнаруживали преимущественно в глубоководных местообитаниях [4]. Проведенный анализ литературы позволяет утверждать, что обнаруженные нами ANME-2a/b археи в бухте Ласпи являются первым случаем массового развития анаэробных метанотрофов в прибрежных донных осадках. Высокая численность DHVEG-1 в илах Донузлава указывает на возможность проведения метагеномного секвенирования с целью сборки генома и определения физиологии и геохимической роли этой практически неисследованной филогенетической группы архей.

Авторы благодарят сотрудников Морского гидрофизического института РАН за помощь при отборе образцов донных осадков в районе м. Тарханкут.

Работа финансировалась из средств РФФИ №17-04-00023.

Список литературы

1) Пименов Н.В., Иванова А.Е. Анаэробное окисление метана и сульфатредукция в бактериальных матах на коралловидных карбонатных постройках в Черном море // Микробиология №3(74). 2005. С. 420-429

2) Michaelis W., Seifert R., Nauhaus K. Microbial reefs in the Black Sea fueled by anaerobic oxidation of methane // Science №297. 2002. P. 1013–1015

3) Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Метановые сипы в Черном море: средообразующая и экологическая роль. – Севастополь: ЭКОСИ –Гидрофизика, 2011. 365 с

4) Каллистова А.Ю., Меркель А.Ю., Тарновецкий И.Ю., Пименов Н.В. Образование метана прокариотами // Микробиология №6(86). С. 661-683

БЕСПОЛОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ AURELIA SPP. (CNIDARIA, SCYPHOZOA) ИЗ БЕЛОГО, ЧЕРНОГО, ЯПОНСКОГО МОРЕЙ ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Шапкина А.О.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

anya.shapkina@gmail.com

Ключевые слова: Cnidaria, Aurelia aurita, сцифистомы, вегетативное размножение, температура.

Температура - один из ключевых факторов, определяющих биологические процессы в морях и океанах. Увеличение частоты вспышек численности планктонных желетелых часто связывают с изменениями температурного режима. Считается, что повышение температуры воды стимулирует как половое, так и бесполое размножение многих видов желетелых, обитающих в умеренных зонах [1]. Однако, с другой стороны, влияние температуры на репродукцию может отличаться даже у разных популяций одного вида [2]. Могут ли изменения температуры стимулировать цветения желетелых? Для ответа на этот вопрос мы экспериментально исследовали влияние температуры на бесполое размножение сцифистом Aurelia spp. из Белого, Чёрного и Японского морей.

Сцифистом предварительно культивировали в стабильных условиях при температуре 20^0C, за исключением сцифистом из Белого моря, которых культивировали при температуре 10^0C. Солёность в экспериментах поддерживали на постоянном уровне: 18 ед. для сцифистом из Чёрного моря, 25 ед. - для сцифистом из Белого и Японского морей. Затем температура в экспериментальных контейнерах была изменена в соответствии со схемой эксперимента. Скорость изменения температуры не превышала 5 ^{0}C /10 сут. После изменения температуры в экспериментальных контейнерах мы регистрировали репродукцию сцифистом из 3 популяций при 5 различных значениях температуры (0, 5, 10, 15, 20 ^{0}C). Мы количественно учитывали 4 типа бесполого размножения сцифистом: образование почек, образование планулоидов, образование подоцист и стробиляцию. Два раза в неделю экспериментальные стёкла исследовали под стереомикроскопом, а также фотографировали. Полученные данные были проанализированы при помощи статистических методов. Сцифистомы были идентифицированы при помощи молекулярно-генетических методов с использованием митохондриальных маркеров (COI, 16S).

Интенсивность почкования для всех популяций снижалась с понижением температуры: при 20 ^{0}C она составляла от 0,139± 0,013 почки/сцифистому в сутки для тихоокеанских до 0,019± 0,017 почки/сцифистому в сутки для черноморских, в то время как при 0^0C у беломорских сцифистом почкование полностью прекращалось.

Формирование планулоидов также становилось менее активным с уменьшением температуры. Так, при 20^0C черноморская популяция производила 0,043± 0,042 планулоида/сцифистому в сутки, при 0^0C снизилась до 0,017± 0,012.

Формирование подоцист происходило наиболее интенсивно у беломорских и черноморских сцифистом при 10^0C: 0,018± 0,010 и 0,011± 0,010 подоцисты/сцифистому в сутки, соответственно.

Таким образом, анализ результатов показал, что при понижении температуры общая интенсивность вегетативного размножения уменьшалась для всех популяций, хотя беломорские сцифистомы наиболее интенсивно формировали новые почки при температуре 15^0C. Черноморские сцифистомы при всех температурах размножались преимущественно при помощи планулоподобных личинок, беломорские - путем почкования и отделения подоцист, япономорские примерно с одинаковой интенсивностью почковались и производили

планулоподобные личинки, а тихоокеанские увеличивали свою численность, в первую очередь, за счет почкования.

Список литературы

1) Purcell, J. E., M.B. Decker Effects of climate on relative predation by scyphomedusae and ctenophores on cope- pods in Chesapeake Bay during 1987–2000 // Limnol Oceanogr. – 2005. – 50 – pp. 376–387.
2) Lucas, C.H. Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, Aurelia aurita, in relation to its ambient environment // Hydrobiologia. – 2001. – 451. – pp. 229–246.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА THALASSIOSIRA NORDENSKIOELDII (BACILLARIOPHYTA) В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Шульгина М.А.[1,2], **Шевченко О.Г.**[1,2]

[1]*Национальный научный центр морской биологии им. А.В.Жирмунского, г. Владивосток*

[2]*Научно-образовательный комплекс "Приморский океанариум" - филиал ННЦМБ ДВО РАН, г. Владивосток*

annekee@mail.ru

Ключевые слова: фитопланктон, диатомовые водоросли,Thalassiosira nordenskioeldii, морфология, численность.

Thalassiosira nordenskioeldii — один из доминирующих видов зимне-весеннего и весеннего планктона морских прибрежных экосистем Японского моря. Род впервые описан П.Т. Клеве в 1873 году с определением вида *T. nordenskioeldii* из Девисова пролива. Клетки вида имеют форму барабана высотой 9—18 мкм с пояска со скошенными углами, при световой идентификации в виде восьмиугольника. Створки выпуклые, с вогнутостью в центре, 11—45 мкм в диаметре. На лицевой стороне створки расположено кольцо краевых выростов с опорами, 2—3 в 10 мкм, общее количество варьирует от 10 до 27. В центре створки находится вырост, из которого выходит слизистый тяж, объединяющий клетки в цепочку [1, 2].

Thalassiosira nordenskioeldii отмечена на всей акватории Японского моря [3] и вызывает зимние и зимне-весенние «цветения» с конца декабря до первой половины марта в прибрежной зоне подо льдом. При этом доля *T. nordenskioeldii* может достигать 70—90% от общей численности фитопланктона. Однако, «цветение» вида наблюдали и в открытых водах, не покрытых льдом [4].

В основу работы легли количественные сборы фитопланктона, выполненные с января 2005 г. по июнь 2015 г. в Амурском заливе (залив Петра Великого, Японское море). Пробы отбирали на мониторинговой станции 5-ти литровым батометром Нискина с поверхностного горизонта. Один литр пробы фиксировали раствором Утермеля и концентрировали методом осаждения [5]. Видовую идентификацию микроводорослей проводили с использованием светового микроскопа Carl Zeiss Axio Lab.A1. Определение численности клеток фитопланктона проводили в камере типа Нажжота объемом 0,05 мл. Для детализации основных диагностических признаков видов, материал исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа Leo-430 Carl Zeiss. Подготовку материала для электронной микроскопии проводили по стандартной методике [6].

Анализ полученных данных показал, что клетки *T. nordenskioeldii* появляются в декабре, при температуре воды -1,8°C, и увеличение численности продолжается до начала марта, t = -1,5°C, что характеризует его, как зимний вид. Максимальную численность *T. nordenskioeldii* — 4,1x10^5 кл./л отмечали в 2010 г. За весь период исследований наибольшие количественные характеристики *T. nordenskioeldii* отмечали в 2006, 2008 и 2010 гг., доля вида достигала 85—93% от общей численности фитопланктона.

Максимальный зафиксированный размер клеток *T. nordenskioeldii* в проведенном исследовании составлял 29,0 мкм, минимальный — 14,5 мкм. Количество краевых выростов на створках варьировало от 9 до 18. В отличие от данных, представленных в литературе, число краевых выростов было больше и составляло 4 в 10 мкм.

Возможно, преимуществом для развития *T. nordenskioeldii* в зимне-весенний период являются низкая температура, слабая освещенность под льдом, низкая конкуренция со стороны других видов микроводорослей.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 19-04-00752.

Список литературы

1) Коновалова Г.В. Морфология и экология доминирующей планктонной диатомеи Японского моря Thalassiosira nordenskioeldii Cl. // Морской и пресноводный планктон. Труды зоологического института. 1987. Т. 172. С. 39–45

2) Макарова И.В. Диатомовые водоросли морей СССР: род Thalassiosira Cl. монография / Л.: Наука. Ленингр. отделение, 1988. - 117 с.

3) Зернова В.В. Некоторые закономерности распределения фитопланктона в Японском море и прилегающих районах Тихого океана // Исследования планктона Японского моря. М.: ИО АН СССР. 1980. С. 15–29

4) Пономарева Л.А. Зимний зоопланктон северной части Японского моря зимой // Тр. ИО АН СССР. 1954. Т. 9. С. 159–172

5) Utermöhl H. Zur Vervollkommnung der quntitativen Phytoplankton // Methodik. Internationalen Verein Limnologie. Mitteilungen. 1958. Vol. 9. P. 1–38

6) Truby E.W. Preparation of cingle-celled marine dinoflagellates for electron microscopy // Microscopy Research and Technique. 1997. Vol. 36. P. 337–340

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА ДИФФЕРЕНЦИРОВКУ ПОЛА У МОЛОДИ СИМЫ ONCORHYNCHUS MASU

Юрчак М.И., Мякишев М.С., Зеленников О.В.

Санкт-Петербургский государственный Университет, г. Санкт-Петербург

maur4ak2014@ya.ru

Ключевые слова: Сахалин, рыбоводные заводы, сима, гаметогенез, дифференцировка пола.

Тихоокеанский лосось сима, в отличие от других видов своего рода, заходит в реки задолго до нереста, не имея «брачной окраски», активно питается в реке и в связи с этими особенностями является самым популярным объектом любительского и спортивного лова в Сахалинской области. Гаметогенез этого вида изучен фрагментарно [3, 4], при этом данные о развитии гонад у молоди при ее выращивании на рыбоводных заводах нам не известны. Цель нашей работы исследовать гаметогенез у самок и самцов симы в течение полного рыбоводного цикла на одном из самых холодноводных и самом тепловодном рыбоводном заводе в Сахалинской области. Как известно, половые клетки на разных этапах своего развития отличаются различной чувствительностью к внешним воздействиям [1, 2, 5, 6] и знание периодизации гаметогенеза у молоди при различных условиях выращивания будет способствовать получению более жизнеспособной молоди.

Для выполнения этой цели мы поставили эксперимент, в ходе которого икру симы 2 сентября 2016 года заложили на инкубацию на Анивском заводе, на котором температура воды в зимние месяцы опускается ниже 0,5°С. Незадолго до вылупления зародышей - 17 октября, часть икры перевезли на Охотский завод, на котором зимой температура воды не опускается ниже 6°С. При таких температурных условиях молодь симы выращивали еще в течение 9 мес, после чего 12 июля выпустили в естественную среду. Два раза в месяц рыб измеряли, взвешивали, а также фиксировали (по 50 шт) в растворах Серра или Буэн, для последующего гистоморфологического исследования. Темп роста молоди симы при двух температурных режимах существенно различался. На холодноводном Анивском заводе мальков начали кормить 3 мая 2017 года и вырастили до массы в среднем 1,59 г (от 0,90 до 2,43 г). В отличие от этого на тепловодном заводе мальков начали кормить уже 9 января, на 4 мес раньше и вырастили до 5,67 г (от 2,40 до 11,35 г). Повышенная температура воды ускорила и развитие репродуктивной системы, как у самок, так и у самцов. На Анивском заводе дифференцировка пола произошла к 31 января, а ооциты периода превителлогенеза в яичниках выявили к 30 мая, т.е. к возрасту около 150 и 270 сут. При более высокой температуре на Охотском заводе эти этапы в развитии яичников выявили в возрасте около 120 и 150 сут соответственно. К моменту выпуска на обоих заводах у самок уже была сформирована единственная генерация ооцитов периода превителлогенеза, так как это характерно для нерестящихся один раз в жизни тихоокеанских лососей. При более высокой температуре на Охотском ЛРЗ к моменту завершения цикла выращивания среди самцов выявилась группа карликовых особей, характерных для лососей с длительным периодом развития, но особенно многочисленных у симы. В семенниках карликовых самцов начались мейотические деления.

Список литературы

1) Захарова Н.И. Морфофункциональные закономерности раннего гаметогенеза радужной форели (Salmo gairdneri Rich.) при различном температурном режиме и рентгеновском облучении // Автореф. дис. . . . канд. биол. наук. Л: ЛГУ, 1984, 20 с.

2) Зеленников О.В. Влияние закисления воды на становление и развитие воспроизводительной системы рыб в раннем онтогенезе // Автореф. дис. . . . канд. биол. наук. СПб: изд-во ГосНИОРХ, 1997, 19 с.

3) Иванков В.Н., Чикина В.С. Формирование плодовитости у моноцикличных рыб с разновременным созреванием на примере симы // Биология моря №3. 1977 С. 57-63.

4) Персов Г.М. Дифференцировка пола у рыб. Л.: Изд-во ЛГУ, 1975 148 с.

5) Чмилевский Д.А. Оогенез рыб в норме и при экстремальных воздействиях // Дис. . . . докт. биол. наук. Л.: СПбГУ, 2000 284 с.

6) Zelennikov O.V. The effect of acidification on the oogenesis of rainbow trout during sex differentiation // J. Fish Biology V.50. 1997 P. 18-21.

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ МЕТАБОЛИТНОГО СОСТАВА РДЕСТА ПРОНЗЕННОЛИСТНОГО (POTAMOGETON PERFOLIATUS L.) В РАЗНОТИПНЫХ МЕСТООБИТАНИЯХ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА

Явид Е.Я.

Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, г. Санкт-Петербург

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, г. Санкт-Петербург

eyavid@mail.ru

Ключевые слова: Potamogeton perfoliatus L., летучие низкомолекулярные органические соединения, эфирное масло, компонентный состав, хромато-масс-спектрометрия.

Водные макрофиты играют важную роль в формировании химического состава органических веществ в водоемах. Они продуцируют и выделяют в окружающую среду ряд соединений, характеризующихся высокой биологической активностью - низкомолекулярные органические соединения (НОС). НОС являются малоизученными компонентами метаболома, особенно это касается НОС макрофитов пресноводных водоемов. Метаболитный состав (НОС) рдеста пронзенолистного (*Potamogeton perfoliatus* L.*)* практически не изучен, не известны закономерности его изменения в зависимости от особенностей местообитаний. Впервые проведено хромато-масс-спектрометрическое исследование эфирных масел *P. perfoliatus* из разнотипных озерных местообитаний с целью выявления качественного и количественного состава (НОС). Исследования были проведены в заливах Ладожского озера и озере Суури на Карельском перешейке. Данные озера представляют собой разнотипные водные объекты (по происхождению, размеру, циркуляции, температуре, загрязненности, трофности, биологическому разнообразию). Эфирное масло *P. perfoliatus*, содержащее НОС, получили из высушенных растений методом паровой гидродистилляции в течение 6 часов с использованием аппарата Клевенджера. Эфирное масло *P. perfoliatus* содержало от 54 до 115 НОС, что говорит о высокой вариабельности компонентного состава метаболитов в зависимости от условий произрастания растений. Наибольшее число НОС зафиксировано у макрофитов, находящихся в ненарушенных местообитаниях. Образцы *P. perfoliatus* из местообитаний с наибольшей антропогенной нагрузкой имели наименьшее суммарное содержание НОС. Общими для всех образцов были 30 соединений, из которых только у одного (дибутилфталата) содержание во всех образцах превышало 1%. Полученные факты свидетельствуют о способности *P. perfoliatus* активно изменять свой метаболом в зависимости от состояния водной среды (физико-химические показатели и гидробиологическое окружение) в конкретном местообитании. Наибольшие различия в составе НОС у *P. perfoliatus* наблюдались между ненарушенными водными местообитаниями и местообитаниями со значительным антропогенным прессом. В образцах рдеста из местообитаний, подверженных наиболее интенсивному антропогенному воздействию, преобладали спирты и альдегиды. Возможно, что увеличенный синтез данных НОС, играющих важную защитную функцию у растений, у *P. perfoliatus* может быть индикаторным признаком различного типа загрязнений в водоемах, ухудшающих условия обитания данного макрофита.

ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РЫБ ПО УЛОВАМ НА СВЕТОВЫХ СТАНЦИЯХ

Ваккер Н.Л.

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр ТИНРО-Центр, г.Владивосток

Expert.Microsoft.Nik@yandex.ru

Ключевые слова: естественная плотность, искусственная концентрация, скопление, световое поле, бортовая ловушка.

В настоящее время технология проведения исследований состояния запасов водных биоресурсов, положительно реагирующих на свет (в частности, сайры), заключается в визуальной оценке количества рыб, привлеченных светом к судну, и в определении на этой основе величины запаса водных биологических ресурсов. Несовершенство такой технологии очевидно, и заключается оно в том, что оценивается не естественная плотность концентрации рыб, а искусственная концентрация, образовавшаяся под воздействием на скопление рыб привлекающего света [1].

В общем виде технологию определения естественной концентрации рыб по данным их облова на световых станциях можно представить следующим порядком действий:

- расчетным путем определяется зона привлечения рыб на свет и зона концентрации рыб у судна.

- расчётным путем определяем конфигурацию светового поля судна и по конфигурации светового поля находим коэффициент увеличения плотности концентрации рыб в зоне облова.

- по уловам на световой станции определяем плотность концентрации рыб в зоне облова.

- используя коэффициент увеличения плотности, обратным расчетом определяем естественную плотность концентрации рыб.

Расчеты показали, что для судна СТР-420, оснащенного кварцево-галогенными люстрами, горизонтальная зона привлечения с левого борта составляет около 400 м, а с правого - около 350 м. Такая же картина наблюдается и с распространением зоны концентрации. Это можно объяснить различным наклоном люстр к поверхности воды: с правого борта угол наклона составляет около 10°, с левого - около 45°.

Исходя из такого расположения люстр, несложными расчетами получаем размер зоны привлечения - 392700 м^2, а зона концентрации - 5030 м^2. При этом делаем вывод, что плотность концентрации рыб в зоне облова бортовой ловушкой должна увеличиваться по сравнению с естественной плотностью в 78 раз (392700/5030).

Исходя из классического определения коэффициента уловистости, плотность концентрации облавливаемого скопления рыб определится из выражения: p = Q / (ϕVобл), где Q - улов, экз (кг); ϕ - коэффициент уловистости; $V_{обл}$ - обловленный объем воды, м^3 [2].

Предположим, что улов сайры, полученный за одну выборку бортовой ловушки, составил 7 тонн (около 47 000 экз.) при коэффициенте уловистости ловушки 0,6. Расчет по формуле показывает, что плотность концентрации рыб, привлеченных светом в зону облова, в этом случае составит около 11 экз/м^3.

Учитывая, что плотность концентрации рыб в зоне облова бортовой ловушкой увеличена в 78 раз, получаем величину естественной плотности концентрации сайры в размере 0,142 экз/м^3, или приблизительно 1 экз. в объеме 7 м^3.

Для оценки адекватности метода оценки плотности концентрации рыб по уловам на световых станциях необходимо проведение экспериментальных морских исследований с использованием высокочувствительной калиброванной эхоинтеграционной аппаратуры (эхолотов и гидролокаторов).

Список литературы

1) Кручинин О.Н, Мизюркин М.А., Ерёмин Ю.В., Ваккер Н.Л. Оценки естественной плотности концентрации рыб по уловам на световых станциях.// Изв. ТИНРО. - 2016. Т 186 - С. 214-222.
2) Баранов Ф.И. Техника промышленного рыболовства. - М.: Пищевая пром-сть, 1960. - 696 с.

АНОМАЛЬНЫЕ ЦВЕТЕНИЯ СИНЕ-ЗЕЛЕНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В АЗОВСКОМ МОРЕ

Василенко Н.В.[1], **Медведева А.В.**[2]

[1]*Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь,*
[2]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь.*

nadinkot.nk@gmail.com

Ключевые слова: фитопланктон, сине-зеленые водоросли, цианобактерии, спутниковые снимки, Азовское море, Таганрогский залив, дистанционное зондирование.

Азовское море имеет ряд физико-географических особенностей. В частности, - малые размеры бассейна, небольшие глубины, выраженное влияние речного стока (соленость вод составляет порядка 11 ‰). Эти особенности обуславливают гидрологический режим акватории - сравнительно быстрые изменения температуры вод, высокие прогревы, интенсивное ветровое перемешивание (от поверхности до дна) и распространение речных вод по всей акватории.

По спутниковым данным среднего (OrbView-2 SeaWifs, Aqua MODIS и Terra MODIS) и высокого (Sentinel-2, Landsat-8) разрешения в Азовском море ежегодно в различные сезоны регистрируются интенсивные цветения характерного для акватории фитопланктона. Аномальные цветения сине-зеленых водорослей (цианобактерий) наблюдаются эпизодически в теплое время года - как в центральной части моря, так и в заливах и лиманах (в частности, в Таганрогском заливе).

В период с 2003 по 2018 гг. в центральной части Азовского моря аномальные цветения сине-зеленых водорослей (аномалии, развившиеся на нулевом горизонте) выявлены с 2005 по 2010 гг., а также в 2012 и 2013 гг. В Таганрогском заливе аномальные цветения формировались ежегодно, наиболее интенсивные - во второй половине лета и начале осени с 2004 по 2010 гг. и затем в 2013, 2014 и 2016 гг. В остальные годы исследуемого периода также развивались аномалии цветения, но отличались меньшими масштабами и/или меньшей продолжительностью существования.

Длительность цветений в центральной части моря варьировала от нескольких дней до нескольких недель, а в Таганрогском заливе - от одних суток до нескольких недель.

В остальные периоды сине-зеленые водоросли также обнаруживаются на спутниковых снимках (высокого разрешения), но в виде протяженных нитевидных структур шириной порядка 20-50 м. В большем количестве и чаще они выявляются в северо-восточном районе Азовского моря, а также в приустьевых областях. Нередко цианобактерии скапливаются на границах фронтов, образуемых пресноводными стоками.

Максимальный прогрев вод в Азовском море наблюдается в июле и августе (от 24-26 °С и выше), в эти же месяцы чаще формируются аномалии цветения (в Азовском море без Таганрогского залива). Наиболее раннее цветение зарегистрировано в мае 2005 г. при температуре вод около 20 °С, а наиболее позднее возникло в октябре 2006 г. (температура вод составляла порядка 18 °С). Примечательно, что с течением времени общее количество цветений снижается, а с 2010 г. аномалии возникают при прогреве вод от 26 °С.

С точки зрения пространственного распределения наиболее часто развитие аномалий цветений сине-зеленых водорослей наблюдается как в Таганрогском заливе, так и в центральной и восточной частях Азовского моря - преимущественно в водном пространстве от выхода из Таганрогского залива до Керченского пролива [1]. В западных районах Азовского моря экстремальное цветение цианобактерий носит эпизодический характер, и за

период с 2003 по 2018 гг. аномалии наблюдались трижды в 2007 г., дважды - в 2008 г., и однократно - в 2010 г.

При модельной оценке влияния речных стоков в программе FOTS подтверждается распространение пресных вод практически по всей акватории, в том числе и то, что воды, попадающие в Таганрогский залив, а также в Ясеневский и Темрюкский заливы, достигают западных районов моря.

Важным фактором для возникновения цветений являются характеристики горизонтального и вертикального транспорта, определяющиеся соответственно характеристиками течений и ветрового перемешивания. При привлечении данных о ветре NCEP и MERRA и сопоставлении их с периодами аномальных цветений сине-зеленых водорослей было получено, что развитие аномалий наблюдается на фоне ветров с низкими и устойчивыми скоростями [2]. При изменении метеорологических условий - возрастании скоростей ветра до 8-10 м/с и выше - цветения сине-зеленых водорослей переходят в завершающую стадию существования.

Список литературы

1) Алескерова А. А., Кубряков А. А., Станичный С. В., Лишаев П. Н., Мизюк А. И. Цветение цианобактерий в Азовском море по данным сенсоров спутников серии LANDSAT // Исследование Земли из космоса, 2018, № 6, с.52–64

2) Медведева А. В., Кубряков А. А., Соловьев Д. М., Станичный С. В. Аномальные цветения фитопланктона в южной части Каспийского моря. // Тезисы докладов XV Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2017 г. – Москва, 2017, с.276.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ОСНОВНЫЕ ОБЪЕКТЫ РОССИЙСКОГО РЫБНОГО ПРОМЫСЛА: НАРАБОТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Кивва К.К.

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

kirill.kivva@gmail.com

Ключевые слова: изменения климата, водные биоресурсы, треска, тихоокеанские лососи, дальневосточная сардина, сельдь, биомасса, распределение

Влияние климатических изменений на состояние популяций гидробионтов, в том числе промысловых, очевидно и давно известно. Зачастую именно изменения в среде обитания приводят к переходу некоторых видов в фазу низкой численности, которая может длиться десятилетиями. Например, согласно имеющимся данным, так произошло с сахалино-хоккайдской популяцией сельди, общий вылов которой со второй половины XIX в. по 1935 г. почти всегда превышал 500 тыс. т; с 1960 г. по настоящее время уловы этой сельди не превышают 10 тыс. т [1]. Другим характерным примером может служить дальневосточная сардина иваси, многолетние фазы высокой численности которой (общий вылов до 4,5 млн. т, из них около 0,5 млн. т - СССР) имеют период около 55-60 лет [2]. Для сравнения - российский суммарный вылов всех видов на современном этапе составляет около 4,5 млн. т. Понятно, что подобные резкие изменения численности основных промысловых видов желательно уметь предсказывать с высокой заблаговременностью.

Некоторые связи между биологическими параметрами популяций основных объектов российского рыбного промысла и состоянием элементов климатической системы Земли установлены и обобщены в недавних работах [3, 4]. Показана зависимость популяций многих важных промысловых видов от крупномасштабных особенностей динамики океана и атмосферы в многолетнем аспекте. Подобная работа проделана для дальневосточных лососей [5, 6], трески Баренцева [7] и Берингова моря [8], тихоокеанской сайры [9], а также ряда других видов. Однако основным материалом для анализа в подобных работах чаще всего служат сведения об общих уловах, общей биомассе, биомассе нерестового запаса, в лучшем случае - численности поколений в возрасте 1+, 2+ или 3+ лет. Временные ряды таких биологических характеристик популяции обычно сравниваются с многомерными полями физических параметров (температура поверхности океана, высота геопотенциальных поверхностей и т.д.) с использованием корреляционного, ЭОФ анализа или каких-либо подобных математических подходов. Порой удаётся найти достоверные предикторы состояния запасов. Однако в таких работах, часто в силу объективных причин, цепочка процессов, связывающих изменения в океане (или ещё сложнее - в атмосфере) с изменениями в экосистеме, либо объясняется умозрительно, либо вовсе игнорируется. Это неоднократно вызывало обоснованную критику коллег: например, работа [10].

Между тем арсенал массивов данных и средств анализа, имеющихся в распоряжении современных климатологов и биологов гораздо более обширен, чем тот, что перечислен выше. Существуют многолетние данные по уловам всех основных промысловых видов: это позволяет получить общие сведения об изменениях в распределении объектов промысла. Примером такой работы может служить анализ связи распределения окуня-клювача с условиями среды [11]; подобная работа в настоящее время выполняется и для некоторых других видов. Специалисты рыбохозяйственной науки до сих пор недостаточно внимания уделяют спутниковым данным по концентрации льда, хлорофилла-«а» и поверхностным

течениям (альтиметрия). До сих пор относительно редко в рыбохозяйственных исследованиях используются данные о ветре - спутниковые или расчётные (реанализ). Включение этих массивов в анализ факторов, определяющих причины изменений в состоянии популяций гидробионтов может коренным образом изменить наши представления о функционировании морских экосистем и позволить формировать заблаговременные и достоверные прогнозы для рыбохозяйственного комплекса.

Список литературы

1) Зверькова Л. М., Антонов Н. П. Промысел сахалино-хоккайдской («весенней») сельди Clupea pallasi // Вопросы рыболовства. – 2017. – Т. 18. – №4. – С. 462–472.
2) Булатов О.А., Котенев Б.Н., Кровнин А.С. О перспективах новой «сардинной эпохи» в северо-западной части Тихого океана // Вопросы рыболовства. – 2016. – Т. 17. – №4. – С. 385-405.
3) Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Масленников В.В., Мордасова Н.В. О будущем состоянии популяций массовых гидробионтов в биопродуктивных районах Мирового океана // Труды ВНИРО. – 2014. – Т. 152. – С. 209-248.
4) Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Масленников В.В., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. Перспективы развития мирового рыболовства в связи с изменением климата // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 48. Научно-теоретический журнал. СПб.: РГГМУ, 2017. – С. 167-185.
5) Кровнин А.С., Котенев Б.Н., Кловач Н.В. Связь «лососевых эпох» в дальневосточном регионе с крупномасштабными изменениями климата в Северной Пацифике // Труды ВНИРО. – 2016. – Т. 164. – С. 22 40.
6) Krovnin A.S., B. N. Kotenev, and N.V. Klovach. Present State and Future of Far East Salmon Stocks under Changing Climate // NPAFC Technical Report. 2018. – No. 11. – P. 51-55.
7) Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. О влиянии крупномасштабной изменчивости атмосферы-океана на урожайность поколений трески Баренцева моря. Вопросы промысловой океанологии. – 2013. – Вып. 10. – С. 26-65.
8) Кровнин А.С., Антонов Н.П., Котенев Б.Н., Мурый Г.П. Влияние климата на квазидекадные изменения численности поколений трески северо-западной части Берингова моря // Труды ВНИРО. – 2017. – Т. 169. – С. 37-50.
9) Кровнин А.С., Мельников С.П., Артеменков Д.В., Мурый Г.П., Никитенко А.И. Влияние крупномасштабных климатических факторов на динамику запаса тихоокеанской сайры // Труды ВНИРО. – 2018. – Т. 173. – С. 66-78.
10) Шунтов В.П. Об упрощенных трактовках лимитирующих факторов и динамики численности некоторых промысловых рыб дальневосточных вод // Известия ТИНРО. – 2017. – Т. 189. – С. 35-51.
11) Кровнин А.С., Мельников С.П., Кивва К.К., Артеменков Д.В., Мурый Г.П. Влияние изменчивости океанологических условий на окуня-клювача в пелагиали Северной Атлантики // Труды ВНИРО. – 2017. – Т. 169. – С. 51-63.

ПОДХОДЫ К ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПЕРЕХОДА ЧАСТИЦ В СИСТЕМЕ ВОДА/БЕРЕГ НА ПРИМЕРЕ МИКРОПЛАСТИКА

Конокова А.В.[1], **Мысленков С.А.**[1], **Багаев А.В.**[2]

[1]*МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра океанологии, г. Москва,*

[2]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

annakonokova@gmail.com

Ключевые слова: микропластик, численные модели, Лагранжевы частицы.

Последнее время все большее внимание уделяется проблеме загрязнения морской среды пластиком, и в частности микропластиком (МП, твёрдый синтетический органический полимер с размером частиц в диапазоне 0.5-5 мм). Период полураспада может разниться от нескольких месяцев до нескольких десятилетий и даже веков. Одним из наиболее существенных негативных эффектов является то, что частицы МП встраиваются в пищевые цепи морских организмов, это иногда приводит к гибели животных. Также МП попадает и в рацион человека, где может оказывать свое вредоносное влияние как переносчик сорбированных загрязнителей (ПХБ, тяжелые металлы и др.). Частицы МП попадают в море преимущественно вблизи побережья и могут оставаться в береговой зоне в течение долгого времени. Однако в настоящее время мало что известно о транспорте МП и изменениях, происходящих с ним в прибрежных областях. Таким образом, важно и интересно рассмотреть поведение частиц МП в прибрежной зоне под действием течений и ветра. Для этого необходимо учесть собственные параметры частиц и определить динамическое распределение МП в различных прибрежных ландшафтах, регулируемое также гидродинамическими условиями.

Примечательно, что диапазон плотности МП существенно шире, чем взвешенного вещества. В нашей задаче важным является факт положительной плавучести, которая: а) удерживает МП близ поверхности; б) подвергает МП действию ветра. Биообрастание не рассматривается. Еще одна особенность МП - относительная механическая прочность, которая позволяет ему находиться на пляжах довольно долгое время.

В данной задаче рассматривается поверхностный слой моря, поверхностные океанические течения, так как большая часть МП с положительной плавучестью находится в верхнем слое океана. Под верхним (или приповерхностным) понимается слой толщиной около 1 м. Большая часть исследований МП проводятся с помощью сети типа manta-trawl, с размерами рамки, которая захватывает именно этот слой. Хотя есть работы, показывающие заглубление части плавучего МП до 2-3 м вниз при усилении волнения, этот эффект скорее оказывает влияние на точность измерений, и, в меньшей степени, на концентрацию МП в приповерхностном слое на синоптических масштабах времени. Для выявления закономерностей транспорта МП в первом приближении вполне достаточно учитывать размерные диапазоны МП и типы форм. На данном этапе изменение размера частиц не учитывается в модели. Дополнительная полуэмпирическая параметризация увеличивает сложность интерпретации результатов расчетов. Классификации форм встречаются разные, и в частности, представляется целесообразным выделять основные фигуры по соотношению между измерениями поверхности частицы: 3-D (для гранул, шариков, фрагментов и т. д.), 2-D (для пленок, флексов, плоских фрагментов и т.д.) и 1-D (для волокон, обрезков лески, нитей и т.д.) [1]. Форма влияет на время нахождения частицы в морской среде, скорость ее оседания, характер обрастания (это не учитывается на текущем этапе, но планируется в дальнейшем). Также для уточнения параметров можно использовать кривые распределения в этих диапазонах/типах. Для построения траекторий частиц в численном моделировании чаще всего применяется подход Лагранжевых трассеров. Постоянный обмен с

берегом и вторичная генерация на пляжах позволяют предположить наличие “мусорного пояса” вдоль побережья, где концентрации существенно отличаются от открытого моря (даже если поблизости нет источников МП). Однако прямое воспроизведение в модели граничного погранслоя практически невозможно. В литературе встречаются следующие основные подходы к параметризации обмена с берегом:

1) Исчезновение частицы при попадании в прибрежную ячейку расчетной сетки [2].
2) Накопление частиц при нахождении в прибрежных ячейках, таким образом определение итогового интегрального накопления в прибрежной части [3].
3) Исчезновение частицы при замирании в прибрежной ячейке на определенное время [4].
4) Переход частицы в состояние “на берегу” при попадании в прибрежную ячейку с ненулевой вероятностью обратного перехода и исчезновением спустя определенное количество циклов перехода берег-вода-берег [5].

Из анализа публикаций мы делаем вывод, что для неявной параметризации обмена с берегом в модели необходимо знать: положение твердой границы, направление течения и ветра в прибрежной ячейке, время жизни частицы, время нахождения и количество частиц в прибрежной ячейке. Программная реализация этого подхода будет выполнена в рамках открытой модели Parcels [6]. Расчетная область модели - 100×100 км с шагом 1 км.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-55-45024.

Список литературы

1) Chubarenko I., Esiukova E., Bagaev A., Isachenko I., Demchenko N., Zobkov M., Efimova I., Bagaeva M., Khatmullina L. Behavior of Microplastics in Coastal Zones //Microplastic Contamination in Aquatic Environments (Chapter 6). Elsevier. Editor(s): Eddy Y. Zeng. 2018. P. 175-223
2) Lebreton L.C.-M. Numerical modelling of floating debris in the world’s oceans //Marine Pollution Bulletin 64. 2012. P. 653–661
3) Mansui J., Molcard A., Ourmières Y. Modelling the transport and accumulation of floating marine debris in the Mediterranean basin //Marine Pollution Bulletin, 91. 2015. P. 249-257
4) Liubartseva S., Coppini G., Lecci R., Creti S. Regional approach to modeling the transport of floating plastic debris in the Adriatic Sea //Marine Pollution Bulletin, 103. 2016. P. 115–127
5) Maximenko N., Hafner J., Niiler P. Pathways of marine debris derived from trajectories of Lagrangian drifters //Marine Pollution Bulletin, 65. 2012. P. 51–62
6) http://oceanparcels.org/

МЕТОДИКА ОТБОРА ПРОБ, СЕПАРАЦИИ И КОЛИЧЕСТВЕННОГО УЧЁТА ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

Литвинюк Д.А.[1], **Сахонь Е.Г.**[1], **Багаев А.В.**[2]

[1]*Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь,*

[2]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

d.lytvynyuk@gmail.com

Ключевые слова: микропластик, загрязнение, Севастопольская бухта, Чёрное море.

Ежегодный рост количества попадающего в моря и пресноводные водоёмы пластикового мусора в сочетании с исключительно низкой скоростью его деградации приводят к накоплению пластика в океане и представляет серьёзную угрозу морским и пресноводным экосистемам. Объёмы пластикового загрязнения водной среды, пути миграции и трансформации пластиков, возможные последствия накопления полимеров в донных осадках, береговых отложениях, а также их влияние нагидробионтов - все эти вопросы пока практически не исследованы. Под микропластиком (МП) понимают частицы с размерами от 0,3 до 5,0 мм, включающие как первичный пластиковые грануляты, изначально имеющие микроскопические размеры и широко применяемые в косметологии и бытовой химии, так и фрагменты крупных объектов. Разработка общей методической базы, критериев идентификации и количественной оценки загрязнения акваторий синтетическими полимерами позволит заложить основы будущих мониторинговых исследований, выявить наиболее проблемные районы Мирового океана и внутренних вод, и, в конечном итоге, оценить масштабы глобального пластикового загрязнения и его влияния на биоту.

Работы по оценке загрязнения вод Чёрного и Средиземного морей микропластиком были начаты только в последние годы [1, 2, 3, 4]. В ряде источников приводится соотношение между массой МП и зоопланктона, который потенциально может использовать частицы как источник питания [1, 3]. В прибрежных районах южной части Чёрного моря пластик встречался в 92% нейстонных проб [3] и был представлен частицами корабельной краски, пластиковыми волокнами, твёрдым пластиком, нейлоновыми и полистирольными фрагментами [4]. Высокие концентрации МП (до $1{,}2\pm1{,}1 \times 10^3$ частиц/м^3), обнаруженные в Чёрном море, позволили определить его акваторию, как «горячую точку» микропластикового загрязнения [3], однако эти данные имеют невысокую достоверность из-за несовершенства методов, которыми они были получены (окисление органики пероксидом водорода и плотностное сепарирование частиц МП в солевом растворе не применялись). Подобные проблемы указывают на востребованность новых, более эффективных методов и необходимость разработки стандартных процедур отбора и анализа МП частиц в воде, в донных и береговых отложениях. В настоящее время идет формирование такой общепринятой методологии [5, 6].

Один из современных подходов количественного учета МП в морской среде был применен в данной работе, целью которой была апробация стандартов NOAA [5] и их адаптирование к условиям прибрежных черноморских вод. Отбор проб МП на 4 станциях в Севастопольской бухте и сопредельных водах, который проводится с октября 2018 г., позволил модифицировать метод [5] для повышения эффективности его применения в акватории. Протокол сбора, обработки и анализа проб в нашей модификации включает следующие этапы:

1. *Отбор проб МП* с поверхности воды осуществляют тралением полупогружённой нейстонной сети (300 мкм) с борта маломерного судна в течение 20 мин при малых скоростях (не более 2-х узлов).

2. Фильтрование пробы с помощью концентрационного стакана (100 мкм). Полученный осадок промывают дистиллированной водой и смывают с фильтра (до объёма 300-500 мл). При этом крупные фрагменты пластика (более 5,0 мм) и органические частицы (например, деревянная щепка, фрагменты макрофитов) пинцетом удаляют из пробы.

3. *Окисление органических веществ в растворе перекиси водорода.* Взвесь, имеющую в своем составе микропластиковые частицы, окисляют 60% раствором перекиси водорода (1:1) до полной деградации органики в условиях перемешивания при температуре +75°C. Окисленная проба собирается на 20-мкм фильтре, промывается дистиллированной водой.

4. *Плотностное (флотационное) разделение.* Полученную на предыдущем этапе неорганическую взвесь промывают на 20-мкм фильтр концентрированным раствором NaCl (5M), смывают в наполненную этим же раствором делительную колонку и проводят плотностное разделение микропластика и минеральных частиц. Легкую фракцию МП верхней части колонки фильтруют на предварительно взвешенный 20-мкм фильтр (газ или нитроцеллюлозную мембрану), промывают и высушивают при комнатной температуре. Высушенные фильтры, содержащие микропластик, хранят в закрытых чашках Петри в темном сухом месте.

5. *Гравиметрический анализ.* Сухую массу МП определяют за вычетом веса фильтра. С помощью микроскопа и цифровой камеры получают микрофотографии пластиковых частиц в проходящем свете. Специализированное программное обеспечение применяется для счета частиц, определения их размеров и формы. Массу и концентрацию МП на единицу площади поверхности и в единице объёма воды рассчитывают с учётом линейных размеров сети, дистанции траления и обловленного объема воды.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-55-45024 и частично (отбор и обработка проб) – в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ (№ гос. регистрации АААА-А18-118020790229-7).

Список литературы

1) Collignon A., Hecq J.-H., Glagani F. et al. Neustonicmicroplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea // Mar. Pollut. Bull. 2012. V. 64. P. 861–864.

2) Ioakeimidis C., Zeri C., Kaberi H., Galatchi M., Antoniadis K., Streftaris N. A comparative study of marine litter on the seafloor of coastal areas in the Eastern Mediterranean and Black Seas // Mar. Pollut. Bull. 2014. V. 89, №1-2. P. 296 - 304.

3) Aytan U., Valente A., Senturk Y., Usta R., Esensoy Sahin F.B., Mazlum R.E., Agirbas E. First evaluation of neustonic microplastics in Black Sea waters // Marine Environmental Research. 2016. V. 119. P. 22 - 30.

4) Oztekin A., Bat L. Microlitter Pollution in Sea Water: A Preliminary Study from Sinop Sarikum Coast of the Southern Black Sea // Turk. J. Fish. Aquat. Sci. 2017. V.17. P. 1431 - 1440.

5) Masura J., Baker J., Foster G., Arthur C. Laboratory methods for the analysis of microplastics in themarine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in watersand sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. 2015. 31 p.

6) Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // Океанология.2018. Т. 58. № 1. С. 149 - 157.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ VGPM В ЯПОНСКОМ МОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Маховиков А.Д., Лобанова П.В.

Санкт-Петербургский Государственный университет, г. Санкт-Петербург

alexmakhovikov@gmail.com

Ключевые слова: первичная продукция, спутниковые модели, Японское море.

Известно, что понимание роли факторов и процессов, определяющих биологическую и промысловую продуктивность морских экосистем, невозможно без систематической оценки пространственно-временной изменчивости первичной продукции морского фитопланктона (ПП). ПП, или скорость синтеза органического вещества, может быть восстановлена с помощью моделей, которые основаны на зависимости скорости фотосинтеза от параметров среды. Так как не всегда возможно получить данные *in situ*, часто приходится прибегать к восстановлению ПП с помощью моделей [1]. Используя в моделях спутниковые данные входящих в них параметров (спутниковые модели), можно оценить ПП на различных пространственно-временных масштабах. С одной стороны, это даёт большое преимущество, а с другой стороны повышается вероятность дополнительных ошибок, связанных с несовершенством алгоритмов восстановления параметров, используемых в моделях.

В данной работе проведена оценка точности восстановления ПП с помощью спутниковой модели Vertically Generalized Productivity Model (VGPM) в Японском море осенью 2012 и 2015 гг.

Модельные оценки сравнивались с *in situ* данными интегральной ПП эвфотического слоя, взятыми из статьи [2]. Для расчета удельной оптимальной скорости фотосинтеза ($P^B{}_{opt}$) использовался региональный алгоритм как функция температуры и хлорофилла-а [1]. Для получения спутниковых оценок ПП использовались следующие данные: хлорофилл-а, коэффициент диффузного ослабления света для длины волны 490 нм - $K_d(490)$, температура поверхности океана (ТПО) и фотосинтетически-активная радиация (ФАР). Данные по хлорофиллу-а и $K_d(490)$ взяты из базы данных Climate Change Initiative Ocean Colour, версия 3.1 (http://rsg.pml.ac.uk/thredds/catalog-cci.html). Данные по ТПО и ФАР взяты из базы данных NASA's OceanColor WEB (https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/). Пространственная дискретность данных - 4x4 км. Так как не всегда можно получить ежедневные измерения, мы использовали значения, осредненные за 5 или 8 дней; в частности, измерения хлорофилла-а и $K_d(490)$ взяты с пятидневным осреднением, а часть данных по ТПО - с восьмидневным осреднением. Глубина эвфотической зоны определялась способом, предложенным в [3] с использованием K_d для всего спектра ФАР [4].

Результаты сравнения модельных оценок ПП с *in situ* величинами показали, что данная модель недостаточно точно воспроизводит значения ПП. Только по 3 станциям получились значения с относительной процентной ошибкой (RPD) менее +10%. По другим 6 станциям RPD составила от -26% до +50%. Про оставшиеся 5 станций можно сказать, что 4 станции имеют также завышенные показатели более чем на 55% и 1 станция - наоборот заниженные на 70%. Можно заключить, что VGPM, при использовании только спутниковых данных входящих в модель параметров, чаще всего завышает фактические значения ПП.

Основной вклад в ошибку VGPM вносят хлорофилл-а, $P^B{}_{opt}$ и глубина эвфотической зоны [3]. Анализ результатов сравнения спутниковых значений хлорофилла-а и *in situ* измерений показал, что спутниковые оценки обычно занижены: RPD составила от +24% до -589%, то есть спутниковые оценки могут быть занижены в 5 раз. Анализ результатов сравнения глубины эвфотической зоны, оцененной по спутниковым данным, и измеренной *in*

situ, показал, что использование спутниковых данных приводит к получению заниженных оценок. Коэффициент корреляции Спирмена равен 0.34. Также получен гораздо меньший промежуток значений в отличие от данных, измеренных *in situ*: расчетные данные лежат в пределах от 22 до 38 м, в то время как измеренные *in situ* значения - от 27 до 60 м. Из-за отсутствия прямых наблюдений оценить степень достоверности значений P^B_{opt}, полученных по спутниковым данным, пока не удаётся.

Расхождение значений ПП, полученных с помощью спутниковой модели VGPM, со значениями, измеренными *in situ*, связано не только с особенностями самой модели, но и с ошибками восстановления её входных параметров по спутниковых данным. Возможное решение этой проблемы заключается в усовершенствовании алгоритмов дистанционной оценки ряда параметров модели (хлорофилл-а, P^B_{opt}, глубина эвфотической зоны).

Таким образом, в результате исследования показано, что восстановление ПП в Японском море по модели VGPM с использованием только спутниковых данных и алгоритма P^B_{opt}, описанного в статье [2], приводит в основном к завышенным оценкам ПП. Однако, на некоторых станциях (на 5 из 15) модельные оценки близки к значениям ПП, измеренной *in situ.*

Список литературы

1) Lee S.H., Joo H.T., Lee J.H., Lee Jang H., Kang J.J., Lee H.W., Lee D. Seasonal carbon uptake rates of phytoplankton in the northern East/Japan Sea // Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2017. Vol. 143, 45-53.
2) 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 // Remote Sensing. 2015. Vol. 8 (25)
3) Lobanova P., Tilstone G.H., Bashmachnikov I., Brotas V. Accuracy assessment of primary production models with and without photoinhibition using Ocean-Colour Climate Change Initiative Data in the North East Atlantic ocean// Remote Sensing. 2018. Vol. 10, 1116, doi:10.3390/rs10071116
4) Morel A., Huot Y., Gentili B., Werdell P.J., Hooker S.B., Franz B.A. Examining the consistency of products derived from various ocean color sensors in open ocean (Case 1) waters in the perspective of a multi-sensor approach// Remote Sensing of Enviroment. 2007. Vol. 111 (1), 69-88

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ПЕРЕМЕШАННОГО СЛОЯ НА РАЗВИТИЕ КОККОЛИТОФОРИДНОГО ЦВЕТЕНИЯ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Муравья В.О.

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

muravya.vo@phystech.edu

Ключевые слова: Баренцево море, кокколитофориды, цветение, глубина перемешанного слоя, спутниковые данные, судовые данные.

Взвешенный неорганический углерод образуется в Мировом океане повсеместно в процессе жизненных циклов рифовых биосистем, макрофитов или планктонных сообществ: кокколитов, фораминифер и птеропод. Основным продуцентом взвешенного неорганического углерода в морских биосистемах являются кокколитофориды [1]. В этой планктонной группе выделяется *Emiliania huxleyi* - микроводоросль, влияющая на важные физические и биогеохимические процессы, в частности, «окисление» (acidification) поверхностного слоя вод. Она также является производителем $CaCO_3$, и оказывает существенное влияние на обмен углекислым газом между океаном и атмосферой, что обусловливает действие «карбонатного биологического насоса» [2]. Вследствие сильного светорассеяния, *Emiliania huxleyi* может существенно увеличивать альбедо океана и тем самым влиять на баланс солнечного излучения и тепловой баланс океана. Кокколитофоридные цветения (КЦ) могут продуцировать газообразный диметилсульфид, который в атмосфере превращается в остаток серной кислоты - сульфат, который, в свою очередь, очень хорошо конденсирует пары воды и приводит к усилению облачности, хотя сами микроводросли активно реагируют на происходящие климатические изменения [3].

Баренцево море (БМ) является окраинным морем, относящимся к арктическому российскому бассейну Северного Ледовитого океана. За последние 20 лет, при помощи дистанционного зондирования Земли была выявлена возрастающая концентрация кокколитофоридов в летнее время, что приписывается вкладу атлантических вод [4]. Один из основных факторов, влияющих на возникновение и интенсивность КЦ в Баренцевом море — глубина верхнего перемешанного слоя (MLD) [5].

Первая задача работы заключалась в нахождение наиболее точного способа расчёта MLD по спутниковым данным для получения большего объёма информации о влиянии MLD на КЦ. Для решения этой задачи была выполнена оценка точности выбранного алгоритма [6], используя значения, полученные по данным судовых измерений в качестве эталонных. Среднее значение MLD по судовым данным составляет 13,9 м, по спутниковым 14,2 м, а среднее значение абсолютной ошибки = 0,4 м. Корреляция между MLD по спутниковым и судовым данным получилась высокая: коэффициент детерминации R^2 равен 0,73 для осредненных данных за весь период рейса, при среднеквадратичной ошибке 2,79. Это позволяет сделать вывод, что с помощью алгоритма расчёта MLD по спутниковым данным можно получить значения близкие к действительным, рассчитанным по судовым данным.

Сопоставив между собой данные по концентрации клеток кокколитофорид и MLD, было замечено, что КЦ соответствуют значения MLD в диапазоне от 4 до 17 м, тогда как по судовым данным максимальное значение MLD составило 34 м. Глубина максимальной концентрации кокколитофорид в большинстве случаев соответствует MLD. Расхождения в значениях наблюдаются только на станциях, где отбор проб воды производился с одного горизонта. На станции 5579 максимальное расхождение глубины максимальной концентра-

ции кокколитофорид и перемешанного слоя составляет 13 м, в то время как минимальное расхождение наблюдается сразу на 3 станциях и не превышает 2 м.

Автор выражает свою благодарность сотрудникам ИО РАН А.А. Агаркову и Л.А. Паутовой за предоставление гидрологических данных с CTD-зонда и по концентрации кокколитофоридных цветений.

Экспедиционные исследования и первичная обработка спутниковых и судовых данных выполнены за счет гранта РНФ №14-50-00095. Анализ судовых данных, построение спутниковых карт и их сопоставление выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-35-00525. Гранты предоставлены через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

РНФ №14-50-00095 и РФФИ в рамках научного проекта №18-35-00525

Список литературы

1) Milliman J. Production and accumulation of calcium carbonate in the ocean: budget of a nonsteady state // Global Biogeochemical Cycles, 1993, Vol. 7, 927-957

2) Thierstein H.R., Young J.R. Coccolithophores – from molecular processes to global impact. Berlin: Springer. 2004, 565 p.

3) Коросов, А. А., Морозов Е. А., Поздняков Д. В., Петтерссон Л. Х., Грассл Х. Идентификация и картирование ареалов цветения кокколитофоров в Бискайском заливе по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса, 2009, № 3, С. 67-78

4) Giraudeau J., Hulot V., Hanquiez V., Devaux L., Howa H., Garlan T. A survey of the summer coccolithophore community in thewestern Barents Sea // Journal of Marine Systems, 2016, Vol. 158, 93–105

5) Signorini S.R., McClain C.R., Environmental factors controlling the Barents Sea spring-summer phytoplankton blooms // Geophysical Research Letters, 2009, Vol. 36

6) Xiao-hai Yan, Schubel J.R., Pritchard D.W. Oceanic Upper Mixed Layer Depth Determination by the Use of Satellite Data // Remote Sensing of Environment, 1990, Vol. 32, 55 - 74

СВЯЗЬ ВСТРЕЧАЕМОСТИ СЕРЫХ КИТОВ (ESCHRICHTIUS ROBUTUS) С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТЬЮ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А У ПОБЕРЕЖЬЯ ПОЛУОСТРОВА КАЛИФОРНИЯ

Рогинская М.О, Лобанова П.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

mari.dymka@mail.ru

Ключевые слова: хлорофилл-а, температура поверхности океана, серые киты, Калифорнийское течение.

Лагуны полуострова Калифорния являются заповедниками с крупными кормовыми базами для китов. Серые киты (*Eschrichtius robustus*) мигрируют с севера, останавливаясь в этих лагунах на зимовку для поиска пищи, формирования пар и дальнейшего размножения. Основой пищи китов является зоопланктон, который в свою очередь питается фитопланктоном. Через трофическую цепь можно выявить связь между пространственно-временной изменчивостью концентрации хлорофилла-а, которая отражает концентрацию фитопланктона, и встречаемостью серых китов.

Связь фитопланктона (через хлорофилл-а) и встречаемости китов описывается в работах некоторых исследователей в различных районах Мирового океана [1, 2]. Изменчивость поля хлорофилла-а определяется в первую очередь океанологическими факторами такими, как: 1. достаточная подводная освещённость, так как свет является источником энергии для фотосинтеза; 2. обеспеченность биогенными элементами (БЭ), используемыми фитопланктоном для синтеза органических соединений и последующего роста; 3. разномасштабные вертикальные движения вод, способствующие пополнению запасов БЭ в зоне фотосинтеза. А также плотностная стратификация вод и температурные условия акватории [3]. Район Калифорнийского течения является районом апвеллинга, во время которого с глубин поднимаются воды, богатые БЭ. Обычно апвеллинг регистрируются в поле поверхностной температуры, так как с глубин поднимается более холодная вода.

Целью данного исследования является изучение влияния пространственно-временной изменчивости океанологических факторов на распространение серых китов. Для этого реализованы следующие задачи: 1. Рассмотрено влияние изменчивости температуры на изменчивость хлорофилла-а. 2. Рассмотрена связь хлорофилла-а со встречаемостью серых китов (*Eschrichtius robustus*). Для реализации поставленной цели и задач использованы данные по встречаемости китов из статьи [4] за февраль в период с 1998 по 2009 гг. в лагуне Ojo de Liebre, находящейся между 27.7 ° и 29.5 ° с.ш. и 115.5° и 114 ° з.д., а также спутниковые данные концентрации хлорофилла-а и температуры поверхности океана (ТПО) из базы данных NASA's OceanColor Web. Выбор месяца объясняется наличием данных по встречаемости, а так же тем, что февраль является месяцем пика зимнего сезона размножения, и именно в этом месяце можно встретить наибольшее количество пар мать-дитя [4]. Однако, данные по хлорофиллу-а и ТПО взяты осредненными за январь и февраль, чтобы учесть биологический сдвиг - сначала наблюдается максимум концентрации фитопланктона, потом - зоопланктона.

При сравнении климатологии осредненных показателей хлорофилла-а в лагуне за период с 2003 по 2009 гг. и климатологии осредненных показателей ТПО за тот же период видно, что месяцам с высокими показателями хлорофилла-а соответствуют месяцы с низкой ТПО. Подобная зависимость позволяет удостовериться, что район исследования относится к району апвеллинга. Во время апвеллинга более холодные глубинные воды, богатые

БЭ поднимаются на поверхность, вследствие чего фиксируется более низкая температура воды и более высокая концентрация хлорофилла-а.

При сравнении данных о встречаемости китов в феврале (максимальное значение за февраль) и концентрации хлорофилла-а (среднее значение за январь и февраль) за период с 1998 по 2009 гг. можно наблюдать, что во всех возможных для сравнения случаях тенденция к уменьшению или увеличению показателей совпадает. Также, можно выделить некую периодичность показателей - уменьшение и увеличение чередуются между собой, сменяя друг друга каждый год. Несмотря на то, что корреляция показывает отсутствие связи ($r = 0{,}03$), мы можем четко проследить ее на визуальном уровне. Линия встречаемости серых китов, хоть и с незначительными отклонениями, но повторяет изгибы линии осредненных показателей хлорофилла-а. При сравнении встречаемости китов и суммарных показателей хлорофилла-а за январь и февраль в период с 1998 по 2009 гг. картина полностью повторяется - четко прослеживается связь на визуальном уровне, однако цифрами это не подтверждается, и корреляция отсутствует. Разница (по отношению к предыдущему году) встречаемости китов и разница суммарных показателей хлорофилла-а за январь и февраль на визуальном уровне имеют практически обратную связь. Однако корреляцией это вновь не подтверждается. Возможно, отсутствие корреляции связано с тем, что январь и февраль довольно далеки от максимума хлорофилла-а во внутригодовом цикле. Максимум для хлорофилла-а в лагуне Ojo de Liebre приходится на апрель, однако, к сожалению, данные по встречаемости серых китов в этот период отсутствуют.

Таким образом, в данном исследовании рассмотрена связь изменчивости хлорофилла-а и ТПО, а также рассмотрена связь хлорофилла-а со встречаемостью серых китов (*Eschrichtius robustus*), что представляется важным для дальнейшего изучения серых китов и их распространения у полуострова Калифорния.

Список литературы

1) Pierce G.J., Autret E., Torres-Palenzuela J. M. Multi-scale habitat preference analyses for Azorean blue whales // PLoS ONE. – 2018. – Т. 13. - №9. – e0201786, doi: 10.1371/journal.pone.020178

2) d'Ovidio F., Chaigneau A., Le´vy M., Taupier-Letage I., Mate B., and Guineta C. Scale-dependent interactions of Mediterranean whales with marine dynamics// Limnology and Oceanography. - 2011. - Т.56. - №1, doi: 10.4319/lo.2011.56.1.0219

3) Лобанова П.В. Спутниковые алгоритмы оценки первичной продукции в водах с различными океанологическими условиями (на примере северо-восточной Атлантики и Японского моря). Диссер., к.г.н. - 2017.

4) Salvadeo C. J., Gallardo A. G. The Effect of Climate Variability on Gray Whales (Eschrichtius robustus) within Their Wintering Areas// PLoS ONE. - 2015. - Т.10. - №8, doi: 10.1371/journal.pone.0134655

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ МОРЯ СО ЛЬДОМ НА ПРИМЕРЕ БЕЛОГО МОРЯ

Чернов И.А.[1], **Толстиков А.В.**[2]

[1]*Институт прикладных математических исследований Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск,*
[2]*Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск*

alexeytolstikov@mail.ru

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

Весенние абиотические процессы (разрушение и сход льда, половодье на реках водосбора, повышение температуры воды, развитие конвекции) играют роль триггера во внутригодовом функционировании пелагической экосистемы Белого моря. Поэтому от адекватного модельного воспроизведения этих процессов (в первую очередь характеристик льда) зависит последующее качественное и количественное воспроизведение компонент экосистемного блока модели. Например, весенняя вспышка цветения фитопланктона следует по времени за сходом льда. Начавшись в первых числах июня, она обеспечивает сравнительно высокое среднемесячное значение фитопланктона для всего месяца. Недостаточно верное математическое описание закономерностей ледового режима приведет к смещению в цикле продуцентов. Более того, быстрое освобождение моря от плавучего льда при высокой инсоляции в сочетании с увеличением температуры приповерхностного слоя воздуха, а значит и поверхностного слоя воды, ускоряет биогеохимические процессы. Это связано с тем, что лето в районе Белого моря очень короткое, и так называемая “дружная весна” положительно сказывается на увеличении биомассы всех пелагических организмов. Таким образом, события второй половины мая в Белом море - ключевые для функционирования экосистем в теплый период года. Результаты численных экспериментов, выполненных на программном комплексе JASMINE [1], показывают, что влияние изменений, произошедших в мае, прослеживается практически до сентября включительно. Лед сам является средой для развития сообществ, которые в настоящий момент времени в Белом море изучены крайне слабо [2, 3, 4]. В основном экосистема льда представлена криоальгофлорой и бактериями. Биота морского льда весьма продуктивна, особенно весной, и может даже превосходить пелагическое сообщество в верхнем приледном слое воды [5]. Продукция ледовых сообществ участвует и в пелагических, и в бентосных пищевых цепях [2]. Таяние льда высвобождает большое количество органических останков, биогенных элементов и, возможно, живых организмов. Вычислительный комплекс JASMINE призван воспроизводить динамику состояния моря (скорости, температура и соленость, уровень моря, ледяной покров, а также поля биогеохимических концентраций) и включает в себя модель морской экосистемы BFM (http://bfm-community.eu/); в новую версию входит блок биогеохимии морского льда [6]. В докладе обсуждается попытка комплексного описания динамики Белого моря, включая гидродинамические и термодинамические процессы, развитие пелагической экосистемы, обменивающейся веществом с бентосом и нижним биологически активным слоем льда, и описание экосистемы этого слоя. Биота льда описана набором двумерных концентраций, соответствующих двум группам водорослей, зоопланктону, бактериям, а также биогенным и неорганическим веществам. Физические характеристики льда поставляются блоком динамики моря. Основное отличие модели с учетом биоты морского льда от модели без нее в следующем: период схода льда сопровождается выделением в воду органических веществ, биогенных элементов и, возможно, живых организмов. По предварительным результатам, концентрация хлорофилла «а» в поверхностном слое моря получается намного выше, если в расчетах учитывается биота

льда. Отметим, что активное развитие криофлоры в Белом море приходится на краткий срок между удлинением светового дня и временем начала схода льда (март-апрель). Именно этот период оказывает важное влияние на последующую динамику пелагических сообществ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-45-100162.

Список литературы

1) Chernov, I., Lazzari, P., Tolstikov, A., Kravchishina, M., Iakovlev, N. Hydrodynamical and biogeochemical spatiotemporal variability in the White Sea: A modeling study // Journal of Marine Systems. № 187. 2018. P. 23–35. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2018.06.006

2) Сажин А.Ф., Сапожников Ф.В., Ратькова Т.Н., Романова Н.Д., Шевченко В.П, Филиппов А.С. Население весеннего льда, воды и грунтов Белого моря в устьевой зоне Северной Двины // Океанология. Т. 51. № 2. 2011. С. 307-318

3) Belevich T.A., Ilyash L.V., Milyutina I.A., Goryunov D.V., Logacheva M.D., Troitsky A.V. Photosynthetic Picoeukaryotes in the Land-Fast Ice of the White Sea, Russia // Microbial Ecology, 75(3). 2018. P. 582-597. DOI 10.1007/s00248-017-1076-x

4) Krell A., Ummenhofer C., Kattner G., Naumov A., Evans D., Dieckmann G.S., Thomas D.N. The biology and chemistry of land fast ice in the White Sea, Russia — A comparison of winter and spring conditions // Polar Biology. 26. 2003. P. 707–719. DOI 10.1007/s00300-003-0543-7

5) Maria A. Van Leeuwe, Letizia Tedesco, Kevin R. Arrigo, Philipp Assmy, Karley Campbell, Klaus M. Meiners, Janne-Markus Rintala, Virginia Selz, David N. Thomas, Jacqueline Stefels, Jody W. Deming. Microalgal community structure and primary production in Arctic and Antarctic sea ice: A synthesis. Elem Sci Anth. Vol. 6. 2018. DOI: https://doi.org/10.1525/elementa.267

6) Tedesco L., Vichi M. Sea Ice Biogeochemistry: A Guide for Modellers // PLoS ONE 9(2) 2014. E89217. DOI: 10.1371/journal.pone.0089217.

ОЦЕНКА ОБЪЁМОВ ПРОДУЦИРОВАННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА И ВЫДЕЛЕННОГО РАСТВОРЁННОГО КИСЛОРОДА ФИТОЦЕНОЗАМИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КРЫМА

Филиппова Т.А., Васечкина Е.Ф.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

deryabina1993@yandex.ru

Ключевые слова: прибрежные фитоценозы, цистозира.

Прибрежные фитоценозы Крыма представлены в основном двумя видами сообществ морских водорослей: зостеры и цистозиры. На каменистом дне произрастает преимущественно цистозира, на песчаном - зостера [1]. До сих пор дискутируется вопрос о существенности вклада, вносимого фитоценозами макроводорослей в запасы органического углерода и растворённого кислорода в той или иной акватории.

Целью данной работы является оценка объёмов продуцирования органического углерода и растворённого кислорода прибрежной зоны Крыма на примере фитоценоза бурой макроводоросли цистозиры.

Фитоценоз цистозиры прибрежной части Чёрного моря представляет собою сложный ансамбль макро- и микроводорослей, в котором главными структурообразующими видами выступают *Cystoseira crinita* и *Cystoseira barbata*. Эти виды служат основой комплекса, остальные являются эпифитами и прикрепляются к слоевищу и талломам цистозиры. В подповерхностном слое (0-3 м) биомасса цистозиры достигает своих максимальных значений, постепенно уменьшаясь с глубиной, где биомассу фитоценозов преимущественно формируют уже другие растения сообщества: красные, бурые, зелёные макроводоросли и мелкие эпифиты. В фитоценозах цистозиры наиболее часто встречаются представители родов энтероморфы, цераниума, кладофоры, эктокарпуса, лауренсии, филофоры и другие растения. В зависимости от района акватории соотношение между биомассами растений сообщества может варьироваться, однако видовое разнообразие в основном меняется незначительно [2].

Для оценки объемов поглощенных и выделенных фитоценозом веществ воспользуемся моделью роста макроводоросли [3]. Используя данную модель можно оценить массу органического вещества, продуцированного водорослью в процессе роста, рассчитать количество потреблённых азота и фосфора и выделенного кислорода в процессе фотосинтеза. Скорости протекания процессов в морских растениях зависят от морфологии организма, освещённости, температуры и концентрации нутриентов в морской воде. Модель позволяет производить расчёты, учитывая все параметры, указанные выше. Тот факт, что у водорослей различных типов процессы потребления, экскреции и роста происходят с различной интенсивностью, в модели отражается введением показателя удельной площади поверхности водоросли - отношения площади поверхности к массе (или объему) водоросли. Согласно исследованию [4], морфометрические характеристики существенно влияют на скорость процессов, протекающих в макроводорослях. Чем выше показатель удельной площади поверхности, тем большая часть растения вовлечена в процессы фотосинтеза, а следовательно, тем интенсивнее происходит потребление соединений биогенных элементов, выделение органических веществ, что в свою очередь способствует более интенсивному росту растения.

В фитоценозе цистозиры наибольшей удельной поверхностью обладают мелкие эпифиты, поэтому эффективность процессов поглощения биогенных элементов и выделения кислорода во многом определяется биомассой этих видов. Очевидно, что для адекватной

оценки потоков химических веществ, производимых фитоценозом необходимо учитывать вклад всех растений, входящих в ансамбль. В качестве внешних условий модели выступают температура воды, освещенность, концентрации азота и фосфора в воде. Начальные условия: перечень видов макроводорослей фитоценоза, их морфометрические характеристики и начальное значение биомассы каждого вида. В результате работы модели мы получаем динамику роста биомассы всех видов макроводорослей фитоценоза в единицах углерода, объемы поглощенных ими биогенных веществ и выделенного кислорода. Анализируя эти данные можно получить представление о соотношении биомасс, составляющих фитоценоза на различных этапах его развития и вклада этих составляющих в суммарный процесс обмена веществом с окружающей средой.

В докладе представлены результаты численного моделирования функционирования фитоценоза цистозиры, типичного для крымского побережья Чёрного моря. В работе показано, что наибольший вклад в процессы поглощения и выделения вносят эпифиты, обрастающие базифит, что свидетельствует о важности учёта всего фитоценоза для адекватной оценки объёмов продуцирования органического углерода и растворённого кислорода. Результаты моделирования согласуются с натурными данными, полученными в ходе биолого-химических исследований состава фитоценозов указанной части моря [4, 5].

Список литературы

1) Капков В. И., Шошина Е. В., Беленикина О. А. Биоремедиация морских прибрежных экосистем: использование искусственных рифов // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2016. Т. 19, № 1-2. С. 286–295.
2) Мильчакова Н. А. Макрофитобентос // Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (черноморский сектор) / Под ред. В. Н. Еремеева, А. В. Гаевской. – Севастополь: Экоси-Гидрофизика, 2003. – С. 152 – 208.
3) Васечкина Е.Ф., Филиппова Т.А. Моделирование биохимических процессов в бентосных фитоценозах прибрежной зоны // Морской гидрофизический журнал. 2019. №1.
4) Хайлов К. М., Ковардаков С. А.,Празукин А. В. Биологические поверхности многоуровневых фитосистем и расчет их численных характеристик // Морской экологический журнал. 2004. Т. 3, № 3.С. 61-77.
5) Ковардаков С. А., Ковригина Н. П., Изместьева М. А. Донный фитоценоз в акватории до мыса Айя и его вклад в процессы самоочищения // Системы контроля окружающей среды.Севастополь : МГИ, 2004. С. 250-257.

МЕТОД КАРТИРОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ ПО СОНАРНЫМ ДАННЫМ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТИРОВАНИЯ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ШЕЛЬФА И ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Абрамова А.С., Зарайская Ю.А.

Геологический институт РАН, г. Москва

abramanastas@gmail.com

Ключевые слова: Сонарные данные, многолучевой эхолот, покмарки, звукорассеивающие объекты в водной толще, Баренцево море.

Большой объем данных многолучевого эхолотирования, собранный на протяжение многочисленных экспедиций на судне НИС «Академик Николай Страхов» (2005-2018 гг.) (Геологический Институт РАН) позволяет проводить широкий спектр анализа данных. Непосредственно в файл регистрации глубин многолучевыми эхолотами RESON Seabat 8111, 100 кГц, Seabat 7150, 12 кГц также пишутся сонарные данные, которые регистрируют интенсивность рассеянного сигнала от донных структур, а так же об интенсивных рассеивателях в водной толще. Данные сонарной моды эхолота предоставляют информацию аналогичную данным гидролокатора бокового обзора (ГБО) [1]. Детальное картирование донных структур, таких как покмарки (газовые воронки), бугры пучения, аномалии типа даек, а так же аномалии в водной толще и их сопоставление с геоморфологией территории, данными высокочастотного профилирования и сейсмоакустических данных, позволяет оценить неотектоническую обстановку в районе исследования.

Метод интерпретации с оцифровкой (пикировки) геофизических данных, разработанной в лаборатории геоморфологии и тектоники дна океанов ГИН РАН [2, 3] расширяется и разрабатывается для данных сонарной компоненты многолучевого эхолота. Программа SeiSee (ДМНГ) позволяет быстрый просмотр сонарных данных после применения полосовой фильтрации и неполного восстановления амплитуд, без устранения водной толщи. Для пространственной интерпретации события в водной толще были выделены следующие объекты для пикировки: облако осадков; вертикальные газовые факелы; газовые просачивания, ассоциирующиеся с покмарками; отдельные бескорневые звукорассеивающие объекты (ЗРО) и их скопления; зоны отдельных пузырей. Для характеристики структуры дна были выделены следующие явления для пикировки: газовые воронки (покмарки), цепочки покмарок, зоны мелких покмарок, грязевые вулканы, аномалии типа дайки, бугры пучения с возможным выходом газа в водную толщу, темные пятна на сонарной записи, зоны звукорассеивающих объектов с большой отражательной способностью (обнажения твердых пород), светлые пятна - породы с нулевой рассеивающей способностью (как правило, плоские глинистые осадки), борозды ледникового выпахивания, границы смены характера подстилающего грунта, картирование объектов с неопознанной морфологией (антропогенные объекты).

В ходе 28 рейса НИС «Академик Николай Страхов» (18-ый рейс «Плавучий Университет»-TTR-18, ЮНЕСКО-МГУ) была проведена детальная геолого-геофизическая съемка в южной части Баренцевоморского шельфа в районе свода Федынского и Северо-Кильдинского месторождения. В ходе работ была проведена съемка многолучевым эхолотом Reson Seabat 8111/7150 и картирование верхней части осадочного чехла высокочастотным профилографом EdgeTech 3300. В результате многолучевой съемки были детально отсняты

несколько поднятий солянокупольного генезиса и участок подводного канала стока талых ледниковых вод. В результате проведенного геоморфологического анализа детальных полигонов съемки наблюдается сложный облик рельефа, обусловленный процессами солянокупольной тектоники, осложненными процессами ледниковой денудации, а также проявлениями процессов дегазации, выраженными в рельефе полями газовых воронок-покмарок. Рассмотренные поднятия были образованы при поднятии отложений соли пермского возраста. Соляные толщи образовались в условиях теплого мелководного моря при выпаривании морской воды [4]. Перекрывание отложений соли песчаными и илистыми осадками привело к образованию куполообразных образований - соляных диапиров. В некоторых местах вершины диапиров достигают поверхности дна и образуют поднятия, которые были закартированы в ходе рейса НИС «Академик Николай Страхов». Подобные структуры образуют газовые и нефтяные ловушки. Просачивание газа через в водную толщу происходит с образованием покмарок, представляющих собой воронки, диаметр которых варьируется в широком диапазоне от 10 м до более чем 1000 м. Как показывают данные батиметрического картирования норвежской программы MAREANO [4], 85 % дна норвежского сектора Баренцева моря к югу от 72^{o} 30' с.ш. покрыто покмарками (300-800 шт/км2). Преобладают небольшие покмарки 20-30 м в диаметре и 2-4 м в глубину. В российском секторе покмарки также имеют широкое распространение, как показывают полученные нами данные.

По результатам частичной пикировки сонарной моды эхолота были построены карты проявления звукорассеивающих объектов в водной толще, а так же карта распространения крупных покмарок. Пространственная визуализация отпикированных явлений создает основу для более детальной интерпретации неотектонических проявлений в регионе. Так, концентрация звукорассеивающих объектов в водной толще отмечается в районе Северо-Кильдинского месторождения, а так же к югу от южного диапира и, по всей видимости, приурочена к зонам газовой разгрузки. Однако их проявления так же могут быть связаны с косяками рыб, либо гидрологическими условиями в водной толще (такими как температура, зоны концентрации кислорода и течения). Крупные покмарки (более 15-20 м) концентрируются в районе соляных диапиров, и в районе полигона "Покмарки", а так же в районе Северо-Кильдинского месторождения. Пространственное совпадение покмарок и звукорассеивающих аномалии в воде наблюдается только в восточной части района работ и не наблюдаются в районе соляных диапиров, что может свидетельствовать о прекращении газовых проявлений, ассоциированных с диапирами и о продолжении газовой разгрузки в районе месторождения.

Работа выполнена в рамках темы «Опасные геологические процессы в Мировом океане: связь с геодинамическим состоянием коры и верхней мантии и новейшими движениями» (№ 0135-2016-0013, А17-117030610105-9) и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-35-20060, 18-05-70040.

Список литературы

1) Мусатов Е.Е. Структура кайнозойского чехла и неотектоника Баренцево-Карского шельфа по сейсмоакустическим данным//Российский журнал наук о Земле. Т.1, №2, 1998. с. 157-183

2) Соколов С.Ю., Мороз Е.А., Абрамова А.С., Зарайская Ю.А., Добролюбова К.О. Картирование звукорассеивающих объектов в северной части Баренцева моря и их геологическая интерпретация // Океанология. Т.57. № 4., 2017. с. 655–662

3) Соколов С.Ю., Абрамова А.С., Зарайская Ю.А., Мазарович А.О., Добролюбова К.О. Современная тектоническая обстановка северной части хребта Книповича, Атланти-

ка // Геотектоника. № 3, 2014. с. 16–29. DOI: 10.7868/S0016853X14030060

4) Buhl-Mortensen L., Hodnesdal H., Thorsnes T. (eds.) The Norwegian Sea Floor: New Knowledge from MAREANO for Ecosystem-Based Management. MAREANO, 2015. 193 pp.

УСЛОВИЯ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ НА ВОСТОЧНОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ГОЛОЦЕНЕ НА ФОНЕ РАЗВИТИЯ ПОСЛЕЛЕДНИКОВОЙ ТРАНСГРЕССИИ

Аверкина Н.О.[1], **Талденкова Е.Е.**[1], **Овсепян Я.С.**[2]

[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический ф-т, г. Москва*

[2]*Геологический институт РАН, г. Москва*

natal-y@mail.ru

Ключевые слова: палеоокеанология, микропалеонтология, Арктика, море Лаптевых, фораминиферы, атлантические воды, реконструкции палеоусловий, голоцен

Известно, что высокие широты отличаются повышенной чувствительностью и усиленной ответной реакцией окружающей среды на колебания климата. По этой причине Арктический регион является основным в изучении палеообстановок и влияющих на них механизмов. В море Лаптевых ответные изменения проявляются в колебаниях границ и площади сезонного ледового покрова, вариациях объема речного стока, различной интенсивности проникновения трансформированных атлантических вод вдоль континентального склона и степени их взаимодействия с холодными и опресненными арктическими водами. В послеледниковое время одним из первостепенных откликов на потепление климата был активный рост уровня моря и, как следствие, отступание суши - затопление шельфа. Наиболее значительно трансгрессия происходила в голоцене (до 5 тыс.л.н.) [1] на фоне наибольшего потепления и окончательного распада ледниковых щитов.

В данной работе мы сконцентрировались на изучении особенностей осадконакопления на восточной континентальной окраине моря Лаптевых в этот благоприятный период (последние $\sim$ 11.7 тыс.л.н.), сопоставляя результаты исследования двух AMS^{14}C датированных колонок морских осадков, поднятых с разных глубин континентального склона: PS2458 (длина голоценовой части $\sim$440 см, глубина 983 м) и PS51/118 (длина 866 см - возраст осадков из керноприемника $\sim$10,8 тыс.л., глубина 122 м). Таким образом, можно проследить особенности палеоусловий в голоцене в глубоководной части склона, которая находится под влиянием атлантических вод и ближе к внешнему шельфу, где значительную роль в осадконакоплении играет сток рек Лены и Яны.

Осадки обеих колонок детально изучены микропалеонтологическим методом (бентосные и планктонные фораминиферы, остракоды во фракциях >63 мкм), выполнен гранулометрический анализ с подсчетом терригенного материала ледового и айсбергового разноса (IRD) сплошь по разрезам. Для колонки PS2458 имеются данные по изотопно-кислородному и изотопно-углеродному составу раковин фораминифер (часть результатов опубликована [2]). Для PS51/118 также проведен палинологический анализ (споры, пыльца и морские палиноморфы) [3].

Несмотря на значительные различия палеоусловий в местах взятия колонок, можно проследить и общие закономерности.

Ранний голоцен (11,7 - 8,2 кал.тыс.л.н.) выделяется в обоих разрезах, как наиболее теплый интервал, когда море было свободно от сезонного льда. На это указывают максимальное содержание бентосных, а в глубоководной части и планктонных, фораминифер и макрофоссилий в осадках, отсутствие IRD, а также всплески высокой биопродуктивности, возможно, приуроченной к сезонному краю морского льда (относительно высокое процентное содержание фитодетритных видов бентосных фораминифер *Nonion labradoricum, Stainforthia loeblichi, Islandiella* spp.). Данные условия наиболее выражены в интервале до $\sim$9,5 кал.тыс.л.н. Влияние речного стока отражается в присутствии проксимальных комплексов и вида-оппортуниста *Elphidium clavatum* [4], в особенности в колонке PS51/118.

Это свидетельствует о стратификации водной толщи в результате опреснения поверхностного слоя, закономерно больше проявленного ближе к шельфу. При этом состав осадков колонки PS51/118 по сравнению с PS2458 более тонкозернистый, несмотря на ее близость к устьям рек. Вероятно, это была зона активного осаждения взвеси в пределах маргинального фильтра. О более выраженных морских условиях на большей глубине свидетельствует максимальное биоразнообразие и присутствие вида-индикатора атлантических вод *Cassidulina neoteretis* [1] в колонке PS2458.

В среднем голоцене (8,2 - 4 кал.тыс.л.н.) мы выделяем два интервала: в осадках, соответствующих 8,2 - 7,4 кал.тыс.л.н., полностью исчезают все фоссилии ближе к шельфу и резко снижается их количество с глубиной. Подобная картина, с резким снижением скоростей седиментации, наблюдается и в западной части моря Лаптевых [1]. Крайне тонкозернистые осадки свидетельствуют о мощном ледовом покрове. Резкое изменение палеообстановок, возможно, связано с существенным опреснением, природа которого пока неизвестна.

После 7,4 кал.тыс.л.н. увеличивается содержание грубых фракций и IRD. В западной части бассейна также наблюдается резкое возрастание численности терригенного материала, которая на несколько порядков выше, чем в восточной [1]. По всей видимости, в этот период происходил распад ледниковых шапок на архипелаге Северная Земля и айсберги, в основном, захватывались Трансполярным дрейфом, почти не достигая восточной континентальной окраины. При этом в осадках мелководной колонки PS51/118 количество IRD в интервале 7,4 - 4 кал.тыс.л.н. заметно выше, чем в глубоководной PS2458, как и процентное содержание видов внутреннего шельфа. Возможно, близко к этому месту происходило наиболее активное вытаивание включенных в состав льда и перенесенных к границе сезонных дрейфующих льдов фоссилий и терригенных зерен.

В позднем голоцене (после 4 кал.тыс.л.н.) содержание грубозернистых фракций и материала ледового и айсбергового разноса увеличивается, в особенности в осадках более мелководного разреза, что, наряду с низким содержанием фоссилий, говорит о похолодании, наблюдающемся и в западной части моря Лаптевых [1].

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ мол_а 18-35-00362.

Список литературы

1) Taldenkova E., Bauch H.A., Stepanova A., et al. Benthic and planktic community changes at the North Siberian margin in response to Atlantic water mass variability since last deglacial times // Marine Micropaleontology. – 2012. – V. 96. – P. 13-28.

2) Spielhagen R.F., Erlenkeuser H., Siegert C. History of freshwater runoff across the Laptev Sea (Arctic) during the Last deglaciaion // Global and Planetary Change. – 2005. – Vol. 48 (1-3). – P. 187-207.

3) Rudenko O., Tarasov P.E., Bauch H.A., Taldenkova E. A Holocene palynological record from the northeastern Laptev Sea and its implications for palaeoenvironmental research // Quaternary International. – 2014. – Vol. 348. – P. 82-92.

4) Polyak L., Korsun S., Febo L., et al. Benthic foraminiferal assambleges from the southern Kara Sea, a river-influenced Arctic marine environment // Journal of Foraminiferal Research. – 2002. – Vol. 32. – №. 3. – P. 252-273.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОКСИМАЛЬНЫХ ЛЕДНИКОВО-МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВНУТРЕННЕГО ШЕЛЬФА МОРЯ АМУНДСЕНА (ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИКА)

Афанасьева В.К.[1,2], **Хилленбранд К.Д.**[3], **Кун Г.**[4], **Клаггес Й.Ф.**[4], **Лейченков Г.Л.**[1,2]

[1] *ФГБУ ВНИИОкеангеология, г. Санкт-Петербург*

[2] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[3] *Британская Антарктическая Служба, г. Кембридж*

[4] *Институт полярных исследований им. Альфреда Вегенера, г. Бремерхафен*

afanasyeva.vk@gmail.com

Ключевые слова: Западная Антарктика, четвертичные отложения, стоки талых ледниковых вод, динамика ледника, гранулометрический анализ, плюмиты.

Залив Пайн-Айленд, море Амундсена, является местом стока одного из крупнейших по ледосбору в Западной Антарктике выводного ледника. За последнее десятилетие ледник Пайн-Айленд стал одним из важнейших объектов комплексных геолого-геофизических исследований в Антарктике в связи с увеличением скоростей течения выводных ледников, а также таяния и отступания шельфовых ледников и линий их налегания [1].

Благодаря уникальным ледовым условиям во время рейса НИС Поларштерн в 2017 году стало возможным отобрать пробы в ранее недоступном районе. Изучен керн (длина 7,59 м), полученный гравитационной трубкой на глубине около 700 м из небольшого осадочного бассейна у фронта ледника Пайн-Айленд. Целью работ было изучение циклов подлёдного стока талых вод и процессов осадконакопления под шельфовым ледником.

Был проведен детальный гранулометрический анализ, описаны структуры отложений, с помощью рентгенографического исследования были выделены осадочные фации. Накопление осадочного материала происходило преимущественно под шельфовым ледником в небольшом осадочном бассейне у линии откола айсбергов. Основным источником осадочного вещества служил терригенный обломочный материал (дебрис) разной размерности, переносимый в теле, на поверхности, в базальной части ледника, а также талыми ледниковыми водами в виде взвешенных частиц.

Основными процессами осадконакопления в изучаемом керне являются: осаждение из взвеси плюмов талых вод, низкоплотностные и высокоплотностные придонные течения, гравитационные потоки, перенос плавучими льдами.

Во время исследования были выделены следующие фации:

1. Градационные параллельно-тонкослоистые ритмические ламиниты («плюмиты», plumites [2]). Проксимальные ледниковые отложения часто представляют собой переслаивающиеся, хорошо стратифицированные слои разнозернистых осадков и получили название «циклопели» или «ритмиты» (cyclipels, rythmites [3]). Как правило, вблизи отступающего ледника наблюдаются высокие скорости осадконакопления [4]. Одну пару таких отложений принято считать результатом осаждения суспензионного облака, образующегося при однократном сбросе талых вод (т.н. fluid melt water plume [2]), где нижний слой обычно сложен частицами преимущественно размером от 2-63 мкм, а верхний слой - с преобладанием частиц меньше 2 мкм.

2. Градационные параллельно-слоистые отложения гравитационных потоков. Пачки отложений с прямой градационной параллельной слоистостью и интерламинацией [3] могут быть результатом как гравитационных потоков (оползни, провоцирующие турбидитные потоки), так и результатом высокоплотностных придонных течений, сформированных в результате высокоэнергетического выброса талых вод (underflow [5]).

3. Отложения с тонкой косой слоистостью. Косая слоистость является результатом деятельности придонных течений разной природы (например, усиления притока тёплых придонных антарктических вод на шельфы [6]).

4. Отложения без отчётливой структуры. Отложения без видимых структурных особенностей, вероятно, являются результатом осаждения взвешенных частиц из взвешенного состояния на удалении от источника выброса талых вод, переносящих взвешенный обломочный материал.

Список литературы

1) Rignot E. et al. Widespread, rapid grounding line retreat of Pine Island, Thwaites, Smith, and Kohler glaciers, West Antarctica, from 1992 to 2011 // Geophysical Research Letters. – 2014. – Vol. 41. – №. 10. – P. 3502-3509.
2) Wang D., Hesse R. Continental slope sedimentation adjacent to an ice-margin. II. Glaciomarine depositional facies on Labrador Slope and glacial cycles // Marine Geology. – 1996. – Vol. 135. – №. 1-4. – P. 65-96.
3) Mackiewicz N. E. et al. Interlaminated ice-proximal glacimarine sediments in Muir Inlet, Alaska // Marine Geology. – 1984. – Vol. 57. – №. 1-4. – P. 113-147.
4) Lowe A. L., Anderson J. B. Evidence for abundant subglacial meltwater beneath the paleo-ice sheet in Pine Island Bay, Antarctica // Journal of Glaciology. – 2003. – Vol. 49. – №. 164. – P. 125-138.
5) Hesse R. et al. Asymmetrical turbid surface-plume deposition near ice-outlets of the Pleistocene Laurentide ice sheet in the Labrador Sea // Geo-Marine Letters. – 1997. – Vol. 17. – №. 3. – P. 179-187.
6) Jacobs S. S. et al. Stronger ocean circulation and increased melting under Pine Island Glacier ice shelf // Nature Geoscience. – 2011. – Vol. 4. – №. 8. – P. 519.

НОВЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ОПОЛЗНЕВОЙ ДЕСТРУКЦИИ АВАНДЕЛЬТЫ Р. СЕЛЕНГА: ЕЛОВСКАЯ ПОГРЕБЕННАЯ СТРУКТУРА НА СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ CLASS@BAIKAL

Буланова И.А.[1], **Соловьева М.А.**[2], **Ахманов Г.Г.**[1], **Хлыстов О.М.**[3], **Старовойтов А.В.**[1]

[1]*Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

[2]*Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

[3]*ЛИН СО РАН, г. Иркутск*

irabulanova97@mail.ru

Ключевые слова: оползневые процессы, оз. Байкал, авандельта, сейсмоакустическое профилирование.

Озеро Байкал - уникально. В мире ему нет равных по возрасту, глубине и запасам пресной воды. Дно озера характеризуется наличием разнообразных геологических структур и объектов.

В 2015 году в ходе международной экспедиции Class@Baikal-2015 на акватории озера Байкал проводились сейсмоакустические исследования с помощью набортного профилографа Knudsen (частота 1-10 КГц), а также отбор проб донного осадка, взятых с помощью ударных трубок, длиной 3 и 5 метров [1]. Одним из районов исследований являлся полигон «Еловский», расположенный в северной части южной котловины озера Байкал, в зоне авандельты р. Селенга. В 2015 году в данном районе было отработано 19 профилей, часть из которых составила сетку, равномерно покрывающую район работ для общего изучения данного полигона. На полученных данных были обнаружены аномальные области сейсмической записи, вкрест которым были проложены дополнительные профили для более детального исследования. По итогам экспедиции были выделены структуры, аналогов которым ранее на акватории не встречали, однако природу и механизм образования данных объектов определить не удалось. Данные объекты на сейсмической записи выделяются по малоамплитудному параболическому отражению над границей дна и представляют собой положительные формы шириной 200-300 метров и высотой от 10 до 25 метров [2].

Для более подробного изучения объектов в 2018 году на полигоне Еловский было проведено сейсмоакустическое профилирование, которое представляло собой одноканальную съемку с использованием многоэлектродного источника типа «спаркер» (центральная частота 400 Гц). В 2018 году в данном районе было отработано 15 профилей.

Детальный анализ всего имеющегося материала сейсмоакустических исследований, выполненных в рамках экспедиций Class@Baikal, позволил обнаружить и предварительно закартировать специфическое линзовидное осадочное тело, распространённое на исследуемом полигоне. Кровля данного тела неровная, прослеживается на глубине в среднем от 20 до 60 м ниже уровня дна, на некоторых участках поднимаясь практически до поверхности дна. Мощность линзы максимальна в её центральной части, где достигает 90 м. В плане исследуемый объект - суб-изометричный с диаметром до 5 км, хорошо обнаруживается практически на всей площади полигона "Еловский".

Линза характеризуется хаотической волновой картины, отчётливо выделяется на фоне параллельно-слоистой сейсмической записи вмещающих отложений. Вероятно, линза представляет собой крупное оползневое тело или отложения высокоплотностного гравитационного потока. Описанные выше структуры пространственно приурочены к области распространения линзовидного тела, в связи с чем можно предполагать их генетическую взаимосвязь. Стоит отметить, что оползневые процессы в области авандельты р. Селенга встречаются нередко [3].

Также в ходе предварительной интерпретации были трассированы разрывные нарушения по характерным признакам, таким как смещение осей синфазности и изменение волновой картины. Данные разломы выделяются в рельефе дна, что свидетельствует об их современной активности.

Для изучения осадочного разреза в пределах исследуемых объектов в ходе экспедиции были взяты пробы донного осадка. В экспедиции 2018 года было поднято 5 ударных трубок с керном. В основном, осадок представлял собой слои глинисто-диатомового ила, глинистого ила и алевро-глинистого ила. Однако в одной из трубок наблюдался разрез, сложенный очень плотной, сухой алевро-глиной, что является нехарактерным для донных осадков Байкала. Аналогичный разрез в той же структуре вскрыт ударной трубкой и в экспедиции 2015 года.

Таким образом, работа направлена на комплексную интерпретацию структур полигона Еловский, не имеющих аналогов на акватории Байкала. Информация, полученная по двум методикам сейсмоакустических исследований (с использованием источника типа «спаркера» и с использованием профилографа), а также по данным геологического пробоотбора, позволила осуществить детальное картирование исследуемого полигона, более точно описать строение разреза и сделать предположение о механизме образования структур полигона.

Список литературы

1) 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.

2) Буланова И.А., Соловьева М.А., Ахманов Г.Г.:Предварительные результаты геолого-геофизических исследований полигона Еловский (озеро Байкал). // // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2018» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс] — М.: МАКС Пресс, 2018.

3) Хлыстов О.М., Кононов Е.Е., Хабуев А.В., Белоусов О.В., Губин Н.А., Соловьева М.А., Наудс Л.:Геолого-геоморфологические особенности Посольской банки и Кукуйской гривы озера Байкал / Геология и геофизика, 2016, т. 57, № 12, с. 2229—2239.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ

Гуров К.И.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

gurovki@gmail.com

Ключевые слова: донные отложения, Балаклавская бухта, Крымский п-ов, гранулометрический состав, модель XBeach.

Исследование региональных особенностей динамики гранулометрического состава прибрежно-морских наносов на участках побережья Западного Крыма является актуальным в связи с существенным увеличением темпов освоения рекреационного потенциала данного региона. Для таких акваторий как Балаклавская бухта, отличающихся своей замкнутостью, изучение особенностей пространственного распределения донных отложений является первоочередной задачей, позволяющей выявить основные источники загрязнения и смоделировать пути их дальнейшего распространения.

Результаты мониторинговых исследований донных осадков Балаклавской бухты показали, что в прибрежной полосе отложения состоят из среднезернистых песков с включением ракушечного материала и известнякового гравия. В кутовой северной и центральной глубоководной частях акватории, а также на выходе из бухты преобладает мелкодисперсная илистая фракция.

В настоящей работе исследование динамики гранулометрического состава донных осадков в акватории Балаклавской бухты проводились с использованием модели XBeach [1]. 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.

Используя двумерную модификацию модели XBeach для акватории Балаклавской бухты было проведено два численных эксперимента, направленных на исследование особенностей перераспределения песчаного материала под воздействие ветрового волнения различной интенсивности.

В первом эксперименте использовалось однородное дно, состоящее из осредненных значений трех фракций. Для второго эксперимента использовалась комбинация из трех фракций, пространственное распределение которых основано на результатах мониторинговых исследований.

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.

Результаты исследований показали, что основным определяющим фактором, регулирующим перемещение материала, является глубина и уклон дна. Отмечено, что из выбранных гидродинамических параметров наибольшее влияние на характер перераспределения осадка оказывает изменение высоты волны.

Результаты моделирования показали, что крупнозернистый и среднезернистый материал сконцентрирован в береговой зоне и в районах, прилегающим к мысам.

Отмечено, что в процессе штормового воздействия мелкозернистая фракция выносится в глубоководную часть акватории и накапливается здесь за счет ослабления гидродинамической активности.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Прибрежные исследования», а также при частичной поддержке проектов РФФИ № 18-45-920007 и № 18-35-00230.

Список литературы

1) XBeach Model Description and Manual, Unesco-IHE Institute for Water Education, Deltares and Delft University of Technology, 2010, 106 p.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДВОДНОГО ПЕСЧАНОГО БАРА НА ВХОДЕ В КАЛИНИНГРАДСКИЙ ЗАЛИВ КАК ИНДИКАТОРЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОДООБМЕНА ЗАЛИВА С МОРЕМ

Закиров Р.Б.[1,2]**,Чубаренко Б.В.**[2]

[1] *Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, г. Калининград*

[2] *Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва*

kotruslan2@yandex.ru

Ключевые слова: бесприливные лагуны, геоморфология, эрозия, аккумуляция, водообмен, залив, песчаный бар, наносы.

Каналы, соединяющие береговые лагуны с морской акваторией, характеризуются наличием внутренних и внешних песчаных баров. Они наиболее ярко выражены в приливных лагунах, но так же встречаются в лагунах, где приливы незначительны [1]. Основным механизмом образования обратных (внутренних) баров в бесприливных лагунах являются непериодические ветровые нагоны. Именно такой бар имеется на входе в Калининградский залив, который является типичной эстуарной лагуной [2]. Он сложен морским песком, который поступает в залив вместе с морскими водами [3,4]. Т.к. последние полвека в Калининградском морском канале (КМК) ведутся дноуглубительные работы [5], то предполагается, что весь поступающий материал перехватывается в КМК, не доходя до акватории залива, и морфодинамика песчаного бара за этот период достигла равновесного состояния. В связи с этим, установившиеся локальные элементы донного рельефа могут отражать гидродинамическую структуру водообмена залива с морем. Первым шагом к решению этого вопроса является установление современных морфометрических характеристик подводного песчаного бара (ППБ) и уточнение представлений о его возникновении. Именно этому и посвящена настоящая работа.

На основе данных промера глубин однолучевым эхолотом на входе в Калининградский залив, проведенных АО ИО РАН (02.08.2012, Домнин Д.А,) и данных промеров глубин многолучевым эхолотом на участке КМК за 2008-2016 гг. (данные «Росморпорт») построена цифровая модель рельефа и выполнен анализ элементов геоморфологической структуры подводного песчаного бара на входе в Калининградский залив и участка КМК, соединяющего залив с морем.

ППБ с юга охватывает вход из КМК в Калининградский залив, примыкает к оконечности Балтийской (Вислинской) косы, в районе поселка Коса, имеет вытянутую с запада на восток форму и характеризуется наличием эрозионных и аккумулятивных участков: ложбин и отмелей. Очертание основания бара описывается изобатой 2.5 м, его расчетный объем составляет 10 200 000 м^3. Аккумулятивные участки ППБ представлены западной и восточной отмелями. Западная отмель, расположенная между эрозионными промоинами, характеризуется наличием двух вершин, северной и южной, толщина аккумулятивного тела на данном участке 1 м. Восточная отмель вытянута с запада на восток и упирается в защитный мол, который отделяет морской канал от залива, и характеризуется наличием бровки внутреннего склона (более крутого, чем внешний), которая указывает направление преимущественно аккумулятивных процессов на этом участке - толщина аккумулятивного тела 1.6 м. К эрозионным участкам ППБ следует отнести центральную и западную ложбины. Центральная ложбина пересекает аккумулятивное тело в центральной части с севера на юг, средняя глубина ложбины 3 м, что больше основания аккумулятивного тела, ложбина является сквозной. Узкая западная ложбина вытянута с севера на юг вдоль Вислинской косы, отделяет бар от косы и пересекает вход в Гидрогавань.

Фарватер КМК, соединяющий залив с морем, ежегодно заносится на одних и тех же участках. По данным дноуглубительных работ на этих участках за 2008-2016 гг. скорость заносимости КМК составляла 27000 м^3/год. Поскольку бар сложен морским песком, попадающим в залив вместе с морскими водами [3, 4], весь этот песок транзитно [6] преодолевает эрозионную депрессию, расположенную между оконечностями морских молов, а затем откладывается на определенных участках фарватера морского канала, откуда в дальнейшем убирается в ходе дноуглубительных работ. Следует так же отметить, что на входе в КМК действует гидродинамический механизм, препятствующий заносимости эрозионной депрессии [6].

Западная часть аккумулятивного тела ППБ нестабильна и подвержена размыву больше, чем восточная. Пологий мористый склон и крутая бровка восточной отмели указывают на интенсивное входное течение, возникающее при нагонных ветровых явлениях. Эрозионные ложбины свидетельствуют о сильных струйных течениях. Вероятно, через эти ложбины и происходит отток вод из залива в море при сгонах.

Сопоставляя скорость заносимости КМК с объемом аккумулятивного тела ППБ можно сделать вывод, что на его формирование необходимо было бы 380 лет. Отсюда можно предположить, что ППБ начал формироваться после берегоукрепления Пиллауского пролива, которое началось в начале XVI века [7,8].

Сбор данных выполнен по теме № 0149-2019-0013 гос. задания ИО РАН, анализ материалов и публикация поддержаны за счет проекта РФФИ 18-05-01145, участие в конференции поддержано БФУ им. Иммануила Канта.

Список литературы

1) Nicholas C. Kraus. Reservoir Model of Ebb-Tidal Shoal Evolution and Sand Bypassing // In: J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 126(3). 2000. P. 305-313

2) Chubarenko, B.V., Chubarenko, I.P., Baudler, H. Comparison of Darss-Zingst Bodden Chain and Vistula Lagoon (Baltic Sea) in a view of hydrodynamic numerical modelling. // The Baltica.- 2005.- V.18-2.- P. 56-67.

3) Соколов А.Н., Бабаков А.Н., Чубаренко Б.В. Модельный анализ течений у входных молов Балтийского пролива / Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XIV Международной научно-технической конференции «МСОИ-2015». 19-21 мая 2015 г, Москва. Том I. М., "АПР", 2015. - С. 30-34. ISBN 978-5-904761-43-1.

4) Чечко В. А. Процессы современного осадкообразования в Вислинском заливе Балтийского моря: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геол. минер. наук: 25.00.28 / Чечко В.А. Москва, ИО РАН. - 2007. - 25 с.

5) Каталог малых портов и гаваней Калининградского/Вислинского залива / Под ред. Чубаренко Б.В., Шванковска Б., Федорова Г.М., Гриценко В.А. Москва: Изд-во «Экслибрис». - 2015. - 180 с.

6) Закиров Р. Б., Чубаренко Б. В., Сологуб С. П., Шушарин А. В. Динамика эрозионной депрессии на входе в Калининградский залив // Известия Иркутского государственного университета. Серия: науки о Земле. - №26. – 2018. - С. 46-59

7) Басс О. В. Эволюция взаимодействия природных и техногенных процессов в ходе строительства порта Балтийск // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2007. - №7. - С. 35-43.

8) Давыденко Л. В. Калининградский морской канал. Калининград: Изд-во ООО «Живем», 2011. - 120 с.

АУТИГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ГЛУБОКОВОДНЫХ КОТЛОВИН КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Козина Н.В., Рейхард Л.Е.

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

kozina_nina@bk.ru

Ключевые слова: Каспийское море, донные отложения, аутигенные минералы, сероводородное заражение, сульфатредуцирующие бактерии, диагенез.

Каспийское море представляет собой крупнейшее внутриконтинентальное озеро-море, не имеющее связи с океаном, но обладающее особенностями осадконакопления, которые свойственны морским водоемам [1]. Водосбор моря расположен в гумидной, семиаридной и аридной зонах, что определяет характер питания бассейна осадочным материалом. Гидрологические и седиментационные процессы в Каспийском море во многом определяются наличием глубоководных котловин - Дербентской (глубиной 794 м) и Южно-Каспийской (глубиной 1025 м) [2]. Дно котловин осложнено многочисленными грязевыми вулканами, а у восточного побережья Южного Каспия находятся выходы активных гидротерм, которые также влияют на осадконакопление [1, 2]. Важно отметить, что в придонном слое водной толщи и Дербентской, и Южно-Каспийской котловины периодически наблюдается сероводородное заражение и регистрируется растворенный метан [2; 3].

Целью данной работы является изучение процессов аутигенного минералообразования для выяснения особенностей седименто- и диагенеза в глубоководных котловинах Каспийского моря в условиях сероводородного заражения.

В работе используются материалы, полученные в ходе 39-го рейса НИС “Рифт” в 2012 г. в рамках проекта “Система Каспийского моря” под руководством академика А.П. Лисицына [2, 4]. Отбор донных осадков был выполнен в центральной части котловин: в Дербентской котловине на ст. 3907 (координаты N 42°11.680’ E 49°37.978’; глубина 720 м) и в Южно-Каспийской котловине на ст. 3916 (координаты N 38°58.528’ E 50°45.738’; глубина 1000 м) с помощью мультикорера “KUM” (Германия).

Комплекс минералогических исследований (включающий оптическую микроскопию, сканирующую электронную микроскопию (СЭМ), рентгеноспектральный микроанализ и рентгенографический фазовый анализ (РФА)), а также 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 подробно описана в прошлых работах [2; 5; 6].

В процессе исследований установлено, что донные осадки в центральной части Дербентской котловины (ст. 3907; длина колонки - 46 см) представлены переслаиванием пелитовых илов: преимущественно слабоизвестковых, с массивной и микрослоистой текстурой, выраженной в чередовании тонких слоев неокисленных и окисленных илов, а также слоев гидротроилита (мощностью до 1 мм). Верхний слой осадка (интервал 0.0-1.0 см) представлен восстановленным хлопьевидным наилком черного цвета. До глубины 10 см в донных осадках присутствует сильный запах сероводорода. По данным микроскопических исследований, уточненных по результатам РФА, минеральный состав донных осадков представлен главным образом кварцем (18-29%), полевыми шпатами (альбитом - до 15% и калиевым полевым шпатом (кпш) - до 11%) и глинистыми минералами (иллитом - до 17%, каолинитом - до 10%, хлоритом - до 16%, смектитом - до 1%).

В осадках наблюдается высокое содержание аутигенных минералов групп сульфатов (гипс до 28%) и карбонатов (кальцит - до 8%, магнезиальный кальцит - до 3%, арагонит

- до 2%, сидерит и доломит - до 1%). Концентрация сульфидов (пирита) в донных отложениях не превышает 3%. По данным СЭМ пирит представлен фрамбоидами различной формы диаметром до 15 мкм.

Донные осадки центральной части Южно-Каспийской котловины (ст. 3916; длина колонки - 35 см) 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. Верхний интервал донных осадков (интервал 0.0-0.5 см) представлен восстановленным наилком в виде хлопьев черного и зеленого цвета. До глубины 8 см в донных осадках присутствует сильный запах сероводорода [6]. По данным микроскопических исследований и РФА, минеральный состав донных осадков представлен кварцем (14-29%), полевыми шпатами (альбитом - до 16% и кпш - до 15%) и глинистыми минералами (иллитом - до 21%, каолинитом - до 8%, хлоритом - до 14%, монтмориллонитом - до 0.5%) в различных соотношениях [6].

Отличительной особенностью изученных донных осадков является высокое содержание в них аутигенных минералов, таких как гипс (до 25%), кальцит (до 8%), магнезиальный кальцит (до 11%), кутнагорит (до 6%) [5; 6]. В верхней части колонки зафиксирована высокая концентрация галита (16% в интервале 0.0-0.5 см). Кроме того, в донных осадках Южно-Каспийской котловины выявлено незначительное содержание пирита (до 4%) в виде фрамбоидов диаметром до 10 мкм [6].

В результате проведенных исследований в донных отложениях глубоководных котловин Каспийского моря были обнаружены специфические ассоциации аутигенных минералов, являющиеся продуктом взаимодействия гидрологических, биогеохимических и седиментационно-диагенетических процессов. Так, было установлено, что сероводородное заражение, фиксируемое в придонном слое водной толщи котловин, влияет на образование сульфидов (аутигенного фрамбоидального пирита) [6], генетически связанных с жизнедеятельностью сульфатредуцирующих бактерий в восстановительных условиях. Дальнейший анализ распределения изученных аутигенных минералов и условий их образования в донных отложениях каспийских глубоководных котловин позволит выявить ряд ведущих факторов, влияющих на процессы седименто- и диагенеза в различных районах Каспийского моря.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2019-0007).

Список литературы

1) Хрусталев, Ю. П. Закономерности осадконакопления во внутриконтинентальных морях аридной зоны / Ю.П. Хрусталев. – Л., Наука, 1989. – 261 с.

2) Система Каспийского моря / под ред. А. П. Лисицына. – М.: Научный мир, 2016. – 480 с.

3) Возобновление сероводородного заражения водной толщи глубоководных впадин Каспийского моря / М. В. Иванов [и др.] // ДАН. – 2013. – Т. 453. № 1. – С. 76–81.

4) Комплексные исследования системы Каспийского моря в 39–м рейсе НИС “Рифт” / Амбросимов А.К. [и др.] // Океанология. – 2014. – Т. 54. – № 3. – С. 428–432.

5) Первая находка кутнагорита в современных отложениях Южно-Каспийской котловины / О. М. Дара [и др.] // ДАН. – 2015. – Т. 465. – № 5. – С. 572–576.

6) Framboidal pyrite formation in the bottom sediments of the South Caspian Basin under conditions of hydrogen sulfide contamination / N. Kozina [et al.] // Russ. J. Earth. Sci. – 2018. – 18. – P. ES6003. – doi:10.2205/2018ES000639.

ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА РОССИИ: СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Колесник О.Н., Колесник А.Н.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

zeya1985.2008@mail.ru

Ключевые слова: Российская Арктика, континентальный шельф, железомарганцевые образования, распространение, морфология, внутреннее строение, вещественный состав, генезис.

Железомарганцевые образования океана содержат целый ряд полезных компонентов (в первую очередь Mn, Co, Ni, Cu) и рассматриваются в качестве руд, промышленная добыча которых может начаться уже в обозримом будущем. Известны попытки использовать эти образования в стратиграфии и палеореконструкциях. Несмотря на интерес к проблеме железомарганцевого рудообразования, обширные участки дна, особенно в приполярных областях, остаются практически не изученными, а генезис и источники вещества требуют уточнения.

Цель доклада - обобщить результаты исследования железомарганцевых образований арктического шельфа России (СССР), опубликованные в открытой печати за последние полвека, оценить перспективы изучения и практического применения. В докладе, кроме прочего, планируется представить собственные, частично опубликованные материалы по железомарганцевым образованиям восточноарктических морей - Чукотского, Восточно-Сибирского [1-3], Лаптевых. Пробы получены в российско-американских и российско-китайских морских экспедициях RUSALKA (2009 г., 2012 г.) и ASW (2016 г., 2018 г.) соответственно.

Работа (литературный обзор с элементами самостоятельного исследования) выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-60104 Арктика) и РНФ (проект № 17-77-10043; цветометрическая характеристика образцов, статистическая обработка данных).

Список литературы

1) Колесник А.Н., Колесник О.Н., Ярощук Е.И. Железистые и железомарганцевые образования Восточно-Сибирского моря // Новое в познании процессов рудообразования: Восьмая Российская молодежная научно-практическая Школа (Москва, 26–30 ноября 2018 г.). Сборник материалов, электрон. дан. (1 файл: 45 Мб). М.: ИГЕМ РАН, 2018. С. 200–202.
2) Колесник О.Н., Колесник А.Н. Особенности химического и минерального состава железо-марганцевых конкреций Чукотского моря // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 7. С. 853–866.
3) Колесник О.Н., Колесник А.Н. Редкие земли и иттрий в железомарганцевых конкрециях Чукотского моря // Литология и полезные ископаемые. 2015. № 3. С. 203–214.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТОКОВ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА НА МНОГОЛЕТНЕМ ТРАНСОКЕАНИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ В СУБПОЛЯРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Колтовская Е.В.[1], **Клювиткин А.А.**[2]

[1]*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва*

[2]*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва*

katyayaya15@gmail.com

Ключевые слова: взвесь, осадочное вещество, седиментационные ловушки, Субполярная Атлантика.

Процессы осадконакопления в Северной Атлантике определяются сочетанием различных источников поступления осадочного материала (первичная продукция фитопланктона, аэрозольная поставка, абразия берегов, ледниковый сток, айсберговый и ледовый разнос, донная эрозия и переотложение донных осадков, поставка эндогенного вещества из спрединговой зоны хребта Рейкьянес), а также различных механизмов его переноса и осаждения. Исключительная особенность Северной Атлантики - это сложная динамическая система формирования и переноса водных масс, тепла, соли, растворенных элементов и газов в толще океанских вод в зоне взаимодействия Атлантического и Северного Ледовитого океанов [4].

Материал для исследования собирался в течение двух лет с июля 2015 г. (49-й рейс НИС «Академик Иоффе» [1] по июль 2017 г. (68-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» с перезарядкой в июле 2016 г. (51-й рейс НИС «Академик Иоффе» [2] на четырех автоматических глубоководных седиментационных обсерваториях (АГОС [3]) в Северной Атлантике на разрезе по 59°30' с.ш. Дифференциальные 12-стаканные конические седиментационные ловушки «Лотос-3» с площадью сбора 0.5 м^2 производства ОКБ ОТ РАН - позволяют получить непрерывный во времени (до года и более) ряд проб осаждающего вещества с заданной экспозицией (1 месяц). Второй тип ловушек - интегральные малые цилиндрические седиментационные ловушки МСЛ-110 производства ИО РАН имеют площадь сбора 0.0095 м^2 и соотношение длины и входного диаметра, равное 7, позволяют собирать материал в течение всего времени работы АГОС.

Для определения источника переноса вещества и для учета латеральной компоненты потока вещества в составе АГОС на горизонтах установки многостаканных ловушек по мере возможности устанавливались акустические измерители течений Nortek Aquadopp и Teledyne RD Instruments DVS.

Наиболее интенсивно процесс осаждения вещества происходит на окраине европейского шельфа. По вертикали потоки соответствуют схеме рециклинга с максимумами выпадения вещества из верхнего деятельного слоя и в придонном нефелоидном слое за счет взмучивания верхнего слоя донных осадков течениями.

В подповерхностном слое годовой ход потоков и изменение состава осаждающегося вещества определяется первичной продукцией фитопланктона. Это также нашло отражение в увеличении потоков летом 2016 г. за счет более интенсивного цветения - межгодовая изменчивость. Придонные потоки осадочного вещества на склонах хребта Рейкьянес формируются в условиях переноса водных масс и, соответственно, взвеси, в юго-западном направлении вдоль хребта со стороны Исландских порогов. У подножия европейского континентального склона имеет место обратнонаправленный перенос вещества.

В составе осаждающегося вещества преобладает биогенная компонента, доля которой уменьшается с глубиной за счет растворения и зимой из-за ослабления биологической

активности верхнего деятельного слоя. Роль литогенного вещества максимальна в придонном слое, в том числе за счет поставки материала со дна, а также возрастает зимой в подповерхностном слое при уменьшении потока биогенного материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (проект № 14-50-00095). Интерпретация результатов частично выполнена в рамках Государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2018-0016).

Список литературы

1) Клювиткин А.А., Политова Н.В., Новигатский А.Н., Новичкова Е.А., Саввичев А.С., Козина Н.В., Баширова Л.Д., Амбросимов А.К., Будько Д.Ф., Исаченко С.М. Геологические исследования Северной Атлантики в 49-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе» // Океанология. 2016. Т. 56. № 5. С. 833–835.

2) Клювиткин А.А. и др. Геологические исследования в Северной Атлантике в 51-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Иоффе” // Океанология. 2017. Т. 57. №. 3. С. 514-516.

3) Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // Мировой океан. 2014. Т. 2. С. 331-571.

4) Лисицын А.П. и др. Глубоководные обсерватории на транскаспийском разрезе: непрерывные исследования потоков рассеянного осадочного вещества //Доклады Академии наук. Федеральное государственное бюджетное учреждение "Российская академия наук", 2014. Т. 456. №. 4. С. 485-485.

5) Лукашин В.Н., Лисицын А.П. Геохимия рассеянного осадочного вещества и его потоки в толще вод Каспийского моря // Океанология. 2016. Т. 56. №. 5. С. 741-756.

ВЛИЯНИЕ ОЛЕДЕНЕНИЙ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА НА УГЛЕВОДОРОДНУЮ СИСТЕМУ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Кондакова В.Н.[1], **Крылов А.А.**[2]

[1] *Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*

[2] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

vkondakova9@yandex.ru

Ключевые слова: Баренцево море, углеводороды, Четвертичные оледенения, PetroMod

Четвертичный период характеризуется быстрыми изменениями климата с чередованием ледниковых и межледниковых эпох. Основными последствиями оледенений являются деформация земной коры, ее изостатическое движение, процессы эрозии и седиментации. Предыдущие работы показали, что вызванное данными процессами изменение параметров давления и температуры в нефтегазоносных пластах существенно повлияли на миграцию углеводородов и соответственно на углеводородный потенциал Баренцева моря [1-3]. К настоящему времени вопрос о генерации и миграции углеводородов под действием оледенений нуждается в дальнейшем изучении, и особенно это актуально для российской акватории, так как здесь подобные исследования отсутствуют. Основываясь на данных бурения, полученных в районе Штокмановского месторождения, мы определили, каким изменениям подверглась данная углеводородная система в результате оледенений четвертичного периода.

В ходе работ было выполнено одномерное моделирование нефтегазоносной системы Шоткмановского месторождения с применением программного обеспечения PetroMod v. 2012 (Schlum- berger). Система состоит из 23 стратиграфических слоев, включающих отложения от юрского до четвертичного времени. Внимание было сфокусировано на ярусах, являющихся потенциальными источниками углеводородов вследствие соответствующей литологии, высокого содержания органического углерода и относительно высокого водородного показателя. Данные отложения принадлежат нижне и средней юре (волжский, киммерриджский, келловейский и ааленский яруса) и представлены глинистыми песчаниками.

Изначально предполагалось, что длительности и мощности четвертичных оледенений достаточно для инициации процесса генерации углеводородов. Тем не менее, результаты моделирования показали, что основным параметром, влияющим на систему, является продолжительность оледенений. Это означает, что повышения температур и давления вследствие мощного, но кратковременного четвертичного оледенения было недостаточно для начала генерации углеводородов.

Более того, рост температур вследствие погружения земной коры под давлением льда был относительно небольшим (30 $^{\circ}$ C), и в эпохи межледниковья, характеризующихся поднятием территории, параметр температуры системы возвращался к предыдущему показателю.

Нами была определена та продолжительность оледенений, которая была бы достаточна для начала трансформации углеводородной системы - 2,5 млн лет. Образование углеводородов вероятно при наступлении оледенения длительностью 3,5 млн лет. Достаточная для этого мощность ледникового щита 2000 метров. Также был проведен эксперимент для гипотетического оледенения, характеризующегося экстремально мощным ледниковым щитом (4000, 5000, 6000 метров). Даже при таких условиях за короткий промежуток времени, который и длились ледниковые эпохи четвертичного периода, система не подвергается изменению.

Установлено, что в течение геологической истории происходили несколько длительных ледниковых эпох, когда оледенения покрывали территорию в течение сотен миллионов лет [4]. Это означает, что гипотетически оледенения могут приводить к началу генерации углеводородов, однако, рассматривая только четвертичный период, преобразование углеводородной системы невозможно.

Список литературы

1) Zieba K., Grøver A. Isostatic response to glacial erosion, deposition and ice loading. Impact on hydrocarbon traps of the southwestern Barents Sea // Marine and Petroleum Geology. – 2016. – Vol. 78. – P. 168-183.
2) Henriksen E., Bjornseth H.M., Hals T.K., Heide T., Kiryukhina T., Klovjan O.S., Larssen G.B., Ryseth A.E., Ronning K., Sollid K., Stoupakova A. Uplift and erosion of the greater Barents Sea: impact on prospectivity and petroleum systems // Geological Society of London Memoirs. – 2017. – Vol. 35. – P. 271–281.
3) Ostanin I., Anka Z., Di Primio R. Role of Faults in Hydrocarbon Leakage in the Hammerfest Basin, SW Barents Sea: Insights from Seismic Data and Numerical Modelling // Geosciences. – 2017. – Vol. 7 (2). – P. 28.
4) Tang H., Chen Y. Global glaciations and atmospheric change at ca. 2.3 Ga // Geoscience Frontiers. – 2013. – P. 583-596.

НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСЕЙСМИЧНОСТИ ЛАПТЕВОМОРСКОГО РЕГИОНА

Крылов А.А.[1], **Плотц А.**[2], **Гайсслер В.**[2], **Баранов Б.В.**[1], **Шибаев С.В.**[3], **Крюгер Ф.**[4], **Хаберланд К.**[5], **Цуканов Н.В.**[1]

[1]*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва, Россия.*

[2]*Институт полярных исследований Альфреда Вегенера, г. Бремерхафен, Германия.*

[3]*Якутский филиал Геофизической службы Сибирского отделения РАН, г. Якутстк, Россия.*

[4]*Потсдамский Университет, г. Потсдам, Германия.*

[5]*Германский исследовательский центр наук о Земле (GFZ), г. Потсдам, Германия.*

artyomkrlv@ocean.ru

Ключевые слова: сейсмичность, микроземлетрясение, сейсмическая сеть, автоматическое детектирование, эпицентр, активный разлом.

Настоящая работа посвящена первым результатам инструментальных сейсмологических наблюдений в Лаптевоморском регионе, проводимых в рамках совместного российско-германского проекта «СИОЛА» [1, 2]. С 2016 года было проведено несколько экспедиций, как наземных, так и морских, с целью развертывания временных сетей сейсмографов для регистрации местных микроземлетрясений.

Район моря Лаптевых является уникальным в том отношении, что область шельфа рассматривается как переходная зона между срединно-океаническим рифтовым хребтом Гаккеля и континентальным Момским рифтом [3]. Проект нацелен на картирование активных разломов с помощью регистрации сейсмических событий, изучение механизмов очагов землетрясений для уточнения современной геодинамической обстановки в регионе, а также изучение глубинных слоев земной коры и верхней мантии.

Первый этап инструментальных наблюдений состоялся в 2016-2017 годах, когда в течение девяти месяцев выполнялась непрерывная запись 25 наземных коротко-периодных сейсмостанций, 12 из которых составляли локальную сеть в дельте р. Лена, а остальные 13 - малоапертурную сейсмогруппу в окрестности п. Тикси. Ближайшие задачи обработки этого объема данных: настройка программы автоматического детектирования микроземлетрясений с учетом местных шумовых условий [4], оценка чувствительности сети, построение карт пространственного распределения гипоцентров микроземлетрясений и анализ их соотношения с известными активными разломами в регионе.

Результаты обработки показали, что шумовая обстановка в районе расстановки сейсмостанции в целом удовлетворительная, антропогенные сигналы практически отсутствуют. Исключение составляет большое количество коротких высокоамплитудных импульсных помех неясной природы, значительно усложняющие процесс автоматизированного детектирования слабых землетрясений.

В пределах 300 км от центра локальной сети надежно регистрируются события с магнитудой от 0 до 3. Анализ ошибок локализации гипоцентров показал, что для локальных землетрясений (до 300 км от центра сети) определение гипоцентра по локальной сети приводит к меньшим ошибкам, чем по сейсмогруппе.

Обнаружено, что эпицентры землетрясений образуют кластеры, которые в некоторых случаях соответствуют эпицентральным зонам произошедших землетрясений средней силы и расположению известных активных разломов. Это приводит к необходимости в уточнении конфигурации кластеров и возможности в дальнейшем использовать зарегистрированные слабые землетрясения для моделирования волновой формы более сильных событий, произошедших в тех же точках (метод эмпирической функции Грина) [5].

Настоящая работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты № 18-35-00474 мол_а и 17-05-41144 РГО_а) и Гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук и докторов наук (проект МК-5963.2018.5).

Список литературы

1) Гайсслер, В.Х. Российско-германский проект «Сейсмичность и неотектоника Лаптевоморского региона» / В.Х. Гайсслер, Б.В. Баранов, С.В. Шибаев, К. Хаберланд, Н.В. Цуканов, К.А. Дозорова // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. - 2018. - № 1. - С. 102-106.

2) Крылов, А.А. Проект «Сейсмичность и геотектоника лаптевоморского региона (СИОЛА)»: оценка эффективности временной сейсмологической сети в дельте р. Лена / А.А. Крылов, С.А. Ковачев, В.Х. Гайсслер, Б.В. Баранов // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. - 2018. - № 3. - С. 1-12.

3) Ковачев, С.А. Кратковременное изучение микросейсмичности губы Буор-Хая, море Лаптевых, с помощью донных сейсмографов / С.А. Ковачев, И.П. Кузин, С.Л. Соловьев // Физика Земли. - 1994. - № 7-8. - С. 65-76.

4) Крылов, А.А. Некоторые аспекты донных сейсмологических исследований и мониторинга на объектах нефтегазовой добычи и транспортировки на шельфе / А.А. Крылов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2015. - № 9. - С. 20-25.

5) Irikura, K. Estimation of strong ground motion in boardfrequency band based on a seismic source scaling model and empirical Green's function technique / K. Irikura, K. Kamae // Annali di Geofisica. - 1994. - V. 37. - № 6. - P. 1721-1743.

РЕКОНСТРУКЦИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ВОД СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА В ГОЛОЦЕНЕ ПО КОМПЛЕКСАМ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР

Кулешова Л.А.[1,2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград*

lubov_kuleshova@mail.ru

Ключевые слова: палеоокеанологические реконструкции, бентосные фораминиферы, палеоэкологические условия, Северная Атлантика.

В рамках настоящего исследования изучена колонка донных осадков АИ-3359 (59° 29.885′ с.ш., 24° 42.105′ з.д., глубина 2517 м, длина 486 см), поднятая в северной части Атлантического океана, восточнее хребта Рейкьянес, в 49-м рейсе НИС «Академик Иоффе» в 2015 году [1]. Возрастная модель колонки разработана коллегами из лаборатории геологии Атлантики АО ИО РАН на основе пяти масс-спектрометрических радиоуглеродных датировок (AMS-^{14}C), выполненных в Познаньской лаборатории (Польша) по раковинам планктонных фораминифер, с учетом данных по распределению карбоната кальция, зерен ледового разноса и относительному содержанию вида *Neogloboquadrina pachyderma* sin. [2]. Согласно полученной возрастной модели, колонка АИ-3359 вскрыла осадки последних 45 тыс. лет (изотопно-кислородные стадии (ИКС) 3-1).

Количественные анализы комплексов бентосных фораминифер (БФ) проведены в верхних 348 см колонки АИ-3356 с шагом 5 см. Данный интервал соответствует ИКС 1 и характеризуется повышенными значениями $CaCO_3$ в осадке (28-46%), а также интенсивным осадконакоплением (∼29 см/тыс. лет в среднем) [2]. Раковины БФ подсчитывались в гранулометрической фракции $>$ 100 мкм при условии, что экземпляров было достаточно для расчета процентного содержания видов ($>$100 шт. [3]). Пробы, в которых оказалось менее 100 экземпляров, не включались в исследование. Надежными для палеоокеанологических реконструкций считались образцы, в которых было определено не менее 250 раковин БФ [4].

В результате микропалеонтологического анализа верхней части колонки АИ-3356 определено более 100 видов БФ, среди которых наиболее многочисленным является фитодетритовый вид *Epistominella exigua* с содержанием $>$ 50% в большинстве изученных образцов. Популяции данного вида развиваются преимущественно в олиготрофных районах, где наблюдаются сезонные и эпизодические вспышки цветения фитопланктона, приводящие к пульсационному поступлению свежего лабильного органического вещества (фитодетрита) на дно [5].

Кроме того, интервал 7-0 см характеризуется увеличением в сообществе агглютинирующих БФ из родов *Reophax, Lagenammina, Hyperammina* на фоне доминирования вида *E. exigua*. Представители родов *Reophax* и *Lagenammina*, как правило, обитают в более глубоких слоях осадка ($>$ 1 см) и предпочитают употреблять в пищу измененное ОВ [6]. В связи с этим для данного интервала закономерно предположить небольшое повышение биопродуктивности поверхностных вод, при которой часть поступившего органического вещества могла подвергаться процессу деградации. В результате образовывалось большее количество экологических ниш для фауны БФ, связанное с присутствием ОВ разного качества (по степени разложения) на поверхности и внутри осадка. В свою очередь, встреченные в поверхностном горизонте виды рода *Hyperammina* причисляют к эпифауне [7]. Их исчезновение ниже 11 см, вероятно, связано с разрушением раковин в процессе раннего диагенеза осадков.

Доля видов-индикаторов высокой продуктивности (например, *Bolivina subspinescens*, *Bolivinella pseudopunctata*, *Bulimina marginata*, *Fursenkoina complanata*, *Melonis barleeanus*) в сообществе в среднем не превышает 15-20%. Полученные данные свидетельствуют, что продуктивность поверхностных вод была невелика в течение последних 12 тыс. лет.

Микропалеонтологический анализ проведен при поддержке гранта РНФ (№ 18-77-10016), сбор данных об экологии видов бентосных фораминифер выполнен в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013).

Список литературы

1) Klyuvitkin A.A. et al. Geological studies of the Northern Atlantic during the 49th cruise of the R/V Akademik Ioffe // Oceanology. – 2016. – Vol. 56. – №. 5. – P. 760-762.
2) Savkina K.E., Bashirova L.D., Novichkova E.A. Changes in surface conditions east of the Reykjanes Ridge (North Atlantic) during the Late Pleistocene to Holocene cold events // Russ. J. Earth Sci. – 2018. – Vol. 18. – ES5004.
3) Murray J.W. Ecology and palaeoecology of benthic foraminifera. Routledge, New York. – 2014. – 408 pp.
4) Holbourn A., Kuhnt, W., Kawamura H. et al. Orbitally paced paleoproductivity variations in the Timor Sea and Indonesian Through flow variability during the last 460 kyr // Paleoceanography. – 2005. – Vol. 20. – PA3002.
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. – Vol. 53. – P. 28-47.
6) Gooday A.J. Epifaunal and shallow infaunal foraminiferal communities at three abyssal NE Atlantic sites subject to differing phytodetritus input regimes // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. – 1996. – Vol. 43. – №. 9. – P. 1395-1421.
7) Murray J.W. Ecology and applications of benthic foraminifera. Cambridge University Press, Cambridge. – 2006. – 438 pp.

ВОДОЛАЗНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНОГО ЛАНДШАФТА НА ПРИМЕРЕ БУХТ ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА

Лапенков А.Е.[1], **Зуев Ю.А.**[2]

[1]*Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, г. Санкт-Петербург*

[2]*Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург*

lapa13art@gmail.com

Ключевые слова: Ладожское озеро, подводный ландшафт, бентос, прибрежные мелководья.

Прибрежные мелководья являются зоной интенсивного взаимодействия суши и воды как пресных внутренних водоемов, так и Мирового океана. Самое большое в системе великих европейских озёр - Ладожское, является крупнейшим водоёмом Европы и располагается между 59°54’ и 61°47’ с. ш.

Валаам является самым большим островом Валаамского архипелага. Остров сложен диабазами, габродиабазами. Большинство бухт и заливов открытого побережья Валаамского архипелага принадлежит к фьордовому типу и характеризуется скалистыми берегами. На мелководьях высока концентрация биологических ресурсов, поэтому здесь происходит нерест ценных промысловых видов рыб.

Исследование рельефа дна проводилось с применением модифицированного метода трансект Скарлато-Голикова [1]. Общая последовательность действий для описания прибрежных мелководий водолазным методом такова: сначала в исследуемом заливе размещаются размеченные тросы трансекты, по которым водолаз будет вести осмотр и отбор проб. Он описывает и фиксирует на камеру все особенности подводного рельефа. По данным о глубине, начальным и конечным координатам трансекты выполняется привязка всех участков дна вдоль трансекты к географическим координатам. Полученные данные обрабатываются, и по результатам строятся схемы подводного рельефа с указанием форм грунта. По завершении камеральных работ на схемы наносятся данные о бентосе и подводной растительности. Выделяются участки, населенные одинаковыми сообществами, имеющие одинаковый рельеф и тип грунта [2].

Географические координаты определялись при помощи ручного GPS-навигатора GARMIN. Глубина и температура воды во время выполнения водолазных трансект измерялась наручным водолазным компьютером. Температура воды измерялась с точностью до 1°C, а глубина - до 0,1 м.

Всего были описаны 4 залива: Золотая бухта, Малая Никоновская бухта, Крестовый и Красный заливы. Залив Красный располагается в юго-западной части Валаамского архипелага, протяженность акватории составляет 140 метров, максимальная глубина - 20 метров, берега сложены обломками скал и крупными валунами. Красный залив - единственный залив, берега которого состоят лишь из скал и их обломков. Урез воды часто представляет собой отвесную скалу или скальные ступеньки высотой от 1 до 2 метров. Крестовый залив расположен в юго-западной части Валаамского архипелага у основания Никоновского мыса, на котором расположена метеостанция. От Ладоги бухта залива Крестового ограждена двумя небольшими мысами, протяженность залива - 80 метров. Малая Никоновская бухта располагается в северо-западной части Валаамского архипелага. Исследованная часть Малой Никоновской бухты ограничена 61°22’37" широтой. Протяженность изученной области залива составляет 570 метров, максимальная глубина 24 метра, береговая линия очень разнообразна. Отмечены скальные выступы, разного размера валуны, гальки, пески, иловые пески и глина. Золотая бухта расположена в северо-восточной

части Валаама. Протяженность залива составляет 2100 метров, максимальная глубина 12 метров. Большую часть площади дна занимает песок, скалы практически отсутствуют. В бухте представлены развитые растительные сообщества [4].

Берега изученных бухт сложены блоками скалистых пород, поднимающихся на десятки метров, или уже скальным обломочным материалом, представляющим собой валунные засыпи с редко встречающимся песком.

На основании описания прибрежного мелководья выполнены исследования растительных сообществ, разработана стратегия для исследований сообществ макрозообентоса в условиях сложного рельефа и твердого грунта. Описание дна Малой Никоновской бухты позволило продемонстрировать воздействие форелевого хозяйства на грунты глубокой части бухты и значительной территории вокруг садков [4].

В результате работы получены данные о наименее изученной части Ладожского озера - литоральной зоне, которые могут быть использованы как другими исследователями, так и при планировании хозяйственной деятельности. Была разработана методика исследования и проведены комплексные работы в различных заливах и бухтах Валаамского архипелага. Данные о бухтах объединены в информационную базу о прибрежной зоне Ладожского озера.

Список литературы

1) Арзамасцев И.С. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. [Текст] / И.С. Арзамасцев, Б.В. Преображенский. – М.: Наука. – 1990. – 224 с.
2) Голиков А.Н. Гидробиологические исследования в заливе Посьета с применением водолазной техники / А.Н. Голиков, О.А. Скарлато // Исслед. фауны морей. – М., 1965. – Т. 3 (11). – С. 5–21.
3) Зуев Ю.А. Опыт водолазного осмотра форелевого хозяйства [Текст] / Ю.А. Зуев, Н.В. Зуева // Рыбоводство и рыбное хозяйство: науч.-практич. журнал. – 2013. – № 10. – С. 17–25.

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ И РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДОБЫЧИ МЕТАЛЛОВ НА СУШЕ

Мустафина Ф.И.[1], **Шарма Р.**[2], **Черкашов Г.А.**[3]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[2]*Национальный институт океанографии, г. Дона Пола, Индия*

[3]*Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового Океана им. ак. И.С. Грамберга, г. Санкт-Петербург*

fimustafina@gmail.com

Ключевые слова: минеральные ресурсы, темпы и продолжительность добычи, цены на металлы

В настоящее время человечество добывает необходимые минеральные ресурсы, содержащие важные металлы из наземных месторождений, что сопровождается некоторыми проблемами, к которым относятся:

- истощение ограниченных наземных ресурсов в связи с ростом спроса на металлы;
- нужда Мировой экономики в новых устойчивых ресурсах;
- высокие издержки добычи низкокачественных руд в отдаленных районах;
- загрязнение окружающей среды;
- земельные конфликты между отраслями промышленности;
- увеличение потребления ресурсов в связи с ростом численности населения;
- зависимость стран-импортеров от монополий стран-производителей;
- взаимодействие горнодобывающей промышленности с рядом органов власти, организаций, местными законами, что усложняет процесс добычи [1].

Морские минеральные ресурсы, обнаруженные на дне океанов, являются перспективным альтернативным источником металлов по многим причинам [2], а именно:

- малоосвоенные морские минеральные ресурсы имеют огромный потенциал;
- морские руды могут иметь высокие концентрации металлов в своем составе;
- морские экосистемы характеризуются низкой плотностью заселенности и низким разнообразием по сравнению со многими наземными месторождениями;
- морская добыча полезных ископаемых считается менее вредной для окружающей среды;
- добыча морских руд позволяет контракторам иметь дело только с Международным органом по морскому дну во время добычи в районе;
- нет коренного населения, которое могло бы помешать добычным работам;
- более высококачественные месторождения морских руд могут разрабатываться с использованием мобильной инфраструктуры и новых технологий.

В данной работе была проведена оценка наземных запасов металлов и расчет продолжительности их добычи.

Анализ цен на основные металлы на Мировом рынке за последние 20 лет показал колеблющийся рост цен [3]. Однако, невозможно предсказать, какой будет ситуация в будущем, это во многом зависит от политической стабильности в мире и в стране-производителе, от финансовых вопросов, таких как спекуляция, обменные курсы валют и кризис [4].

Анализ темпов добычи основных металлов с 1997 по 2016 год [5] также показал тенденцию к росту: Co – 8,3% в год, Cu – 3,1%, Ni – 3,7%, Mn – 4,3%, Pb – 2,6%, Zn – 2,9%. Средний рост темпов добычи рассчитан следующим образом:

$$P_m = (\sum(P_{x+1} - P_x) \cdot 100\%/Px)/19$$

где P_m – это рост темпа добычи металла m (%),
P_x – темп добычи данного года (т) [5],
P_{x+1} – темп добычи следующего года (т) [5].

Увеличение темпов добычи ведет к истощению наземных запасов и, как следствие, к росту цен на металлы на мировом рынке. Можно оценить, как долго могут разрабатываться наземные запасы. Учитывая темп добычи на 2016 год (базовый год) и рост темпа добычи в %, были вычислены прогнозируемые темпы добычи:

$$P_{x+1} = P_x + P_x \cdot P_m/100\%$$

где P_x – это темп добычи данного года (т),
P_{x+1} – темп добычи следующего года (т),
P_m – рост темпа добычи металла m (%).

Имея темпы добычи последующих лет, можно оценить, сколько запасов остается доступно после каждого года добычи:

$$R_l = R_m - P_{x+1}$$

где R_l – это оставшиеся запасы (т),
R_m – мировые запасы металла m на суше в базовый год (т) [5],
P_{x+1} – темп добычи следующего года (т).

Расчеты показали, что, начиная с 2018 г., запасов Cu на суше хватит на 24 года, Co – на 21 год, Ni – на 21 год, Zn – на 13 лет, Pb – на 14 лет и Mn – на 23 года.

Однако продолжительность добычи минералов из наземных источников может увеличиться по следующим причинам:

• некоторые из известных месторождений могут быть переведены из категории ресурсов в категорию запасов [5], или во время разведки могут быть найдены новые месторождения [3];

• могут быть внедрены новые технологии для добычи в ранее невозможных условиях и для эффективной переработки низкокачественной руды [3];

• могут быть применены новые технологии вторичной переработки металлов.

Альтернативным источником металлов являются морские полезные ископаемые, и у человечества есть еще около 20-ти лет для разработки добычных технологий, нормативно-правовой базы и природоохранных мероприятий для их освоения.

Список литературы

1) Petersen S. News from the seabed – Geological characteristics and resource potential of deep-sea mineral resources [Text] / Petersen S., Krätschell A., Augustin N. et al. // Marine Policy – 2016. – Vol. 70. – P. 175–187

2) Hein J.R. Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high- and green-technology applications [Text]: Comparison with land-based resources / Hein J.R., Mizell K., Koschinsky A., Conrad T.A. // Ore Geology Reviews. – 2013. – Vol. 51. – P. 1–14

3) Global Mining Resource InfoMine [Электронный ресурс]. URL: http://www.infomine.com (дата обращения 15.09.2018).

4) Zepf V. Materials critical to the energy industry [Text]: An introduction / Zepf V., Reller A., Rennie C. et al. - 2nd edition. - London, UK: BP p.l.c., 2014. – P. 94. - ISBN 978-0-9928387-0-6.

5) U.S. Geological Survey [Электронный ресурс]. URL: http://www.usgs.gov (дата обращения 10.09.2018).

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ФИЛЛОФОРНОГО ПОЛЯ ЗЕРНОВА

Овакимян В.В., Пасынков А.А.

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, г. Симферополь

ovakimyan.vlada@yandex.ru

Ключевые слова: филлофора, северо-западный шельф Черного моря, Филлофорное поле Зернова.

Впервые сведения о колоссальных запасах красной водоросли филлофоры на северо-западе Черного моря сообщены Н. И. Андрусовым [1]. Позднее они были названы Филлофорным полем Зернова (далее - ФПЗ) в честь С. А. Зернова - первого ученого, изучившего Поле.

В период расцвета ФПЗ представляло собой огромное скопление филлофоры, не имеющее аналогов в мире. В течении века ФПЗ было всесторонне исследовано, однако вопрос о его происхождении остался открытым. Ряд гипотез объяснял происхождение ФПЗ влиянием системы течений [2] или же биологических и экологических особенностей самой филлофоры [3], [4]; либо сочетанием вышеперечисленных факторов [5]. Однако исследователи не уделяли должного внимания влиянию геоморфологического фактора на формирование ФПЗ.

Таким образом, объектом исследования представленной работы стало Филлофорное поле Зернова, а предметом - влияние геоморфологии морского дна на его формирование.

Цель представленного исследования: рассмотреть влияние геоморфологических особенностей северо-западного шельфа Черного моря на формирование Филлофорного поля Зернова. Поставлены следующие задачи:

- изучить существующие гипотезы происхождения ФПЗ
- разработать карту современного размещения скоплений филлофоры в сопоставлении с рельефом морского дна
- обосновать влияние геоморфологических особенностей морского дна на гидрологические характеристики вод и размещение скоплений филлофоры
- выявить изменения границ ФПЗ, разработать соответствующую карту
- оценить современное состояние ФПЗ и возможности его восстановления

В результате проведенного исследования было установлено, что первичным фактором, обусловившим формирование ФПЗ, стало влияние подводного рельефа на другие компоненты экосистемы шельфа.

Во-первых, наличие обширной мелководной поверхности шельфа обеспечивает филлофору огромными пространствами для расселения, а также способствует распространению высокопродуктивных речных вод на значительные площади.

Во-вторых, перегиб шельфа в сторону материкового склона совпадает с зоной конвергенции вод, которая разграничивает воды шельфа и воды открытого моря, обладающие различными гидролого-гидрохимическими характеристиками.

В-третьих, влияние на размещение филлофоры оказали наличие и эволюция палеоречных систем. Формирование крупнейших палеорек обусловлено наличием крупных тектонических нарушений. Палеореки, в свою очередь, обособили платообразные поверхности донного рельефа. К этим поверхностям, в результате физических особенностей осадконакопления, оказались приурочены наиболее благоприятные для филлофоры грунты. На

этих поверхностях и расположены основные скопления филлофоры, что подтверждается данными морских экспедиционных исследований.

В-четвертых, более мелкие формы рельефа дна оказывают влияние на отклонение подводных течений. Происходит формирование подводных круговоротов, которое сопровождается возникновением зон пониженной динамической активности, куда и сносятся скопления водорослей.

В ходе исследования проанализировано экологическое состояние ФПЗ за последнее столетие. С 1970-х гг., главным образом из-за увеличения выноса биогенных веществ со стоком рек и вызванной этим эвтрофикации вод, начался период угнетения биоценоза филлофоры. Площадь ФПЗ и запасы филлофоры сократились в несколько раз. Но уже с начала XX века в связи с сокращением выброса биогенных веществ, прекращением промысла филлофоры и заповеданием ФПЗ началось постепенное восстановление биоценоза [6].

Таким образом, на всех пространственных уровнях морфоструктуры северо-западной части Черного моря оказывают влияние на распределение грунтов, вод высокой продуктивности, перемещение скоплений неприкрепленной филлофоры, а следовательно и на размещение скоплений филлофоры в целом. Геоморфологический фактор должен учитываться в комплексе с влиянием системы течений, биологическими и экологическими особенностями филлофоры, и при этом считаться ведущим.

Список литературы

1) Андрусов, Н. И. Предварительный отчет об участии в Черноморской глубокомерной экспедиции. / Н. И. Андрусов // Известия Русского географического общества – Санкт-Петербург, 1890. – Т. 26. – Вып. 2. – С. 398–409.

2) Зернов, С. А. Фация филлофоры (Algae Rhodophyceae), филлофорное поле в северо-западной части Черного моря. / С. А. Зернов. // Ежегодник зоологического музея Академии наук. – Санкт-Петербург, 1909. – Т. 14. – Вып. 3–4. – С. 181–184.

3) Калугина-Гутник, А. А. Фитобентос Черного моря. / А. А. Калугина-Гутник –Киев : Наукова думка, 1975. – С. 121–159.

4) Морозова-Водяницкая, Н. В. Филлофорное поле Зернова и причины его возникновения. / Н. В. Морозова-Водяницкая. // Памяти академика С. А. Зернова. – Москва–Ленинград, 1948. – С. 216–226.

5) Максимова, О. В. Эколого-морфологическая пластичность черноморской Phyllophora nervosa и проблема существования Филлофорного поля Зернова. / О. В. Максимова, Н. В. Кучерук. // Биология черноморских агарофитов: Phyllophora nervosa D. C. (Grev.). – Москва, 1993. – С. 105, 106.

6) Лоева, И. Д. Современное экологическое состояние северо-западной части Черного моря. / И. Д. Лоева [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа : сб. науч. трудов. / под ред. В. А. Иванова. – Севастополь, 2013. – Вып. 37. – С. 237–242.

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕКОНСТРУКЦИИ УСЛОВИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛОГО МОРЯ ДЛЯ ПОЗДНЕМОСКОВСКОГО И МИКУЛИНСКОГО ВРЕМЕНИ

Овсепян Я.С.[1], **Талденкова Е.Е.**[2], **Руденко О.В.**[3], **Степанова А.Ю.**[4], **Баух Х.А.**[5], **Гречихина Н.О.**[1,2]

[1] *Геологический институт РАН, г. Москва*

[2] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

[3] *A&M Университет Техаса, г. Колледж Стэйшн, США*

[4] *Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел*

[5] *Институт Альфреда Вегенера, г. Бремерхавен/ГЕОМАР, г. Киль, Германия*

petereden@mail.ru

Ключевые слова: палеогеография, бореальная трансгрессия, микулинское межледниковье, Белое море, фораминиферы, остракоды, споры и пыльца.

Современные изменения климата, предположительно связанные с потеплением, наиболее ярко выражены в Арктике. В связи с этим, актуальным является изучение позднечетвертичной истории межледниковых эпох, позволяющее провести параллели с климатом нашего времени. Последнее межледниковье (микулинское), сопоставимое с морской изотопной стадией 5e (MIS 5e), наиболее близко по хронологии к голоцену.

Реконструкция условий окружающей среды с использованием комплекса методов была проведена для позднемосковских и микулинских морских отложений (мощность 10 м) разреза Бычье на реке Пеза (приток р. Мезени), на северо-востоке Беломорского региона. Нижняя часть разреза (4,5 м) богата остатками микрофоссилий, а также содержит большое количество створок моллюсков *Arctica islandica*. Образцы мощностью 2 см на данный момент изучены с интервалом 10 см во фракции > 63 мкм.

Для изучения фораминифер и остракод был применен палеоэкологический метод, основанный на изучении экологии современной микрофауны [1]. В разрезе встречены арктические виды, типичные для современных шельфовых морей Северного Ледовитого океана. Бентосные фораминиферы были объединены в экологические группы по степени удаления от влияния речного стока: виды внутреннего шельфа, подверженного сильному опреснению, виды среднего шельфа, удаленного от речного влияния, виды внешнего шельфа с нормально-морскими условиями [2].

Стратиграфия позднемосковских-микулинских отложений для севера Европы разработана на основе последовательности смены спорово-пыльцевых комплексов [3]. Применение спорово-пыльцевого анализа для разреза Бычье позволяет скоррелировать его с западноевропейскими разрезами и определить возраст по палинозонам. Нижняя часть разреза, содержащая морские фоссилии, соответствует интервалу 133-120 тыс. лет назад [4]. Это время обширной бореальной трансгрессии. По смене ископаемых комплексов снизу вверх выделено пять экозон, соответствующих различным этапам истории развития бассейна.

Основные изменения окружающей среды, определенные по микрофоссилиям и литологии, связаны с быстрым затоплением переуглубленного шельфа на исходе московского оледенения, под действием эвстатического подъема уровня моря. В раннемикулинское время происходит максимальное углубление бассейна и увеличение морского влияния. Об этом свидетельствует высокое содержание видов внешнего шельфа среди фораминифер, таких как *Nonion labradoricum, Melonis barleeanus, Islandiella norcrossi* [5]. В дальнейшем происходило обмеление территории, связанное с изостатическим поднятием суши после снятия ледниковой нагрузки и окончания подъема уровня моря.

Верхняя часть разреза Бычье (5,5 м) не содержит фоссилий, она представлена песчаной толщей аллювиальных осадков. Они являются перспективными для определения абсолютного возраста методом оптически стимулируемого люминесцентного датирования (ОСЛ).

Полнота геологической летописи микулинского межледниковья, доступная в разрезе Бычье, при дальнейшем детальном исследовании позволяет получить новые данные об изменениях окружающей среды. При успешном датировании верхней части разреза возможно провести сопоставление морских отложений последнего межледниковья Беломорского региона с колонками осадков, синхронных MIS 5e, из Норвежского и Гренландского морей.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ГИН РАН № 0135-2019-0057.

Список литературы

1) Murray J. Ecology and application of benthic foraminifera. New York: Cambridge University Press. – 2006. – P. 426.

2) Polyak L., Korsun S., Febo L., et al. Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a river-influenced Arctic marine environment // Journal of Foraminiferal Research. – 2002. – V. 32. – №. 3. – P. 252–273.

3) Ikonen L., Ekman I. Biostratigraphy of the Mikulino interglacial sediments in NW Russia: the Petrozavodsk site and a literature review. Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Geologica-Geographica. Helsinki: Suomalinen Tiedeakatemia. – 2001. – 90 pp.

4) Талденкова Е.Е., Баух А.Х., Степанова А.Ю., и др. Детальная реконструкция изменений палеосреды на севере Белого моря в течение позднезаальского – раннеэемского времени // Труды всероссийской конференции по четвертичному периоду. – 2011. – Т. 2. – С. 260-263.

5) Овсепян Я.С., Талденкова Е.Е. Особенности распределения и морфологии вида Islandiella norcrossi (Cushman, 1933) в позднечетвертичных отложениях моря Лаптевых // Палеонтологический журнал. – 2019. – № 1. – С. 1-9.

РОССЫПИ ТЯЖЕЛЫХ МИНЕРАЛОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ: ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Панкратова Е.М.[1,2], **Дорохова Е.В.**[2], **Малафеев Г.В.**[2]

[1]*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, г. Калининград,*

[2]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

li.pankratova@gmail.com

Ключевые слова: тяжелые минералы, магнитная восприимчивость, литодинамика, Юго-Восточная Балтика.

Важное место среди источников полезных минералов занимают прибрежно-морские россыпи. Состав материнских пород побережья Калининградской области благоприятен для образования морских наносов, обогащенных тяжелыми минералами. Основными полезными минералами россыпей являются гранат, ильменит, рутил, циркон, лейкоксен, монацит, магнетит, титаномагнетит и др.

Прибрежные россыпи тяжелых минералов Юго-Восточной Балтики изучены очень слабо. Целью данной работы является обзор существующих исследований тяжелых минералов в Юго-Восточной Балтике и определение потенциала их изучения для решения вопросов динамики и геоэкологии береговой зоны моря.

Исследования россыпей тяжелых минералов на балтийском побережье велись еще в начале XX века немецкими учеными [1], однако большинство работ проводилось советскими исследователями. Так, Линчюс [2] показал, что основным фактором формирования концентратов морского пляжа как абразионных, так и аккумулятивных берегов является прибойный поток. Процессы дифференциации наносов и образование концентратов особенно действенны при штормовом волнении. При этом концентраты являются непостоянными и сохраняются только в межштормовые периоды.

В Гданьском бассейне Блажчишин [3] выделил терригенно-минералогические провинции и отнес рассматриваемый район к Самбийско-Вислинской провинции. Она характеризуется минеральным комплексом, образованным продуктами абразии берега и подводного склона Самбийского полуострова и в меньшей степени - выносами р. Вислы. В северной части этой провинции выделяется Неманская подпровинция. Содержание тяжелых минералов во фракциях 1,0-0,1 мм и 0,1-0,05 мм в различных типах поверхностных осадках Гданьского бассейна рассмотрены Тримонисом, Гульбинскасом [4]. Наибольшей изменчивостью тяжелых минералов во всех типах осадков характеризуется фракция 0,1-0,05 мм, где преобладают гранат, циркон, рутил, титанит, турмалин.

Шуйский [5] показал, что зерна минералов тяжелой фракции обладают более высокой гидравлической крупностью по сравнению с зернами легких минералов той же размерности и являются более «инертными» в одинаковых гидродинамических условиях. Повышенные концентрации тяжелых минералов в береговой зоне Юго-Восточной Балтики определяются процессами естественного шлихования.

В настоящее время изучением россыпей тяжелых минералов Юго-Восточной Балтики занимаются в основном литовские геологи. Буйневич и др. [6] отметили, что тяжелые минералы имеют более высокие значения магнитной восприимчивости, чем кварцевые пески. Исследованные концентрации тяжелых минералов на поверхности дюнных комплексов Куршской косы отражают поверхности сдвига при миграции реликтовых дюн и могут быть использованы для палеореконструкций.

На морском побережье Куршской косы концентрации тяжелых минералов, измеренные по данным магнитной восприимчивости, были использованы в качестве индикаторов природных процессов и деятельности человека [1]. Авторами показано, что изменения концен-

траций тяжелых минералов в наносах пляжа служат показателем направления вдольберегового потока наносов. Аномально высокие значения магнитной восприимчивости связаны с поступлением железа из прилегающих берегозащитных сооружений.

Таким образом, обзор имеющейся литературы показал, что россыпи тяжелых минералов в береговой зоне Юго-Восточной Балтики имеют высокий потенциал для изучения литодинамических процессов. Прибрежные россыпи как правило имеют незначительную мощность (до 1-2 см) ширину до 1-2 метров и простираются вдоль в волно-прибойной зоны на расстояние до нескольких десятков метров. Изменчивость таких россыпей в динамически активной морской части Балтийской и Куршской кос определяется штормовыми условиями. Регулярные исследования этих изменений отсутствуют. Однако вопросы динамики морского берега крайне актуальны в Калининградской области в связи с разрушительными штормами в зимний сезон. Экспресс анализ по магнитной восприимчивости позволит измерить одновременно большое количество образцов и выявить сезонную изменчивость концентратов. Определение вклада поступления металлов из берегозащитных конструкций будет способствовать и частичному решению геоэкологических задач.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013).

Список литературы

1) Pupienis, D., Buynevich, I.V., Ryabchuk, D., Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., Fedorovič, J., Kovalevac, O., Sergeevc, A., Cichon-Pupienis, A. 2017. Spatial patterns in heavy-mineral concentrations along the CuronianSpit coast, southeastern Baltic Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 195, p. 41–50.

2) Линчюс А. Современные концентраты тяжелых минералов на юго-восточном побережье Балтийского моря и некоторые вопросы их образования. Автореф. канд. дис. Вильнюс: Вильнюсский государственный университет им. Капсукаса, Вильнюс, 1967.

3) Блажчишин А.И., Усонис М.М. Особенности осадкообразования в юго-восточной части Балтийского моря по данным минералогического анализа // Вильнюс: «Балтика», 1970. № 4. С. 115 - 144.

4) Шуйский Ю.Д. Некоторые черты дифференциации обломочного материала в береговой зоне Балтийского моря в связи с формированием прибрежно-морских россыпей// Океанология, 1973. Т.XIII, вып. 4. С. 653-656.

5) Trimonis E.S., Gulbinskas S. Light and heavy minerals in the sediments of the Gdansk Basin // Geology of the Gdansk Basin. Baltic Sea. Kaliningrad, Yantarny Skaz, 2002, p. 178 -198.

6) Buynevich, I.V., Bitinas, A., and Pupienis, D., 2007. Lithological anomalies in a relict coastal dune: geophysical and paleoenvironmental markers. Geophysical Research Letters, 34.

ВАРИАЦИИ ЗАТОКОВ СЕВЕРОМОРСКИХ ВОД В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ В ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНОЕ ВРЕМЯ (ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР)

Пономаренко Е.П.[1,2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, г. Калининград*

ponomarenko.katharina@gmail.com

Ключевые слова: затоки североморских вод, Балтийское море, придонная циркуляция, бентосные фораминиферы, голоцен.

Современное Балтийское море представляет собой солоноватоводный водоем с сильной двухслойной стратификацией водной толщи. Особенность данного водоема заключается в том, что гидрологические и гидрохимические условия его изолированного придонного слоя находятся под влиянием водообмена с Северным морем, имеющим сообщение с Мировым океаном [1]. Режим обмена водными массами формируется под влиянием атмосферных условий. В первую очередь, это изменения положения центров действия атмосферы, отражающих изменения глобальной атмосферной циркуляции.

Котловина Балтийского моря разделена на несколько бассейнов, соединенных каналами и порогами. Соленые североморские воды поступают в Арконскую котловину через относительно узкие и мелководные Датские проливы, далее они распространяются по проливу Хамрарне (Борнхольмсгат) в Борнхольмскую впадину, откуда по Слупскому желобу воды затока попадают в Готландский бассейн [2].

Вопрос распространения интрузий североморских вод в Балтийском море в геологическом прошлом является малоизученным. Вариации поступления обогащенных кислородом, более соленых вод адвекции находят отражение в изменении состава донных отложений, в частности смене комплексов бентосных фораминифер.

Седиментационная колонка АБП 44035 была отобрана в западной части Готландского бассейна во время 44-го рейса НИС “Академик Борис Петров” (октябрь 2018 г.) с целью реконструкции условий осадконакопления, в частности периодичности и интенсивности поступления вод затоков, на основе комплексного анализа донных отложений, в том числе микропалеонтологического, геохимического (общее содержание органического углерода) и радиоуглеродного анализов.

Материал колонки был получен с помощью ударной трубки большого диаметра на глубине 171 метр, длина керна составляет 396 см, однако, верхние 4 см были утеряны при поднятии трубки на поверхность. Для лучшей сохранности осадка и предотвращения сминания либо растяжения материала при извлечении содержимого керна был использован жесткий пластиковый вкладыш. Дополнительно на этой же станции была отобрана седиментационная колонка с помощью короткой геологической трубки конструкции Ниемисто для получения ненарушенного верхнего слоя донных осадков. Верхние 5 проб, отобранные данным способом, были зафиксированы спиртовым раствором бенгальского розового для определения соотношения живых и мертвых особей в сообществе. На борту корабля было выполнено литологическое описание донных отложений, после чего из рабочей части керна были отобраны образцы непрерывно с шагом в 1 сантиметр. Осадки в основном представлены оливково-серым и темно-серым илом и илистой глиной. В составе донных отложений преобладает тонкая фракция (<63 мкм) с содержанием песка менее 5%. Основываясь на литологическом описании, материала ударной трубки большого диаметра был сформирован во время литориновой и постлиториновой стадий развития Балтийского

моря. Однако для построения более точной возрастной модели донные отложения были отправлены для радиоуглеродного датирования.

Количественный и качественный анализ сообществ бентосных фораминифер был выполнен во влажной просеянной фракции размером более 63 мкм, в соответствии с описанием в [2, 3]. Концентрация раковин была подсчитана, как количество раковин на грамм влажного осадка. Сообщества фораминифер характеризовались низким биоразнообразием. Живые особи составляли до 75% всех раковин. Агглютинирующие фораминиферы были представлены тремя видами (*Reophax nana, Reophax regularis* и *Reophax dentaliniformis*) и присутствовали только в верхних 50 см осадочного разреза. Среди карбонатных раковин доминировали два вида - *Elphidium excavatum* и *Elphidium incertum*. Карбонатные виды встречались крайне редко в исследованных кернах, было обнаружено два отчетливых пика: интервалы 4-5 см и 390-391 см. Одиночные раковины планктонных фораминифер *Neogloboquadrina pachyderma* sin. были также обнаружены в интервале 225-226 см. Присутствие бентосных фораминифер в осадочной колонке указывает на частые затоки более соленых, насыщенных кислородом вод в Готландский бассейн в течение соответствующих временных интервалов [2]. Основываясь на корреляции полученных данных с опубликованными результатами реконструкций солености Балтийского моря, упомянутые интервалы участившихся затоков, вероятно, соответствуют 2 и 4 стадиям Литоринового моря.

Экспедиционные исследования проводились при финансовой поддержке государственного задания Тема № 0149-2019-0013 и частичном финансировании из средств гранта РНФ № 18-77-10016. Анализ донных отложений был выполнен за счет гранта РНФ № 18-77-10016.

Список литературы

1) Hermelin J.O.R. Distribution of Holocene benthic foraminifera in the Baltic Sea // The Journal of Foraminiferal Research. – 1987. – № 17(1). – P. 62-73.

2) Binczewska A., Moros M., Polovodova-Asteman I., Sławinska J., Bak 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. – Vol. 47. – № 1. – P. 297-310.

3) Brodniewicz I. Recent and some Holocene Foraminifera of the southern Baltic Sea // Acta Palaeontologica Polonica. – 1965. – № 10(2). – P. 131-260.

ОПОЛЗНЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СКЛОНА ОСТРОВА САХАЛИН

Рукавишникова Д.Д.

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

drukavishnikova@gmail.com

Ключевые слова: подводные оползни, склон о. Сахалин.

Исследования восточного склона острова Сахалин комплексом геолого-геофизических методов проводились с 1998 по 2012 гг. в рамках международных проектов: ***K***urile-***O***khotsk ***M***arine ***EX***periment (KOMEX), Hydro-***C***arbon ***H***ydrate ***A***ccumulations in the ***O***khotsk ***S***ea (CHAOS) и ***S***akhalin ***S***lope ***G***as ***H***ydrates (SSGH) и включали батиметрическую съемку, в том числе многолучевое эхолотирование, сейсмоакустическое профилирование, гидроакустическую съемку, гидролокацию бокового обзора. В результате работ была получена сеть сейсмоакустических профилей, которая позволяет охарактеризовать структуру верхней части осадочного чехла склона и присклоновых областей, выявить и описать оползневые тела и структуры.

Северо-восточный склон представляет собой зону перехода от Евразии к структурам Охотского моря [1]. Здесь аккумулируется большой объем обломочного материала, который переносится с севера, из района дельты р. Амур, основными течениями Охотского моря, проходящими вдоль склона и шельфа [2]. Склон о. Сахалин расположен близко к активной правосторонней границе о. Сахалин [1]. Восточный склон Сахалина представляет собой аккумулятивную террасу, образованную в условиях активной сдвиговой окраины. Средние уклоны склона составляют 1-3°, в пределах отдельных областей они увеличиваются до 16°. Склон граничит с глубоководной котловиной Дерюгина, центральная часть которой является современным депоцентром. В наиболее погруженной части котловины глубины превышают 1600 м [1].

В структуре осадочного чехла подножия склона в результате сейсмоакустических исследований описана массивная толща гравититов [3]. Сейсмоакустическая съемка 2003-2012 гг. подтверждает, что массивная толща распространена на дне котловины Дерюгина. Мощность толщи постепенно уменьшается от подножия склона на восток. Толща гравититов повсеместно перекрыта более молодыми отложениями различной мощности. Массивная толща котловины Дерюгина имеет сложное строение и содержит внутренние несогласия, разделяющие ее на комплексы. В результате исследования было описано четыре комплекса. Верхний комплекс резко ограничен у подножия склона и распространяется только в северной части склона, в то время как подстилающие комплексы распространены гораздо шире, протягиваясь вдоль всей северной и центральной части склона. На западе они перекрыты хаотическими и слоистыми склоновыми отложениями, и граница их распространения не обнаружена. Общий объем гравитационных отложений котловины Дерюгина оценивается в 660 км^3. Предполагается, что оползневой комплекс котловины Дерюгина сформировался в результате сложного длительного процесса гравитационного переотложения осадков склона и северного шельфа Охотского моря и содержит собственно оползневые отложения, дебриты и турбидиты.

Основную площадь разреза склона занимает хаотический комплекс, который характеризуется сложным строением, холмистым рисунком сейсмических отражений и содержит многочисленные внутренние несогласия, тектонические нарушения и локальные оползневые тела. Он выходит на поверхность в южной части северного склона, а на севере перекрыт переллельно-слоистым комплексом. Оползневые тела распространены в пределах

хаотического комплекса в центральной и нижней частях склона, их мощности не превышают 40 метров, а площади распространения - 100 км^2. Предполагается, что их образование связано с обрушением тектонических уступов.

На северо-восточном склоне о. Сахалин было обнаружено несколько систем параллельных сбросов северо-западного простирания. Системы сбросов сопровождаются областями складчатости различной интенсивности, которые затрагивают верхнюю часть склоновых отложений. Вероятно, образования сбросов и деформации отложений верхней части осадочного чехла связаны в едином процессе гравитационного разрушения склона.

В пределах северной части склона о. Сахалин и у его подножия были обнаружены массивные гравитационные отложения и признаки современного гравитационного разрушения склона. Мощная оползневая толща у подножия склона была сформирована в результате гравитационного переноса отложений шельфа и склона, носившего региональный характер. Формированию локальных оползневых тел на склоне и у его подножия способствовали тектоническая активность и образование крутых уступов. Современное оползание склона выражено в формировании серий параллельных сбросов в верхней части склона и деформации слоистого разреза.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-05-60228.

Список литературы

1) Харахинов, В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона / В.В. Харахинов. – М. : Научный мир, 2010. – 276 с.

2) Деркачев, А.Н. Особенности поставки и распределения кластогенного материала в Охотском море в позднечетвертичное время (на основе анализа ассоциаций тяжелых минералов) / А. Н. Деркачев, Н. А. Николаева, С. А. Горбаренко // Тихоокеанская геология. – 2004. – Т. 23, № 1. - С. 37-52.

3) Bottom current-controlled sedimentation and mass wasting in the north-western Sea of Okhotsk / H. K. Wong [et al.] // Marine Geology. – 2003. – V. 201. № 4. – P. 287-305.

ОТКРЫТИЕ ГИДРАТОНОСНОЙ СТРУКТУРЫ «МГУ» НА ДНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ В ЭКСПЕДИЦИИ CLASS@BAIKAL

Соловьева М.А.[1,2], **Ахманов Г.Г.**[2], **Хлыстов О.М.**[3]

[1] *ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва*

[2] *Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

[3] *Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск*

marina-sol@yandex.ru

Ключевые слова: газовые гидраты, флюидоразгрузка, неотектоника, сейсмопрофилирование, озеро Байкал.

История изучения газовых гидратов на дне озера Байкал насчитывает более 20 лет. Первые находки газогидратов в осадочной толще Байкала были сделаны в ходе глубоководного бурения в 1997 году [1]. В 2000 году были обнаружены первые приповерхностные газовые гидраты [2], после чего начались систематические открытия гидратоносных структур на дне озера. К началу 2018 года было обнаружено 47 структур, в придонных осадках которых были зафиксированы газовые гидраты [3]. 29 июля 2018 года в ходе международной геолого-геофизической экспедиции проекта Class@Baikal была обнаружена новая гидратоносная структура, которая получила название «МГУ». Она стала пятой среди структур, обнаруженных на глубине более 1300 м, и 48-й среди всех известных гидратоносных структур озера Байкал.

В ходе экспедиции Class@Baikal данная структура была пересечена тремя сейсмоакустическими профилями с использованием электроискрового источника типа «спаркер» с центральной частотой 400 Гц, что позволило изучить осадочный разрез на глубину 350 м. Кроме того, группой специалистов Иркутского национального исследовательского технического университета была выполнена высокоточная батиметрическая съёмка дна и получена цифровая модель рельефа структуры. На основании анализа геофизической информации было выбрано и отработано 5 станций донного пробоотбора гравитационными трубками, сопровождавшихся подводной видеосъёмкой, с последующим анализом керна в лабораториях. Полученные данные позволили предварительно охарактеризовать морфологию и особенности внутреннего строения обнаруженной структуры.

Обнаруженная структура расположена в центральной котловине озера Байкал, в 20 км к юго-востоку от пролива Ольхонские Ворота, на глубине 1380 м. Она является субизометричной в плане возвышенностью с четырьмя выраженными вершинами высотой 5-10 м. Диаметр основания структуры около 500 м. Она приурочена к хорошо выраженному в рельефе дна тектоническому уступу высотой 20 м. Данный разлом прослеживается на протяжении более 40 км и является главным тектоническим элементом глубоководной части центральной котловины озера. Анализ сейсмоакустических профилей, отработанных в экспедициях Class@Baikal в 2015-2018 годах, показал, что данное тектоническое нарушение сопровождается серией небольших оперяющих разломов, которые в данной работе впервые были детально закартированы. К основному уступу приурочены также известные ранее гидратоносные структуры - сип Санкт-Петербург и грязевой вулкан Новосибирск. Всё это указывает на активные неотектонические движения и флюидоразгрузку в исследуемом районе.

На сейсмоакустических разрезах под сводом структуры «МГУ» прослеживается субвертикальная зона потери корреляции, характеризующаяся хаотической волновой картиной. К данной зоне приурочены расположенные на разных уровнях высокоамплитудные аномалии типа «яркое пятно». Такой характер сейсмической записи типичен для зон миграции флюидов вверх по разрезу. Кроме того, в отобранных кернах наблюдались ха-

рактерные текстуры дегазации ила, а геохимический анализ осадка показал превышение концентраций метана почти в 9,5 раз относительно фоновых значений [4]. Данные наблюдения свидетельствуют об активной флюидоразгрузке в пределах изучаемой структуры.

В явном виде газовые гидраты в кернах обнаружены не были, однако на гидратоносность структуры «МГУ» неопровержимо указывают иные признаки. При подъёме одной из трубок со дна озера на борт, с глубины 380 м на судовом эхолоте отчётливо наблюдался газовый шлейф. Он вызван тем, что труба достигла границы условий стабильности газовых гидратов, которые начали разлагаться на газ и воду. Внезапное начало и последующее усиление выхода пузырьков газа из трубы также были зафиксированы прикреплённой к ней видеокамерой. После изъятия керна из трубы наблюдалось характерное шипение и треск, что типично для диссоциации микрокристаллов гидратов, а осадок через некоторое время становился сильно разжиженным. Все эти признаки однозначно указывают на гидратоносность отложений в пределах структуры «МГУ».

Таким образом, анализ геологических и геофизических данных доказывает современную активную флюидоразгрузку и гидратоформирование в пределах структуры «МГУ» на фоне активных неотектонических процессов в синрифтовом осадочном бассейне.

Работа выполнена в рамках Гранта РФФИ №18-35-00363.

Список литературы

1) Кузьмин М.И., Калмычков Г.В., Гелетий В.А. и др. Первая находка газогидратов в осадочной толще озера Байкал // Докл. РАН. 1998. Т. 362, № 4. С. 541–543.

2) Клеркс Я., Земская Т.И., Хлыстов О.М. и др. Гидраты метана в поверхностном слое глубоководных осадков озера Байкал // Докл. РАН. 2003. Т. 393, № 6. С. 822–826.

3) Khlystov O.M., Khabuev A.V., Minami H. et al. Gas hydrates in Lake Baikal // Limnology and Freshwater Biology 2018 (1): 66-70.

4) Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М., Соловьева М.А. и др. Открытие новой гидратоносной структуры на дне оз. Байкал // Вестн. Моск. Ун-та. 2018. Сер. 4. №5. С. 111-116.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОННЫХ ОСАДКОВ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО ДАННЫМ 28-ГО И 38-ГО РЕЙСОВ НИС "АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ"

Сухих Е.А.

Геологический институт РАН, г. Москва

sukhikh_ea@mail.ru

Ключевые слова: радиогенная теплогенерация, теплопроводность, температура, тепловой поток, литология, Баренцево море.

В 38 рейсе НИС «Академик Николай Страхов» (август-сентябрь 2018 г.) было выполнено 25 измерений теплопроводности донных осадков в Печорском море и 9 измерений в южной части Баренцева моря (акватории о. Колгуев и п-ва Рыбачий). Измерения проводились в отобранном ударной прямоточной грунтовой трубкой и/или дночерпателем «Океан - 0,1» осадочном материале непосредственно по окончанию пробоотбора при помощи измерителя теплопроводности «МИТ-1» (Госреестр СИ РФ, №24693-08).

Прибор состоит из электронного блока, соединенного с измерительным зондом (диаметр 6 мм, длина 100 мм), встроенного литиевого аккумулятора, а также зарядного устройства, обеспечивающего работу нагревателя измерительного зонда при выполнении измерений теплопроводности.

Среднее значение коэффициента теплопроводности (k) для Печорского моря составило 1,041 Вт/м×К (при $k_{\min}$ = 0,7711 Вт/м×К и $k_{\max}$ = 1,508 Вт/м×К). Для станций в южной части Баренцева моря $k_{\text{ср}}$ = 1,0655 Вт/м×К (при $k_{\min}$ = 0,917 Вт/м×К и $k_{\max}$ = 1,4535 Вт/м×К). Максимальные значения k соответствуют осадочному материалу, представленному песками, отобранными южнее о. Колгуев. Ряд пониженных значений k соответствует горизонтам пелитовых глин с брекчиевидной текстурой, которая, возможно, обусловлена промерзанием и последующим оттаиванием пород.

Также осадочный материал из горизонтов с измеренной теплопроводностью был отобран для выполнения анализа на определение валовых концентраций U, Th, K, который выполнялся в лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН рентгеноспектральным флуоресцентным методом. На основании данных о распространенности изотопов элементов в природе [1], из полученных валовых концентраций U, Th, K были вычислены концентрации основных теплогенерирующих изотопов ^{238}U (99,2745%), ^{232}Th (100%) и ^{40}K (0,0117%). Концентрации ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K использовались для расчета поверхностной радиогенной теплогенерации ($A_{\text{пов}}$).

$A_{\text{пов}}$ (мкВт/м^3) = $\rho(a\text{U} + b\text{Th} + c\text{K})$

где ρ — плотность породы, кг/м^3 (для морских глин принималась плотность 1800 кг/м^3, для илов - 1600 кг/м^3, для песков - 2000 кг/м^3) [2]; a, b, c — теплогенерация изотопа на единицу массы (a = 9,17×10^{-5}; b = 2,56×10^{-5}; c = 2,97×10^{-5}, Вт/кг) [1].

Среднее значение $A_{\text{пов}}$ для акватории Печорского моря составляет 0,782 мкВт/м^3. Для осадочного материала, отобранного севернее п-ва Рыбачий, средняя $A_{\text{пов}}$ составляет 1,06 мкВт/м^3.

В 28 рейсе НИС «Академик Николай Страхов» (сентябрь 2011 г.) в районе свода Федынского (южная часть Баренцева моря) также был отобран осадочный материал для определения теплопроводности и валовых концентраций U, Th, K, на основании которых выполнен расчет 71 значения радиогенной теплогенерации. Среднее значение $A_{\text{пов}}$ для района свода Федынского составило 0,93 мкВт/м^3 [3].

По экспедиционным и другим доступным для исследуемого района данным проведен анализ особенностей распределения теплопроводности, поверхностной радиогенной теплогенерации, температур в верхнем слое осадков и в водной толще для определения возможных факторов, влияющих на теплофизические свойства донных осадков. Выявлена роль литологических, геоморфлогических, структурно-тектонических и гидрологических факторов.

Полученные данные позволяют скорректировать величины коровой и мантийной компоненты наблюдаемого в южной части Баренцева моря теплового потока.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-35-20060 и Программы Президиума РАН № П49.

Список литературы

1) Jaupart C., Mareschal J.-C. Constraints on Crustal Heat Production from Heat Flow Data / Ed. R.L. Rudnick // Amsterdam: Elsevier Science Publishers. Treatise on Geochemistry. Vol. 3: The Crust. 2004. P. 65–84.
2) Справочник физических констант горных пород / Под ред. С. Кларка мл.; пер. с англ. // М.: Мир. Науки о Земле. Т. 21. 1969. 544 с.
3) Хуторской М.Д. и др. Геотермия Арктических морей // М.: ГЕОС. 2013. 232 с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И РАЗНООБРАЗИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР В ДОННЫХ ОСАДКАХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ (60N)

Тихонова А.В.

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

semeonka@gmail.com

Ключевые слова: бентосные фораминиферы, Северная Атлантика, палеоэкология, микропалеонтология.

Океанские донные осадки содержат подробную информацию о придонных, глубинных и поверхностных гидрологических палеоусловиях, нашедших отражение в смене ассоциаций фито и зоопланктона, а проведение микропалеонтологического анализа позволяет выполнять палеореконструкции среды и климата. Одним из наиболее важных районов Мирового океана является современная Северная Атлантика, где происходит взаимодействие теплых поверхностных и холодных полярных глубинных водных масс, которое влияет на работу межокеанского круговорота или глобального термогалинного конвейера (ГТК). В свою очередь, ГТК в значительной мере определяет в настоящее время, и определял в геологическом прошлом климат на Земле [1]. Анализ комплексов бентосных фораминифер позволяет описать свойства придонных вод, их динамику, содержание органического вещества в осадках, т.е. сделать выводы о возможном характере термогалинной циркуляции.

Через северную Атлантику (60°N) в 51-ом рейсе НИС «Академик Иоффе» было отобрано, в том числе, 26 дночерпательных проб, пробы были изучены на содержание в них бентосных фораминифер при помощи микропалеонтологического анализа. Определены более 140 видов бентосных фораминифер. Выделены доминирующие виды: *Epistominella exigua, Alabaminella weddellensis, Cassidulina laevigata, Cassidulina teretis, Cibicidoides wuellerstorfi, Cibicides refulgens, Cibicidoides pachyderma, Bolivina pygmae, Cassidulina reniforme, Oridorsalis* spp., подсчитаны содержания «фитодетритовых» видов, указывающих на сезонное поступление органического вещества [2] и содержания агглютинирующих видов. Вычислены индексы биоразнообразия, выравненности, проведен кластерный анализ в программе PAST3 [3]. Изучены гидрологические особенности исследуемого района с использованием среднегодовых данных атласа мирового океана 2009 года (WOA 09) в программе Ocean Data View (ODV) [4]. Целью данного исследования является выявление основных параметров среды, влияющих на закономерности распределения и разнообразия БФ в исследуемом регионе.

Исследования проведены по тема госзадания ИО РАН № 0149-2018-0016.

Список литературы

1) Broecker W.S. The great ocean conveyor belt // Oceanography. – 1991. – V. 1. – P. 79 - 89.

2) Gooday A. J. Deep-sea benthic foraminiferal species which exploit phytodetritus: Characteristic features and controls on distribution // Marine Micropaleontology. – 1993. – Vol. 22. – № 3. – P. 187-205.

3) Hammer Ø., Harper D.A., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. – 2001. – Vol. 4. – № 1. – P. 9.

4) Schlitzer R. Electronic Atlas of WOCE Hydrographic and Tracer Data Now Available, Eos Trans. AGU. – 2000. – 81(5). – P. 45.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКОВ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ "ИЛОВЫЕ ВОДЫ - ПРИДОННЫЙ ГОРИЗОНТ" НА ПРИМЕРЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Борисенко Г.В.

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

gennady.val.borisenko@gmail.com

Ключевые слова: Арктика, потоки вещества, гидрохимия, иловые воды.

Несмотря на то, что пограничные зоны занимают всего 2% от объема Мирового Океана, биохимическая и геологическая роль их огромна. Оценки обмена химическими элементами необходимы для понимания биогеохимических циклов биогенных элементов. Граница воды и дна плохо изучена из-за недоступности для исследователя [1].

В данной работе изучаются диффузионные потоки биогенных элементов в системе «иловые (межпоровые) воды - придонный горизонт вод». Тема эта изучена недостаточно подробно, поскольку в настоящее время не существует универсальных подходов к исследованию данного вопроса. В то же время Арктика - экономически ценный и экологически уязвимый регион Мирового Океана. Работы по изучению диффузионных потоков из осадка находятся в самом начале развития, это важное и тонкое направление океанологических исследований может способствовать более глубокому пониманию проблемы изменения климата, а также загрязнения океана нефтепродуктами и тяжелыми металлами.

Исследования проводились в ходе 72-го рейса судна «Академик Мстислав Келдыш», регионом исследования были Арктические моря (Карское, море Лаптевых) и залив Благополучия, острова Северный, архипелага Новая Земля. Пробоотбор производился с помощью трубок Ниемисто, откуда далее отбирались пробы придонной воды и анализировались. Осадочный материал, содержащий иловые воды, отжимался, и надосадочные воды также подвергались химическому анализу.

Оценка диффузионных потоков (J) на границе вода-дно была проведена на основании закона Фика[2]:

$J=-ф \cdot D_s \cdot (dc/dx)$

C - концентрация компонента в иловом растворе (поровой среде) осадка: x- расстояние от поверхности вглубь осадка. D_s -коэффициент диффузии компонентов в поровой среде осадков. Коэффициент пористости (ф) был принят равным 0.95, а коэффициенты диффузии компонентов в поровой среде осадков для $\mathbf{PO_4 = 2{,}15 \cdot 10^{-5}}$, $\mathbf{Si = 3{,}97 \cdot 10^{-5}}$, $\mathbf{Ntot = 7{,}8 \cdot 10^{-5}}$ [3].

Интенсивность поступления химических элементов из верхнего слоя осадков составляет для фосфора от $1.03 \cdot E^{-05}$ до $1.93 \cdot E^{-06}$ мкмоль/м^2·сутки, для кремния находится в пределах от $1.56 \cdot E^{-03}$ до $3.41 \cdot E^{-04}$ мкмоль/м^2·сутки, для общего азота от $1.89 \cdot E^{-03}$ до $1.77 \cdot E^{-04}$ мкмоль/м^2•сутки.

Были замечены интересные тренды изменения диффузионных потоков в пределах каньона в восточной части пролива Вилькицкого: потоки кремния в абсолютном значении довольно высоки на краях каньона и низкие на дне. Возможно, это связано с благоприятными условиями протекания турбулентных процессов на краю каньона в силу небольшой глубины, что в значительной степени повышает уровень обмена биогенными элементами в этой области.

Впервые были проведены оценки диффузионных потоков в разрезе через море Лаптевых. Замечено, что на шельфовом склоне наблюдаются высокие значения потоков кремния и крайне низкие значения потоков азота. Материковые склоны - слабо изученная область мирового океана, поэтому причины такого явления остаются неизвестными.

Список литературы

1) Вершинин А.В., Розанов А.Г. Химический обмен на границе вода– дно в океанах и морях. М.: ГЕОС, 2002. −164 с. ISBN 5-89118-258-0
2) Lerman A (1978) Chemical exchange across sediment-water interface. Annu Rev Earth Planet Sci 6:281–303
3) Schulz H.D. Quantification of Early Diagenesis: Dissolved Constituents in Marine Pore Water // Marine Geochemistry. Ed. Schulz H.D., Zabel M. Springer. Heidelberg, Bern, NY. 2000. P. 85-128.

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЗАКИСЛЕНИЕ ВОД ОКЕАНА В ТРОПИЧЕСКИХ ШИРОТАХ В 1998-2016 ГГ

Гусак Г.В., Лобанова П.В.

Санкт-Петербургский Государственный университет, г. Санкт-Петербург

ggusak96@gmail.com

Ключевые слова: закисление океана, Индо-малайский треугольник, pH, температура, хлорофилл-a.

Известно, что за последнее столетие влияние человека на океан значительно возросло. Значительно растет и концентрация углекислого газа в атмосфере и в океане. А попадая в океан двуокись углерода или углекислый газ (CO_2) после ряда химических реакций приводит к понижению pH (то есть к «закислению» водной среды) [1]. На изменение pH морской воды влияют следующие факторы: изменение концентрации растворенной CO_2, интенсивность фотосинтеза, температура и др. [2].

Закисление приводит к заметным изменениям в экосистеме, так как напрямую влияет на карбонатную систему. Компонентами карбонатной системы являются: двуокись углерода, угольная кислота, гидрокарбонат-анион, карбонат-анион. Это сложная система равновесия, где изменение концентрации одного компонента сказывается на изменении других. С карбонатной системой связаны также ионы водорода и кальция. Уменьшение CO_2 в воде приводит к увеличению pH и концентрации карбонат-аниона, а вода становится перенасыщенной карбонатом кальция, а в случае увеличения концентрации CO_2 все происходит наоборот [2]. От количества карбоната кальция зависит развитие таких организмов как кораллы и различные виды фито- и зоопланктона [1,3].

В данной работе сделана попытка проанализировать влияние физических (температура) и биологических (фотосинтез) факторов на закисление вод в тропических широтах, где морская экосистема весьма чувствительна к изменению pH.

Данные по pH, температуре и концентрации хлорофилла-a для региона 21° с.ш. - 8° ю.ш., 135° - 165°в.д получены из открытого источника World Ocean Database (https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/wod18-notes.html https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/wod18-notes.html). Рассмотрены горизонты от поверхности до 6000 м. Всего использовано 443 измерения температуры с 1998 по 2016 гг. (измерения есть во все месяцы, больше всего измерений в июле, а меньше всего в апреле), и 327 измерений концентрации хлорофилла с 1998 2012 гг. (больше всего измерений сделано в июле, а в марте не было измерений совсем). Анализ характера связи между рассматриваемыми параметрами проводился в программном паке Matlab R2018b. Для этого проанализированы диаграммы рассеяния pH - хлорофилл-a и pH- температура, а также коэффициент корреляции.

Результаты показали, что pH увеличивается как с увеличением температуры так и с увеличением концентрации хлорофилла-a. Коэффициент корреляции для обоих пар значений (pH - температура и pH - хлорофилл-a) составил 0.66 (p-уровень = 0) и = 0.35 (p-уровень = 0) соответственно. По причине того, что большая часть данных хлорофилла-a сосредоточена на глубинах до 100 м и того, что эвфотическая зона даже в прозрачных водах обычно не превышает 200 м [4], мы дополнительно проанализировали зависимость рассматриваемых параметров в слое до 100 м. В результате коэффициент корреляции увеличился: для пары температура pH R = 0.88 (p-уровень = 0.00), для пары pH хлорофилл-a R=0.87 (p-уровень = 0.00).

Таким образом, полученные результаты показали, что в данном регионе тропических широт изменчивость pH достаточно сильно определяется изменчивостью таких физиче-

ских и биологических факторов, как температура и фотосинтез (косвенно через концентрацию хлорофилла-а). Так как, в слое до 100 метров коэффициент корреляции между параметрами довольно высок, можно сделать вывод, что pH находится под значительным влиянием этих факторов в поверхностных водах. Объяснить это можно следующим: (1) с повышением температуры уменьшается растворимость CO_2, а значит pH увеличивается из-за его меньшей концентрации; (2) в тоже время, с увеличением интенсивности фотосинтеза, увеличивается потребление растворённого CO_2, что в свою очередь также влияет на увеличение pH [3]. Поскольку, на глубинах более 100 м коэффициент корреляции уменьшается, можно предположить, что там преобладают другие факторы, оказывающие влияние на изменчивость pH.

Список литературы

1) Белкин И. М. Влияние закисления (ацидификации) океана на рыболовство России // Рыбное хозяйство. – 2017. – № 3. – С. 21–32.
2) Никоноров А. М. Гидрохимия: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: Гидрометеоиздат, 2001. – 444 с.
3) Mollica N. R., Weifu Guo, Cohen A. L., Kuo-Fang Huang, Foster G. L., Donald H. K., Solow A. R. Ocean acidification affects coral growth by reducing skeletal density. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – 2018. – Т. 115. – № 8. – С. 1754–1759.
4) Morel A., Berthon J. Surface pigments, algal biomass profiles, and potential production of the euphotic layer: Relationships reinvestigated in view of remote-sensing applications // Limnology and Oceanography. – 1989. – Т 34. – № 8. – С. 1545-1562

ХИМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ РОССИИ

Донец М.М., Цыганков В.Ю.

Школа биомедицины, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

maksim.donecz@mail.ru

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, дальневосточные моря, СОЗ, тяжелые металлы, ХОП, ПХБ.

На текущий момент, химическая безопасность промысловых гидробионтов во многом зависит не только от биогеохимических условий их среды обитания, но также и от антропогенного воздействия. Основными нормативными документами, регламентирующими химическую безопасность пищевого сырья (в том числе из гидробионтов) в России являются СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» и Технический регламент Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Эти документы нормируют такие показатели, как концентрации токсичных элементов (свинца, мышьяка, кадмия, ртути, гистаминов, нитрозаминов), пестицидов (гексахлорциклогексана (ГХЦГ), дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) и его метаболитов, 2,3-D кислоты и ее эфиров, полихлорированных бифенилов (ПХБ)) и радионуклидов (цезия-137, стронция-90) [1, 2].

Наиболее частыми загрязняющими веществами морских организмов являются тяжелые металлы и хлорорганические соединения. Некоторые из тяжелых металлов являются эссенциальными, однако, превышение содержания этих элементов приводит к отрицательным последствиям для здоровья. К стойким органическим загрязняющим веществам (СОЗ) относятся хлорорганические пестициды (ХОП), полихлорированные бифенилы (ПХБ) и диоксины (ПХДД, ПХДФ). Благодаря своим физико-химическим свойствам, они способны к атмосферному переносу, биоаккумуляции и биотранспорту [3]. Все СОЗ являются жирорастворимыми, что позволяет им накапливаться в липидах, постоянно отравляя организм в течение многих лет. На текущий момент, СОЗ постоянно обнаруживаются в морских организмах.

В работах последних пяти лет изучались, в основном, горбуша и кета из дальневосточных морей [4, 5]. Лососи - это крупные пелагические рыбы, обитающие главным образом в северных частях Тихого и Атлантического океанов, в Северном Ледовитом океане и в бассейнах их рек [4]. Среди рыб тихоокеанского региона, лососи являются важнейшими промысловыми и коммерческими видами рыб. Среди тихоокеанских лососей ведущим является род *Oncorhynchus,* включающий горбушу (*O. gorbuscha*), кету (*O. keta*), нерку (*O. nerka*), кижуча (*O. kisutch*), чавычу (*O. tshawytscha*) (king salmon), симу (*O. masu*). Тихоокеанские лососи - наиболее массовая и потому очень важная в промысловом отношении группа. Их уловы на 90% обеспечиваются тремя главными видами: горбушей, кетой и неркой [4].

Особенностью биологии тихоокеанских лососей является накопление жиров во время нагульного периода жизни. В дальнейшем, жиры используются для создания гонад и запаса питательных веществ на нерест [6]. Аккумуляция липофильных загрязняющих веществ происходит одновременно с увеличением жировой ткани. Это делает тихоокеанских лососей потенциально опасными для людей.

Образцы собирались в различных районах: около Курильских островов, Охотском море, Беринговом море и др. В исследованных образцах, как правило, были обнаружены все нормируемые тяжелые металлы (Pb, Cd, As, Hg), а также трассеры антропогенного

воздействия - Cu и Zn. У курильских островов Pb был близок к максимально допустимой ПДК. Ученые заключили, что в существующих экологических и биогеохимических условиях Охотского моря повышения концентрации Pb, Cd, Hg и As не ожидается. Согласно нормативной документации, пищевое сырье из рыб должно содержать не более 1 мг/кг свинца, 5 мг/кг мышьяка, 0,2 мг/кг кадмия и 0,5 мг/кг ртути. Другие элементы не нормируются СанПиНом и ТР ТС. Однако отравление эссенциальными тяжелыми металлами возможно, что показывает необходимость актуализации нормативной документации и включения в нее таких элементов, как Cu, Zn, Ni, Fe и др. Предельные концентрации СОЗ для рыб, указанные в СанПиН и ТР ТС, следующие: изомеров ГХЦГ - не более 0,2 мг/кг, ДДТ и его метаболитов - 2,0 мг/кг, ПХБ - 2,0 мг/кг. Диоксины должны составлять не более 0,000004 мг/кг сырого веса.

Проведенные исследования указывают на необходимость мониторинга химического состава наиболее значимых промысловых видов рыб, а также на пересмотр нормативных документов для рыбы и рыбной продукции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение № 18-14-00120).

Список литературы

1) СанПиН 2.3.2.1078-01. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Минздрав России, 2002. – 154 с.
2) ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». – Комиссия Таможенного союза, 2013. – 242 с.
3) Lukyanova O.N., Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D. et al. Bioaccumulation of HCHs and DDTs in organs of Pacific salmon (genus Oncorhynchus) from the Sea of Okhotsk and the Bering Sea // Chemosphere. – 2016. – Vol. 157. – P. 174–180.
4) Khristoforova N.K., Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D. et al. Reflection of biogeochemical conditions of the marine environment on trace elements contained in pacific salmon // Achievements in the life sciences. – 2014. – No 8. – P. 91-100.
5) Ковековдова Л.Т., Кику Д.П., Касьяненко И.С. Мониторинг содержания металлов и мышьяка в промысловых рыбах и морской воде дальневосточных морей // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 2. – С. 18-24.
6) Tsygankov V.Y., 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. – Vol. 113, № 1–2. – P. 69–74.

ПЛАТИНА В ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВОЙ КОРКЕ ГАЙОТА ДЕТРОЙТ

Зологина Е.Н.[1,2], **Бережная Е.Д.**[1], **Михайлик Е.В.**[3]

[1]*ИО РАН, г.Москва*

[2]*РХТУ им. Д.И. Менделеева, г.Москва*

[3]*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток*

whitewolchica@gmail.com

Ключевые слова: железомарганцевые корки, геохимия, платина.

Гидрогенные (кобальтоносные) железомарганцевые корки океана обладают высоким ресурсным потенциалом в качестве сырьевых источников редких элементов. Помимо марганца, кобальта и никеля, эти образования обогащены редкоземельными элементами и элементами группы платины. В корках Тихого океана средние концентрации платины составляют 0.4 мкг/г. Это на три порядка выше, чем содержания Pt в земной коре (0.4 нг/г), и на семь порядков выше, чем в морской воде (0.5×10^{-4}нг/г). Гидрогенные железомарганцевые корки образуются в результате прямого осаждения из океанских вод взвешенных оксигидроксидов марганца и железа на субстрат, представленный магматическими и/или осадочными породами. Большинство исследователей предполагает, что основным источником платины в железомарганцевых корках является морская вода, отмечая ее связь с редокс-чувствительными элементами. Например, при исследовании железомарганцевых корок и конкреций Атлантического океана была показана корреляция платины с кобальтом, церием и таллием, что косвенно подтверждает ее окислительно-восставительную сорбцию на оксигидроксидах железа и марганца [1]. Ранее при послойном исследовании корок были обнаружены повышенные содержания платины в их нижней части, что по предположению авторов обусловлено диагенетическими изменениями в корках в периоды перерывов их роста [2,3]. В данной работе было выполнено послойное определение платины в корке гайота Детройт (Тихий океан) с целью исследовать ее связь с химическим и минеральным составом и сделать вывод о возможном источнике ее поступления.

Гайот Детройт является частью возвышенности Обручева, ограничивающею Гавайско-Императорскую вулканическую цепь протяженностью почти 6000 км. Данная структура сформировалась в результате движения Тихоокеанской плиты над гавайской горячей точкой. Возраст вулканов увеличивается в северо-западном направлении, начиная от острова Гавайи, на котором проявляется современный вулканизм [4]. Корка была драгирована в рейсе 91-AV-19/4 (1991 г.) НИС «Академик Александр Виноградов» со склона северного вулканического конуса с глубины 1650 м. Ее максимальная толщина 150 мм. Минеральный состав слоев этой корки представлен вернадитом, в подошве отмечен бёрнессит, 10Å - манганит и франколит.

Химический состав корки был определен методами атомной абсорбции и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Для определения платины применялось предварительное концентрирование на ионообменном сорбенте [1].Содержание марганца в корке варьирует от 19 до 27%, железа от 11 до 19%, алюминия от 0.2 % до 1.8%, фосфора от 0.3 до 0.4%. Отношение Mn/Fe изменяется от 0.9 до 2.3. В нижнем слое корки (в подошве) наблюдаются повышенные содержания меди и никеля (1227 и 7512 мкг/г соответственно).Содержание кобальта варьирует от 2128 до 3532 мкг/г. Среди редкоземельных элементов было отмечено высокое содержание церия. Его концентрация составляет 890-1663 мкг/г, в то время как содержания лантана и неодима меняются в пределах 190-322 мкг/г и 193-264 мкг/г соответственно, что приводит к формированию положительной цериевой аномалии (Cean = 1.5 - 3.1).

Содержание платины изменяется от 88 до 610 нг/г, увеличиваясь от верхнего слоя к нижнему. Корреляционный анализ показал, что платина значимо связана с алюминием, литием, медью, цинком, никелем и барием (R>0.75). Для этих элементов также характерны высокие содержания в подошве корки. Повышенные содержания алюминия в нижнем слое могут быть связаны с наличием вулканокластического материала или с продуктами его гальмиролиза [5]. Вероятно, на раннем этапе формирования корки галимиролиз базальтов являлся дополнительным источником платины.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 18-17-00015 и РФФИ 17-05-00339.

Список литературы

1) Berezhnaya E. et al. Accumulation of Platinum Group Elements in Hydrogenous Fe–Mn Crust and Nodules from the Southern Atlantic Ocean //Minerals. – 2018. – Т. 8. – №. 7. – С. 275.

2) Hein J. R., Schwab W. C., Davis A. S. Cobalt-and platinum-rich ferromanganese crusts and associated substrate rocks from the Marshall Islands //Marine Geology. – 1988. – Т. 78. – №. 3-4. – С. 255-283.

3) Halbach P. E., Jahn A., Cherkashov G. Marine Co-Rich Ferromanganese Crust Deposits: Description and Formation, Occurrences and Distribution, Estimated World-wide Resources //Deep-Sea Mining. – Springer, Cham, 2017. – С. 65-141.

4) Михайлик П.Е., Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Баринов Н.Н., Зарубина Н.В. Самородное золото в железомарганцевых корках гайота Детройт (Императорский хребет, Тихий океан) // Вестник ДВО РАН. – 2014. - №4. – С. 13-24.

5) Дубинин А. В. и др. Геохимия и проблемы генезиса железомарганцевых образований островных дуг западной части Тихого океана //Геохимия. – 2008. – №. 12. – С. 1280-1303.

БИОГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДАХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Кодрян К.В.

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

Angelloka@yandex.ru

Ключевые слова: растворенное органическое вещество, моря Карское, Лаптевых, Сорг, РОВ, липиды, белки, углеводы

Экосистемы арктических морей в настоящее время подвергаются мощному антропогенному воздействию. С одной стороны - это эксплуатация морских биологических ресурсов, а с другой - загрязнение морей в результате широкомасштабного освоения шельфа арктических морей связанного с добычей углеводородного сырья и загрязнения рек, впадающих в эти моря. За последние десятилетия в результате глобальных климатических изменений произошло таяние большого массива многолетнего льда в Арктике, что также не могло не отразиться на состоянии уязвимых арктических экосистем. Любое воздействие на морскую среду отражается на количестве и качестве органического вещества (ОВ).

В настоящем исследовании проанализированы биогидрохимические данные, полученные в августе-сентябре 2018 г. в 72-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». В качестве основных показателей рассматривались концентрации растворенного и взвешенного ОВ (РОВ и ВОВ) и их биохимический состав (углеводы, белки, липиды). Всего в рейсе были проведены работы на 26 станциях с полным комплексом биохимических определений. Из них в Карском море было выполнено 12 станций, 6 из которых в заливе Благополучия, и 14 станций в море Лаптевых.

Данные по растворенному органическому углероду ($C_{орг}$), полученные во время экспедиции, указывают на большую пространственную изменчивость концентраций РОУ на исследуемой акватории. В Карском море концентрации $C_{орг}$ колебались от 90 до 453 мкМ с учетом станций в заливе Благополучия, а в море Лаптевых от 88 до 466 мкМ. Причем, максимальные концентрации $C_{орг}$ встречались не только в фотическом слое, а на разных глубинах, в зависимости от интенсивности гидрологических, физико-химических и биологических процессов.

На основании полученных данных можно выявить несколько закономерностей, касающихся процентного состава биохимических компонентов РОВ и ВОВ, характерных как для Карского моря, так и для моря Лаптевых. Основным биохимическим компонентом РОВ в водах исследуемых нами морей являются углеводы. Концентрации растворенных углеводов находились в диапазоне от 0,37 до 3,18 мг/л, причем максимальные величины были измерены не только в фотическом слое, где максимальна первичная продукция, но и в придонных слоях. Например, в Карском море, на станциях 5942_2 (73°6′11″с.ш., 61°18′50″в.д.) и 5943_2 (73°54′14″ с.ш., 72°59′53″ в.д.), содержание растворенных углеводов у дна достигает значений 2,58 мг/л и 2,97 мг/л, соответственно. Увеличение концентраций углеводов ко дну в несколько раз по сравнению с фотическим слоем обусловлено наличием здесь нефтеносных слоев, из которых при интенсивном обмене вода-дно в раствор поступают углеводороды метанового ряда, которые абиотическим путем могут превращаться в углеводоподобные соединения [2]. Также значительный вклад в общий пул РОВ в Карском море и в море Лаптевых вносят липиды. Концентрации липидов находились в диапазоне от 0,54 до 2,8 мг/л. Их высокие значения объясняются тем, что в высоких

широтах все макро- и микрообитетели обогащены жирами, и в результате жизнедеятельности этих гидробионтов значительное количество липидов выделяется в воду [1]. Также трансформированные атлантические воды несут ОВ, значительный вклад в которые вносят липиды (20-40%). Растворенные белки, которые в основном являются показателями биомассы нано- и пикопланктона, в обоих морях составляют незначительную долю (не более 7 %) по сравнению с углеводами и липидами.

Отдельно для Карского моря стоит отметить, что на поверхности в открытой части моря максимальные концентрации растворённых углеводов и липидов отмечены в южной части исследуемого района, где зафиксированы более высокая температура воды (выше 4°С) и увеличенная плотность микропланктона. Севернее, содержание растворённых углеводов и растворённых липидов уменьшается почти в два раза. Для вертикального распределения растворенных углеводов и липидов по всей акватории было характерно увеличение концентраций в слое температурного скачка и в холодном промежуточном слое, но максимальные значения этих показателей были у дна.

В поверхностных водах моря Лаптевых общий фон концентраций растворённых углеводов невысок, с выраженной тенденцией уменьшения с увеличением мористости. Повышенные концентрации растворённых углеводов и липидов наблюдались в западной части исследуемого района примыкающего к проливу Вилькицкого и в южной части Восточного разреза. Также высокое содержание растворённых углеводов (2,8 мг/л) и липидов (1,4 мг/л) было приурочено к зоне свала глубин. Здесь же была отмечена высокая степень насыщения воды кислородом (более 100%), что свидетельствует об идущих продукционных процессах в этом районе.

Таким образом, в Карском море доля углеводов в РОВ составляет 30-60%, а липидов - 25-40%. В море Лаптевых также основными биохимическими компонентами являются углеводы, составляя 40-50% от общего РОВ, и на втором месте липиды, на долю которых приходится около 30% от РОВ, а в проливе Вилькицкого до 50%. Анализ полученных данных по главным биохимическим компонентам ВОВ показал, что основной вклад в ВОВ вносят белки - до 60%. До 30% приходится на углеводы и до 20% на липиды. Стоит также отметить, что характерной особенностью ОВ Арктического бассейна является низкое содержание взвешенного ОВ относительно растворенного. Полученное нами процентное соотношение биохимических компонентов ОВ подтверждается данными, собранными в августе-сентябре 2008 г. во время 28-го рейса НЭС «Академик Федоров» в этих морях [1].

Автор выражает большую благодарность члену-корреспонденту РАН М.В. Флинту (ИОРАН) за возможность участия и выполнения представленных исследований в рейсе и с.н.с. Н.И. Торгуновой (ВНИРО), под чьим руководством были выполнены биохимические работы.

Список литературы

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

2) Reid C., Orgel L.E. Synthesis of sugars in potentially prebiotic conditions// Nature. 1967. V.216, P.455-467

ОПРЕСНЕНИЕ МОРСКИХ ВОД В ЗАЛИВАХ ЦИВОЛЬКИ И СЕДОВА (НОВАЯ ЗЕМЛЯ) ПО ИЗОТОПНЫМ (D, ^{18}O) ДАННЫМ

Коссова С.А., Дубинина Е.О., Мирошников А.Ю.

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва

Sonch_1@rambler.ru

Ключевые слова: Карское море, Новая Земля, изотопный состав, опреснение

Данная работа посвящена процессам опреснения вод заливов Новой Земли, в частности заливов Цивольки и Седова, для которых существует несколько потенциальных источников опреснения: глобальных (эстуарные воды Оби, Енисея, атмосферные осадки региона и полярных широт) и локальных (водотоки и ледники Новой Земли). Цель работы состоит в оценке роли разных источников опреснения: глобального, поступающего с континента, и локальных, поступающих с архипелага. Для этого были использованы данные об изотопном составе кислорода и водорода (δD, δ^{18}O) опресненных морских вод в комплексе с данными об их солености. Метод изотопной геохимии кислорода и водорода является традиционным для идентификации пресных вод [1], и в ряде случаев он используется для количественных оценок вклада пресных вод разного происхождения, разбавляющих морские воды [2].

Несмотря на высокую изученность изотопных параметров вод Карского моря [3,4], изотопных исследований в водах, непосредственно прилегающих к архипелагу Новая Земля, ранее не проводилось. Хорошо установлено, что в центральной части Карского моря наблюдается двухкомпонентное смешение модифицированных атлантических вод, поступающих из Баренцева моря с эстуарными водами Енисея и Оби [3]. Однако с удалением от источников континентального стока, процессы опреснения должны быть существенно осложнены из-за присутствия локальных источников опреснения и отклонения наблюдаемых параметров от модели двухкомпонентного смешения [5].

В качестве объекта были выбраны заливы Седова и Цивольки, расположенные недалеко друг от друга на юго-восточном побережье Новой Земли, но различающиеся по глубине, морфологии дна и степенью открытости по отношению к акватории Карского моря. Материалы для исследований были получены в ходе рейсов НИС Профессор Штокман» (2014 г), и «Академик Мстислав Келдыш» (2015, 2016 гг.) в район Карского моря. Кроме вод заливов были опробованы воды локальных водотоков и ледник Серп и Молот в заливе Цивольки. В экспедиции 2015 г. были взяты пробы вод из желобов Св. Анны и Воронина. Все пробы, кроме водотоков и ледника, отбирались с использованием гидрофизического зонда и батометров комплекса SBE 32. Для каждой станции изучался вертикальный профиль распределения гидрофизических параметров и величин δD и δ^{18}O. Пробы вод заливов отбирались в течение трех лет (2014-2016 гг), что обеспечило возможность оценить насколько стабильны изотопные параметры источников опреснения во времени и насколько активно они участвуют в опреснении акваторий изученных заливов.

Анализ полученных данных показал, что наиболее высокие величины δ18O и δD характерны для усредненного стока Оби и локальных пресных вод Новой Земли (12.7...-17.6 и -97...-125.5 ‰). Для стока Енисея и локальных атмосферных осадков данные величины существенно ниже (-19.3...-23 и -145... 173 ‰). Во все годы наблюдений воды обоих заливов на всех глубинах опреснены по отношению к господствующим в Карском море водам атлантического происхождения, но степень опреснения и источники опресняющих компонентов различны для вод, залегающих на разных глубинах. Временные вариации изотопных параметров затрагивают только воды галоклина, где максимальное опреснение отмечалось в 2015 году.

В водах, лежащих под галоклином, межгодовые вариации солености и величин δ18O и δD отсутствуют. Данные воды в двух изученных заливах близки по солености, температуре и изотопным параметрам. Они содержат около 1.5 % пресного компонента, представленного, вероятно, атмосферными осадками высоких широт (δD $\approx$ -200 ‰ и δ18O $\approx$ 24 ‰). Мы предполагаем, что перенос этих вод с высоких широт в район юго-восточного побережья Новой Земли возможен через желоба Святой Анны и Воронина [6], воды которых с аналогичной соленостью близки к ним по изотопным параметрам. В заливе Седова эти воды частично смешиваются с водами, опресненными в Карском море и с локальным стоком с берегов архипелага. Вероятно, что в заливе Цивольки такому смешению, может препятствовать сложный рельеф дна с наличием поперечных поднятий.

В водах галоклина обоих заливов содержится до 30% пресного компонента. В опреснении поверхностных вод залива Седова в 2015 году участвовали воды Оби, вероятно поступившие в залив в виде плюма. В водах галоклина залива Цивольки в том же году, напротив, преобладали локальные источники опреснения. Различие механизмов опреснения поверхностных вод в заливах, вероятно, определяется наличием естественных преград для свободного обмена с водами Карского моря в заливе Цивольки и их отсутствием в заливе Седова.

Заливы Новой Земли являются сложным объектом для изучения процессов опреснения их акваторий. Основная причина - наличие большого количества потенциальных источников опреснения. Соотношение локальных и глобальных источников опреснения в заливах Новой Земли является сложным и неоднородным по глубине. По-видимому, распределение опресняющих компонентов уникально для каждого из заливов и определяется географическими и морфологическими особенностями, строением донной поверхности и степенью открытости из акваторий.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-00740.

Список литературы

1) Craig H., Gordon L. Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere // Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures, Spoletto. 1965. P. 9-130.

2) Ostlund H.G., Hut G. Arctic Ocean Water Mass Balance From Isotope Data // J. Geophys. Res. 1984. V. 89. P. 6373-6381.

3) Дубинина Е.О., С.А. Коссова, А.Ю. Мирошников, Р.В. Фяйзулина. Изотопные (δD, δ18O) параметры и источники опресненных вод Карского моря // Океанология. 2017. Т 57. №1. С. 38-48.

4) Bauch, D., Erlenkeuser, H., Stanovoy, V., Simstich, J. and Spielhagen, R. F. Freshwater distribution and brine waters in the southern Kara Sea in summer 1999 as depicted by δ18O results // Siberian river run-off in the Kara sea. Ed. Stein R. et al., 2003. P. 73–90.

5) Коссова С.А., Дубинина Е.О., Мирошников А.Ю., Надьярных Г.И., Бизяева А.В. Изотопные параметры (δD, δ18O) и источники опресненных вод заливов Новой земли. // XXI симпозиум по геохимии изотопов, тезисы докладов. Москва, 2016. С. 304-306.

6) Ekwurzel B., Schlosser P., Mortlock R., Fairbanks R. River runoff, sea ice meltwater, and Pacific water distribution and mean residence times in the Arctic Ocean // Journal of Geophysical Research. 2001. V. 106 (C5). P. 9075-9092.

БЕРИЛЛИЙ-7 В ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

Кременчуцкий Д.А., Батраков Г.Ф.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

d.kremenchutsky@gmail.com

Ключевые слова: бериллий-7, Черное море, взвешенное вещество, коэффициент распределения, пространственная изменчивость.

Бериллий-7 - это естественный радионуклид космогенного происхождения. Период полураспада - 53,3 суток. Он образуется в атмосфере. Основным источником поступления радионуклида в морскую среду является его поток с влажными атмосферными выпадениями. Данные натурных наблюдений содержания бериллия-7 в водах Черного моря сильно ограничены и относятся к шельфовой зоне. Научный интерес к бериллию-7 обусловлен возможностью его использования в качестве трассера физических процессов на масштабах времени от синоптического до сезонного. Данные о пространственно-временной изменчивости его концентрации могут также быть использованы для валидации моделей переноса пассивной примеси [1].

В течении 2016 г. были проведены две серии отбора проб морской воды с борта судна в ходе 87 (с 30 июня по 20 июля) [2] и 89 (с 30 сентября по 19 октября) рейсов НИС «Профессор Водяницкий». Пробы отбирались с глубины 2 метра с использованием высокопроизводительного погружного насоса (объемная скорость 6 $м^3$ $час^{-1}$) в 6 пластиковых емкостей объемом 1 000 л каждая. Из емкостей вода прокачивалась с использованием поверхностного насоса (объемная скорость 7 л $мин^{-1}$) через систему колб, содержащую фильтр механической очистки от взвеси (размер пор 1 мкм) и 3 колонки с сорбентом. В качестве сорбента использовался активированный гранулированный оксид алюминия со средним размером гранул 5 мм. Определение содержания бериллия-7 в пробах проводилось на гамма-спектрометре со сцинтилляционным детектором NaI(Tl) размером 63*63 мм, разрешение 7% по пику цезия-137. Время измерения единичной пробы варьировалось от 12 до 24 часов и определялось ее активностью. Погрешность измерений составляла в среднем 25%.

По результатам наблюдений были получены данные о пространственно-временной изменчивости поля концентрации бериллия-7 в верхнем квазиоднородном слое (ВКС) Черного моря на 36 станциях, а также два вертикальных профиля. Величина концентрации бериллия-7 в ВКС изменялась от 2 до 9,5 Бк $м^{-3}$, средняя величина - 6,1 $\pm$ 1,5 Бк $м^{-3}$. Повышенные величины были характерны для глубоководной части моря в оба сезона, максимум наблюдался в летний сезон, пониженные величины наблюдались в прибрежной части моря. По данным о вертикальном распределении концентрации бериллия-7 было установлено, что его изменчивость в ВКС не превышает погрешности определения этого параметра. Бериллий-7 обнаруживался до глубины 60 м. Величина относительного содержания радионуклида на взвеси изменялась от 7 до 15%, и составляла в среднем 10 $\pm$ 2%. Повышенные величины были типичны для прибрежной зоны, пониженные - для глубоководной. Величина массовой концентрации бериллия-7 на взвеси изменялась от 191 до 1688 Бк $кг^{-1}$, средняя величина - 1100$\pm$400 Бк $кг^{-1}$. Повышенные величины были свойственны для глубоководной части моря, пониженные - для прибрежной. Была установлена статистически достоверная связь между изменением общего содержания бериллия-7 в ВКС и концентраций взвеси. Увеличение концентрации взвеси приводило к уменьшению общего содержания изотопа в слое. Также, были получены оценки величины коэффициента распределения (K_d) бериллия-7 между растворенной и адсорбированной на взвеси формами,

и связь величины коэффициента с концентрацией взвеси. Величина коэффициента изменялась в интервале от $1{,}1 \cdot 10^5$ до $3{,}2 \cdot 10^5$ л кг$^{-1}$, средняя величина - $(2{,}0 \pm 0{,}4) \cdot 10^5$ л кг$^{-1}$. Районы с повышенными величинами концентрации взвеси характеризовались пониженными значениями коэффициент распределения K_d.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема «Океанологические процессы», № 0827-2019-0003) при частичной поддержке РФФИ (проект № 16-05-00206).

Список литературы

1) Kremenchutskii D.A., Dymova O.A., Batrakov G.F., Konovalov S.K. Numerical simulation of the intra-annual evolution of beryllium-7 (^{7}Be) in the surface layer of the Black Sea // Environmental Science and Pollution Research, 2018.– 11(25).– P. 11120–11127. doi: 10.1007/s11356-018-1269-y

2) Kremenchutskii D.A. Distribution of beryllium-7 (^{7}Be) in the Black Sea in the summer of 2016 // Environmental Science and Pollution Research, 2018.– 31(25).– P. 31569–31578. doi:10.1007/s11356-018-3157-x

ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И МЫШЬЯКОМ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ В 2018 Г.

Куринная Ю.С.[1], **Гуров К.И.**[2], **Котельянец Е.А.**[2]

[1]*Азовский научно-исследовательский институтрыбного хозяйства, г. Ростов-на-Дону,*

[2]*Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь*

Kurinnaya-jul@yandex.ru

Ключевые слова: балаклавская бухта, донные отложения, тяжелые металлы.

Донные отложения (осадки) представляют собой сложную многокомпонентную систему, которая может накапливать в себе различные химические вещества (в частности, тяжелые металлы) и являться источником вторичного загрязнения водных объектов. Выявление закономерностей миграции тяжелых металлов (ТМ) в системе «вода - взвешенное вещество - донные отложения» является достаточно сложным вопросом, который требует проведения большого количества исследований.

Особенностью донных осадков, как показателей состояния водного объекта, является то, что они служат крайним звеном поступления веществ в водоемы, вследствие чего объединяют геохимические особенности водосборных участков, различных техногенных сбросов и водных объектов [1]. Для прибрежных акваторий с ограниченным водообменном, подверженных антропогенному воздействию, типичным примером которых является Балаклавская бухта, донные отложения могут охарактеризовать уровень техногенной нагрузки региона.

Балаклавская бухта представляет собой акваторию с ограниченным водообменном, выполняющую роль порта для маломерных судов. За длительный период антропогенной нагрузки на акваторию бухты в донных отложениях накопилось значительное количество загрязняющих веществ [2]. Отмечено, что в настоящее время основными источниками загрязнения донных отложений являются сточные воды промышленных и коммунальных предприятий, речной и ливневый стоки.

В данной работе приведены результаты оценки количественного содержания и особенностей пространственного распределения тяжелых металлов в донных отложениях акватории Балаклавской бухты, полученные в ходе экспедиционного исследования, выполненного в октябре 2018 г. Пробы донных отложений были отобраны из поверхностного слоя (0 - 5 см) с помощью дночерпателя Питерсона на 16 станциях. Оценка загрязнения ТМ дается по 12-и приоритетным элементам (Fe, Mn, Ti, Sr, V, Zn, Cr, Ni, Cu, Pb, As, Co). Валовое содержание исследуемых микроэлементов определялось методом рентгенфлуоресцентного анализа.

Гранулометрический состав проб донных отложений в исследуемом акватории меняется от мелкодисперсных алеврито-пелитовых илов в кутовой северной части бухты до средне- и крупнодисперсных песчаных отложений с включениями ракуши в южном бассейне и на выходе из бухты.

Для большинства исследуемых элементов характерно весьма неравномерное распределение концентраций по площади дна акватории. Отмечено, что основное накопление микроэлементов отмечается в северной части акватории, которое определяется расположением промышленного стока, а также стока р. Балаклавки. Другим характерным районом, подверженным интенсивному загрязнению исследуемыми микроэлементами, является выход коммунальных сточных вод, расположенный в центральной части восточного берега бухты. Такие закономерности прослеживаются и в более ранних исследованиях. Показано,

что увеличение концентраций микроэлементов отмечается в кутовой северо-восточной и в центральной восточной частях акватории.

Отмечено, что вблизи указанных локальных источников загрязнения, концентрации исследуемых элементов в разы превышают как средние величины, характерные для осадков шельфовых зон Черного моря [3], так и значения, полученные в акватории Балаклавской бухты ранее.

Повышенные концентрации ряда элементов, таких как Cr, V, Mn и Ni отмечаются повсеместно в центральной части акватории. Для Sr максимальные концентрации отмечаются на выходе из бухты, в пробах с повышенным содержанием ракушечного материала.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 18-45- 920007 «Геохимия загрязняющих веществ донных отложений Балаклавской бухты (Черное море)»

Список литературы

1) Клёнкин, А. А., Корпакова, Л. Ф. Павленко, З. А. Темердашев. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение. – Краснодар, 2007. – 324 с.

2) Ломакин П. Д., Попов М. А. Океанологическая характеристика и оценка загрязнения вод Балаклавской бухты. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 184 с.

3) Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И., Геохимия Черного моря. – Киев: Наук. думка, р. 144, 1982.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ПЛУТОНИЯ В БИОТИЧЕСКИХ И АБИОТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТАХ СОЛЕНЫХ ОЗЕР КРЫМА

Параскив А.А., Терещенко Н.Н., Проскурнин В.Ю., Чужикова-Проскурнина О.Д.

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

artem.paraskiv@mail.ru

Ключевые слова: соленые озера Крыма, $^{239,240}Pu$, Черное море.

На территории Крымского полуострова находится свыше трехсот соленых водоемов [1]. Известно, что во второй половине XX века территория Крымского полуострова, а следовательно, и соленые озера, как и омывающие полуостров Черное и Азовское моря, подвергались радиоактивному загрязнению [2]. На современном этапе в число основных дозообразующих антропогенных техногенных радиоизотопов входят альфа-излучающие радионуклиды плутония ^{239,240}Pu [2]. Объектом наших исследований были выбраны 10 соленых озер, которые используются в хозяйственных и рекреационных целях.

Целью работы было изучение уровней концентрации активности^{239,240}Pu в биотических (многолетних водных растениях и зоопланктоне) и абиотических (воде и донных осадках) компонентах соленых озер Крымского полуострова.

Исследования проводили в соленых озерах из четырех географических групп: Евпаторийской - Кызыл-Яр и Сасык-Сиваш; Тарханкутской - Джарылгач и Бакальское; Перекопской - Красное, Киятское и Кирлеутское; Керченской - Чокракское, Акташское и Тобечикское. Пробы отбирали в ходе экспедиций 2016-2018 гг. Поверхностный слой (0-5 см) донных отложений в каждом озере отбирался широкой акриловой трубкой диаметром 120 мм. В каждой географической группе озер были отобраны пробы воды большого объема: 270 л (оз. Кызыл-Яр), 253 л (оз. Джарылгач), 3800л (оз. Кирлеутское) и 250 л (оз. Акташское). В отдельных озерах были отобраны пробы гидробионтов: рдест гребенчатый (*Stuckenia pectinata*), лофосифония (*Lophosifonia sp.*) и взрослые особи ракообразных *Artemia salina*.

В пробы вносили радиоактивный трассер ^{242}Pu и подвергали радиохимической обработке, в ходе которой с помощью колоночной ионообменной хроматографии выделяли и очищали плутоний [2]. Методом электроосаждения готовили тонкослойные препараты, которые затем измеряли на альфа-спектрометрическом комплексе «EG&G ORTEC OCTETE PC BERTHOLD-WALLAC». Результаты определения концентрации активности ^{239,240}Pu в донных осадках и гидробионтах представлены в мБк/кг сухой массы, для воды - мБк/м^3. Ошибка измерения не превышала 25% за исключением пробы воды из оз. Кирлеутское, где она составила 42%.

Результаты исследований показали, что уровни концентрации активности ^{239,240}Pu в компонентах соленых озер Крыма варьировали в довольно широких пределах. В поверхностной воде озер они изменялись в пределах 0,84-16,47 мБк/м^3. Наименьшие значения наблюдались в озерах Кирлеутском (0,84 мБк/м^3) и Акташском (2,06 мБк/м^3). Озера западной части Крыма характеризовались более высокими уровнями концентрации активности ^{239,240}Pu: 6,57 мБк/м^3 в оз. Джарылгач и 16,47 мБк/м^{3}в оз. Кызыл-Яр. Для сравнения, в глубоководной части Черного моря в 2017 г. концентрация активности изучаемых изотопов плутония в поверхностной воде составляла 1,66 мБк/м^3.

В донных отложениях исследуемых озер уровни ^{239,240}Pu так же варьировали в широком диапазоне величин: 24-425 мБк/кг. Самые низкие значения определены в трех озерах Перекопской группы - 24-95 мБк/кг. Данные озера по своему происхождению относятся к континентальному типу [1].

Озера Тарханкутской группы характеризуются более высокими значениями концентрации активности ^{239,240}Pu в илистых донных отложениях. По результатам трехлетних исследований оз. Джарылгач среднее значение составило 425 мБк/кг. В оз. Бакальское были отобраны пробы как илистых, так и песчанистых донных осадковзначения ^{239,240}Pu составили 313 мБк/кг в илах и 49 мБк/кг в песках. Это согласуется с данными исследований в Каркинитском заливе Черного моря, где в илистых осадках значения ^{239,240}Pu были в пределах 680-819 мБк/кг, а в песчанистых - 95 мБк/кг.

В озерах Евпаторийской группы так же были исследованы донные отложения, отличающиеся по своему гранулометрическому составу. В илистых осадках озер Кызыл-Яр и Сасык-Сиваш концентрации активности плутония составили 419 и 338 мБк/кг соответственно, а в песчанистых - 61 и 57 мБк/кг.

В Керченской группе донные осадки были исследованы в трех озерах. Расположенные у Керченского пролива озера Тобечикское и Чокракское характеризуются примерно одинаковыми уровнями $^{239+240}$Pu в илистых донных отложениях: 392 и 385 мБк/кг соответственно. В песчанистых осадках оз. Акташское концентрация активности плутония была в 4 раза меньше, и составляла 96 мБк/кг.

В пробах водных растений соленых озер были выявлены низкие значения концентрации активности плутония: 1,1-3,2 мБк/кг. Для сравнения, в многолетней бурой водоросли цистозире (*Cystoseira crinite*), отобранной в Каркинитском заливеуровни ^{239,240}Pu составили 26 мБк/кг и в зеленой морской траве зостере (*Zostera sp.*) - 4 мБк/кг. В пробе взрослых особей ракообразных *A.salina* обнаружено повышенное содержание радионуклидов плутония по сравнению с водными растениями - 63 мБк/кг.

Таким образом, изучение распределения радионуклидов плутония в биотических и абиотических компонентах соленых озер Крыма показало, что наибольшие уровни накопления ^{239,240}Pu обнаружены в илистых донных отложениях озер Евпаторийской, Тарханкутской и Керченской групп, в песчанистых донных осадках они были в 6-7 раз ниже. Наибольшее содержание ^{239,240}Pu в поверхностной воде характерно для практически пресноводного озера Кызыл-Яр. Уровни накопления в гидробионтах в целом были значительно ниже, чем в иловых донных отложениях. Среди изученных гидробионтов самая большая концентрация активности ^{239,240}Pu определена во взрослых особях ракообразных *A. salina.*

Исследования выполнены по теме государственного задания ФГБУН ИМБИ "Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем номер гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2, а также при поддержке гранта РФФИ проект № 16-05-00134 «Биогеохимические процессы, определяющие радиохемоэкологическое и экотоксикологическое состояние соленых озер Крыма и возможности использования их биоресурсов».

Список литературы

1) Понизовский А.М. Соляные ресурсы Крыма. Киев: Из-во Крым,1965. – 164 с.

2) Поликарпов Г.Г. и др. Радиоэкологический отклик Чёрного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2008. – 667 с.

ВЛИЯНИЕ ТАЯНИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА БИОХИМИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКИХ ВОД

Погожева М.П.[1,3], **Якушев Е.В.**[1,2], **Петров И.Н.**[3], **Яески Е.А.**[4], **Полухин А.А.**[1], **Маккавеев П.Н.**[1], **Бротен Х.-Ф.**[2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Норвежский институт водных исследований (NIVA), г. Осло, Норвегия*

[3]*Государственный океанографический институт, г. Москва*

[4]*Северо-Западный филиал ФГБУ «НПО Тайфун», г. Санкт-Петербург*

pogojeva_ maria@mail.ru

Ключевые слова: Арктика, мерзлота, биогеохимия, кислотность, биогенные вещества, загрязнение морских вод.

Целью данной работы является оценка потенциального влияния таяния вечной мерзлоты на химические характеристики и загрязненность прибрежных вод. Данные были получены в результате совместной русско-норвежской экспедиции 19-28 июня 2018 г. в прибрежных водах арх. Шпицберген в районе Темпл фьорд. В работе участвовали сотрудники НПО «Тайфун», г.Санкт-Петербург; Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН (ИО РАН), г. Москва; Государственного океанографического института им.Н.Н.Зубова (ГОИН), г. Москва; и Норвежского института водных исследований (NIVA), г. Осло. Работы проводились в рамках международного проекта. Этот междисциплинарный проект русско-норвежского научного сотрудничества в Арктическом регионе, ориентирован на накопление данных о современном химическом режиме прибрежных вод, состоянии карбонатной системы и биогеохимического состояния среды, подверженной таянию вечной мерзлоты и сравнение методик исследований. Натурные наблюдения и расчеты показывают, что таяние вечной мерзлоты может оказать существенное воздействие на химическую структуру морских вод [1], что, в свою очередь, может повлиять на процессы в морских экосистемах высоких широт.

Экспедиция базировалась в г. Лонгйир, пробы воды отбирались в порту, пробы вечной мерзлоты были отобраны с абразионного склона, расположенного примерно в 10 км западнее г.Лонгйира вблизи аэропорта.

Анализы первого дня были выполнены в тот же день в лаборатории университета UNIS (г. Лонгйир), пробы на некоторые показатели были законсервированы и отправлены для дальнейшего анализа в лаборатории институтов NIVA, НПО «Тайфун» и ГОИН. Отбор проб для измеряемых параметров проводился в соответствии со стандартными инструкциями [2].

Целью экспедиции было также проведение лабораторного эксперимента, показывающего возможные изменения в составе морской воды, связанные с таянием вечной мерзлоты.

Эксперимент состоял двух частей:

1. В серию ёмкостей помещали образцы вечной мерзлоты, туда же добавляли 1 л морской воды. По прошествии определенного интервала времени из ёмкости № 1 отбирали воду на различные виды анализа (pH, биогены, щёлочность, тяжёлые металлы), по прошествии 2-го - из ёмкости № 2 и т.д. На выходе получили серию образцов морской воды с различным временем контакта с мерзлотой. Всего было отобрано 19 образцов в течение 5 суток.
2. В серию ёмкостей помещали образцы вечной мерзлоты, туда же добавляли 1 л морской воды, в воду погружали пассивные пробоотборники (устройства, способные накапливать тяжёлые металлы). Ёмкости с пробоотборниками устанавливали на встряхиватель. По прошествии 1-го интервала времени из ёмкости № 1 извлекали пробоотборник,

по прошествии 2-го - из ёмкости № 2 и т.д. На выходе получили серию пробоотборников с различным временем экспозиции.

В результате постановки эксперимента получены данные об изменении химических параметров морской воды и поведении возможных загрязнителей в результате контакта с вечной мерзлотой в течение первых 5 суток. Было отмечено, что обогащение биоенными элементами происходит в первые часы после попадалния мерзлоты в воду, в то время как для некоторых тяжелых металлов (Hg, Cd, Ni, Pb) увеличение концентрации происходит в течение всего периода наблюдений.

Данные 2018 г. дополняют предыдущие исследования влияния речного стока и таяния ледника на химическую структуру прибрежных вод данного района 2014-2017 гг. [3].

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 выполнена при поддержке Норвежского научного фонда (NRC), проект «ICOTA»: «Влияние таяния вечной мерзлоты на биогеохимические свойства и загрязнение морской среды».

Список литературы

1) Bates N. R., Mathis J. T. The Arctic Ocean marine carbon cycle: evaluation of air-sea CO2 exchanges, ocean acidification impacts and potential feedbacks // Biogeosciences, 2009, Vol.6, P.2433–2459

2) Grashoff K, Kremling K, Ehrhard M. Methods of seawater analysis, 3rd completely revised and extended edition. WILEY-VCH Verlag GmbH, 1999. 632 p.

3) Погожева М.П., Полухин А.А., Якушев Е.В., Ильинская А.А., Маккавеев П.Н., Проценко Е.А., Степанова С.В., Хлебопашев П.В., Якубов Ш.Х., Стаалстрём А., Норли М. Влияние таяния материкового льда и вечной мерзлоты на химическую структуру прибрежных вод западного Шпицбергена. // Процессы в геосредах. – № 3(17). – 2018. – С. 121-125.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АСИДИФИКАЦИИ ВОД МОРЕЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА (КАРСКОЕ, ЛАПТЕВЫХ, ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ)

Полухин А.А.[1], **Пронина Ю.О.**[2]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Российский химико-технологический университет им. Д.М. Менделеева, г. Москва*

aleanapol@gmail.com

Ключевые слова: Арктика, асидификация, шельф, речной сток, изменение климата.

Акватория Северного Ледовитого океана наиболее всего подвержена влиянию глобальных климатических изменений, следствием которых является, в том числе, процесс асидификации (закисления) арктических вод.

Асидификация (закисление) океана - это процесс увеличения концентрации ионов водорода (т.е. понижения водородного показателя pH) под влиянием различных факторов. Уровень закисления океана является одной из 9 планетарных границ устойчивости биогеосистемы Земли. Измеряемым параметром асидификации океана был выбран глобальный средний уровень насыщения арагонитом в поверхностном слое морей - Ω_{Ar}. Средний уровень насыщения арагонитом в поверхностном слое морей (глубина до 300 - 800 м) находится на отметке $\Omega_{\mathrm{Ar}} = 2.75$

Снижение уровня pH океанских вод и насыщенности их арагонитом тесно связаны между собой. Арагонит (карбонат кальция) малорастворим, поэтому в природных водоемах может переходить в раствор и существовать в нем в заметных количествах только при наличии растворенного CO_2. Образующиеся при этом анионы включаются в общую систему карбонатных равновесий океана и, взаимодействуя с ионами водорода, оказывают существенное влияние на значение pH, тем самым поддерживая баланс в системе. Текущий уровень параметра $\Omega_{\mathrm{Ar}} = 2.9$, т.е. по сравнению с доиндустриальным уровнем ($\Omega_{\mathrm{Ar}} = 3.44$) уровень насыщения арагонитом уже сократился более чем на 15%, тогда как допустимым считается падение не более чем на 20.6%.

Исследованию процесса асидификации морей арктического бассейна и его влиянию на экосистему уделяется много внимания в зарубежной литературе. Особенно хорошо изучены в этом аспекте моря канадского и американского сектора Арктики [4]. Международная мониторинговая группа раз в несколько лет выпускает большие научные и информационные отчеты о состоянии асидификации вод Арктического бассейна [3]. О современном состоянии асидификации морей восточно-сибирского шельфа (Лаптевых и Восточно-Сибирского) известно из работы [6]. Исходя из опубликованных данных, асидификация вод происходит достаточно интенсивно. В канадском секторе Арктики воды с значением $\Omega_{\mathrm{Ar}} < 1$ уже наблюдаются на значительных глубинах [5], а закисление вод восточно-сибирского шельфа происходит быстрее, чем прогнозировалось [6].

В ходе 69 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (август-октябрь 2017 г.) проводились комплексные исследования в Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях. Работы проводились на разрезах из устья Хатангского залива (протяженность 600 км), в центральной части шельфа моря Лаптевых (250 км), а также от устьев рек Индигирка (600 км) и Колыма (550 км). Несколько комплексных станция с отбором проб по вертикали было выполнено и в Карском море. Таким образом, за одну навигацию и в один сезон удалось получить данные из трех сибирских морей. Предварительный анализ данных по вертикальной структуре вод на разрезах показал, что состояние карбонатной системы вод исследованных морей достаточно сильно отличается.

Так, среднее поступление стока из Индигирки и Колымы составляет порядка 170 км^3/год, при этом на разрезах по удельной щелочности [1], влияние пресных вод обнаруживается на глубине 50 м. В материковом стоке в море Лаптевых преобладает вода из р. Лена (530 км^3/год), при этом пикноклин, созданный стратификацией вод, располагается на глубине 20 м. Общий объем материкового стока в Карское море оценивается в 1300 км^3/год, но опресненный слой также достигает глубины 20 м.

Речной сток является одним из основных факторов, влияющих на карбонатную систему морских вод, в том числе и на растворимость арагонита, за счет поступления эрозионного углерода, разлагающегося до CO_2. Возможно поэтому растворимость арагонита в водах Восточно-Сибирского моря, по данным наблюдений в 2017 г., не превышает 1, что является критическим уровнем. В море Лаптевых этот параметр был на уровне 0.2-2. Для Карского моря наблюдения вблизи Обской губы показали минимальное значение $\Omega_{Ar} = 0.82$, максимальное - в западной части моря ($\Omega_{Ar} = 2.44$).

Арктическая зона наиболее подвержена глобальным климатическим изменениям. Новые данные российских ученых говорят о том, что в 2017 г. средняя годовая температура воздуха в арктической зоне России была выше нормы на 3.23 °C, а наибольшее повышение температуры российские специалисты зафиксировали в Восточном секторе российской Арктики, в который входит Якутия и Чукотка. Там потепление составило 4.07 °C [2].

Таким образом ускоренное потепление в Арктической зоне скорее приводит к увеличению общего объема вод океана (за счет таяния ледников и увеличения стока рек) и площади океана свободного ото льда, а также увеличивает продолжительность безледового периода, что в условиях роста концентрации диоксида углерода в атмосфере приводит к его повышенной растворимости в поверхностных водах и, как следствие, понижению кислотности.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00009).

Список литературы

1) Смирнов А.А. Проникновение речных вод в Карское море и море Лаптевых // Труды Арктического Научно-исследовательского института. - Л.: Морской транспорт. 1955.- Т.72.Вып.2. С.92-104

2) Проект Госдоклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» [электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – Режим доступа: http://www.mnr.gov.ru/docs/proekty_pravovykh_aktov/proekt_gosudarstvennogo_doklada_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_v_2017_godu/

3) AMAP, 2018. AMAP Assessment 2018: Arctic Ocean Acidification. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Tromsø, Norway. 187pp

4) Bates N. R. et al. Summertime calcium carbonate undersaturation in shelf waters of the western Arctic Ocean how biological processes exacerbate the impact of ocean acidification //Biogeosciences. – 2013. – V. 10. – №. 8. – P. 5281.

5) Fabry V. J. et al. Ocean acidification at high latitudes: the bellwether //Oceanography. – 2009. – V. 22. – №. 4. – Pp. 160-171.

6) Semiletov I. et al. Acidification of East Siberian Arctic Shelf waters through addition of freshwater and terrestrial carbon // Nature Geoscience. 2016. Vol. 9. Pp. 361–365. doi:10.1038/ngeo2695

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $^{239+240}$PU В КОМПОНЕНТАХ ЭКОСИСТЕМЫ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕЙСОВ НА НИС "ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ"В 2016-2017 ГГ.

Проскурнин В.Ю., Терещенко Н.Н., Параскив А.А., Чужикова-Проскурнина О.Д.

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

v.proskurnin@imbr-ras.ru

Ключевые слова: $^{239+240}$Pu, Азовское море, донные отложения, взвешенное вещество.

Для изучения биогеохимического цикла плутония в Азовском море необходимой информацией является его распределение между основными компонентами экосистемы Азовского моря: водой, взвешенным веществом, гидробионтами и донными отложениями. При этом в литературе имеются лишь эпизодические данные [1] о содержании $^{239+240}$Pu в поверхностных слоях (0-10 см) донных отложений Таганрогского залива и северо-восточной (СВ) части Азовского моря.

Целью работы был ретроспективный и сравнительный анализ содержания плутония в донных отложениях и взвешенном веществе Азовского моря в сравнении с Чёрным морем и солёными озёрами Крыма. При этом решались следующие задачи: изучить вертикальное распределение $^{239+240}$Pu и ^{238}Pu в донных отложениях центральной части Азовского моря, определить концентрацию взвешенной формы $^{239+240}$Pu в воде Азовского моря.

Для изучения вертикального распределения плутония в донных отложениях Азовского моря были отобраны четыре колонки донных отложений в 93-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в центральной и южной частях водоёма. Колонки отбирали акриловыми трубками из коробчатого дночерпателя и нарезали на слои толщиной 5 см с помощью экструдера шаговой конструкции. Пробы взвешенного вещества отбирались путём проточной фильтрации забортной воды через фильтр-картридж с номинальным диаметром пор 0,5 мкм вдоль маршрута следования судна в Азовском море. Пробы обрабатывали согласно общепринятым методам [2].

Вертикальное распределение $^{239+240}$Pu в донных отложениях центральной части Азовского моря в 2017 г. было равномерным без чётко выраженных максимумов с монотонным возрастанием концентраций с глубиной осадка по всей исследуемой толще отложений (0-44 см). Средняя концентрация $^{239+240}$Pu составила 0,640 Бк·кг$^{-1}$ сух.м. Концентрации ^{238}Pu превысили предел детектирования лишь в слоях донных отложений 20-40 см, достоверной вариабельности этого показателя обнаружено не было, при этом среднее значение составило 0,017 Бк·кг$^{-1}$ сух.м. Во всех слоях, где определение отношения активностей ^{238}Pu/$^{239+240}$Pu было возможно, это отношение было характерным для плутония глобальных выпадений. Характер распределения $^{239+240}$Pu указывал на активное штормовое перемешивание в мелководной (с максимальными глубинами до 14 м) изучаемой акватории. Это делает затруднительной датировку отложений в Азовском море.

Средняя концентрация $^{239+240}$Pu в донных отложениях Азовского моря была несколько ниже характерной для илистых отложений прибрежных районов Чёрного моря, однако, следует отметить, что для этих районов характерна сильная вариабельность в отношении $^{239+240}$Pu в зависимости от биогеохимических и гидрологических особенностей конкретной локальной акватории.

Отмечено, что характер распределения $^{239+240}$Pu в отложениях Азовского моря сходен с таковым в озере Чокракское, расположенном в непосредственной близости к берегу моря. При этом средняя концентрация $^{239+240}$Pu в исследованном слое (0-27 см) донных отложений этого озера составила 0,683 Бк·кг$^{-1}$ сух.м., что практически идентично вели-

чине, наблюдаемой в Азовском море. Этот факт, по всей видимости, обусловлен связью озера с морем через узкую «косу» береговой линии.

Ранее в работе [1] сообщалось, что содержание $^{239+240}$Pu в поверхностном (0-2 см) слое донных отложений Таганрогского залива в 1997 г. составляло 0,31 ± 0,05, а в северо-восточной части Азовского моря на траверзе Таганрогского залива 0,51 ± 0,06 Бк·кг$^{-1}$ сух.м. Последняя величина практически равна величине, полученной нами для поверхностного слоя отложений в настоящем исследовании. При этом авторы наблюдали снижение концентраций $^{239+240}$Pu с глубиной осадка в Таганрогском заливе до 0,18 ± 0,03 Бк·кг$^{-1}$ в слое 4-6 см, а в северо-восточной части Азовского моря до 0,36 ± 0,03 Бк·кг$^{-1}$ в слое 5-10 см, что резко контрастирует с распределением, полученным нами для центральной части моря.

Впервые определена концентрация взвешенной формы $^{239+240}$Pu и ^{238}Pu в Азовском море. Объемные концентрации $^{239+240}$Pu и ^{238}Pu в 2016 г. составляли 2,28 ± 0,11 и 0,26 ± 0,03 Бк·м$^{-3}$. Полученные значения оказались на порядок величин выше значений, характерных для Чёрного моря. Это различие, очевидно, обусловлено экстремально высокой по сравнению с Чёрным морем концентрацией взвешенного вещества - 23,6 мг сух.м.·л$^{-1}$ во время отбора в Азовском море, тогда как для Чёрного моря в среднем характерны величины 0,5-5 мг сух.м.·л$^{-1}$. При этом концентрации $^{239+240}$Pu и ^{238}Pu непосредственно во взвешенном веществе составили 0,097 ± 0,005 и 0,011 ± 0,001 Бк·кг$^{-1}$ сух.м. взвешенного вещества. Последние величины сопоставимы с характерными для прибрежных районов Чёрного моря.

Отношение активностей ^{238}Pu/$^{239+240}$Pu составило 0,113 ± 0,012, что указывало, в свою очередь, на возможный вклад плутония чернобыльских выпадений на уровне 15-20 % в формирование наблюдаемых концентраций.

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

Список литературы

1) Matishov G.G., Matishov D.G., Namjatov A.A., Carroll J., Dahle S. Artificial radionuclides in sediments of the Don River Estuary and Azov Sea // Journal of Environmental Radioactivity, 2002. – Vol. 59, P. 309-327.

2) Терещенко Н.Н. Методика определения трансурановых элементов плутония и америция в объектах окружающей среды / Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова. Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2008. С. 70-74.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АДАПТИВНОГО БАЛАНСА ВЛИЯНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АССИМИЛЯЦИОННОЙ ЕМКОСТИ МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Свищев С.В.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

sergsvishchev09@gmail.com

Ключевые слова: моделирование морских экосистем, ассимиляционная емкость, адаптивный баланс влияний.

Современное экологическое состояние морских акваторий в ряде случаев считается близким к критическому и требует научно обоснованного подхода к управлению качеством вод, в частности особую актуальность приобретает задача контроля и оптимизации эмиссии загрязняющих веществ. Существуют различные подходы к снижению негативного антропогенного влияния и улучшению состояния морских экосистем. Один из наиболее реализуемых - экологически безопасное управление современным производством, при котором достигается оптимальное соотношение между экологическими и экономическими показателями (экологический менеджмент) [1]. Данный подход представляется системой управленческих рычагов, обеспечивающей совокупный эффект скоординированного экономического развития предприятий прибрежного региона и минимизации антропогенного давления на морскую экосистему, не испытывающую при этом деградации и способную восстанавливать свои качества.

Важным фактором самоорганизации и самоочищения экосистемы являются ее ассимиляционные ресурсы, т.е. способность морской среды утилизировать промышленные, сельскохозяйственные и бытовые отходы береговой социально-экономической системы приморской территории путем их трансформации, связывания, разрушения или выведения за пределы акватории. Ассимиляционные ресурсы морской среды имеют ограниченный объем и подвержены изменениям во времени. Поэтому необходимы количественные модели, позволяющие контролировать их динамику и прогнозировать тенденции развития.

Для описания способности морской акватории к самоочищению используется ее ассимиляционная емкость (АС, assimilative capacity) - параметр, характеризующий способность морской экосистемы выдерживать добавление некоторого количества конкретного загрязняющего вещества без развития необратимых биологических последствий [2]. АС имеет размерность потока вещества - массы вещества в единице объема, отнесенной к единице времени. При оценке АС наиболее сложными являются расчеты количественных значений эмиссии загрязняющих веществ и интегрального времени пребывания поллютантов в моделируемой морской экосистеме. Последнее в значительной степени определяется физико-химическими свойствами конкретного загрязнителя, гидродинамическими параметрами акватории и комплексом процессов, отвечающих за деструкцию загрязняющих веществ и их вынос за пределы исследуемой экосистемы.

Для расчета ассимиляционной емкости морских экосистем в настоящее время применяют балансовый [2] и синоптический [3] методы. Первый позволяет упростить прямой и обратный переход от единиц оценки АС к единицам концентрации загрязняющего вещества, полученным в результате мониторинга. Второй - позволяет оценить экологическое неблагополучие акватории опираясь на данные нерегулярных гидролого-гидрохимических съемок и информацию о прохождении штормов. Оба метода требуют для корректного применения продолжительные массивы наблюдений за рассматриваемыми параметрами.

В качестве альтернативы в данной работе нами предложен метод адаптивного баланса влияний [4, 5], позволяющий производить контроль за динамикой расходования и восста-

новления ассимиляционных ресурсов морской экосистемы, находящейся под воздействием береговой социально-экономической системы, опираясь на интегральную за период времени (0, t) оценку разности между понижением количества ассимиляционного ресурса S_{acc}, вызванным аккумуляцией экосистемой антропогенной нагрузки, и естественным восстановлением ассимиляционного ресурса S_{ass}.

Антропогенная нагрузка пропорциональна объему продукции, выпускаемой береговой экономической системой $V(\tau)$. Восстановлением ассимиляционного ресурса управляет функция ассимиляционной емкости морской среды R(t). Причем восстановление ассимиляционной емкости возможно двумя путями.

Во-первых, за счет естественных биохимических реакций, сопровождающих стремление экосистемы сохранить свое устойчивое состояние. Благодаря этому свойству скорость восстановления ассимиляционного ресурса увеличивается до скорости его понижения. В результате интегральный баланс $S(t) = S_{acc} - S_{ass}$ остается равным нулю. Такое состояние экосистемы сохраняется до тех пор, пока аккумулированная экосистемой антропогенная нагрузка не достигнет предельного значения S_{crit}, когда скорость восстановления ассимиляционной емкости начинает отставать от скорости ее понижения.

Во-вторых, управление балансом понижения и восстановления ассимиляционной емкости возможно путем природоохранных действий, за счет штрафных санкций, налагаемых на береговую систему. Санкции увеличивают себестоимость продукции, что приводит к падению рентабельности производства, сокращению выпуска продукции и уменьшению потока загрязняющих веществ в море.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-47-920001 р_а «Исследование принципов построения адаптивных моделей эколого-экономических систем и цифровых информационных технологий для управления сценариями устойчивого развития природно-хозяйственных комплексов Севастопольского региона».

Список литературы

1) Сухорукова С.М., Сухоруков П.В., Хабарова Е.И. Экологический менеджмент в условиях глобализации экономики. М.: Колос, 2009. – 216 с. ISBN: 9785953206808.

2) Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. М.: Флинта Наука, 2009. – 532 с. ISBN: 9785976508798.

3) Монахова Г.А., Абдурахманов Г.М., Ахмедова Г.А., Магомедбеков У.Г., Попова Н.В., Есина О.И. Оценка ассимиляционной емкости акватории лицензионного участка «Северо-каспийская площадь» в отношении углеводородов с использованием нового «синоптического» метода // Юг России: экология, развитие. 2011. Т. 6. № 4. С. 207-212. doi.org/10.18470/1992-1098-2011-4-207-212.

4) Norton B. Sustainability, a Philosophy of Adaptive Ecosystem Management. Chicago: The University of Chicago Press. 2005. – 608 p. ISBN: 9780226595214.

5) Тимченко И.Е., Иващенко И.К., Игумнова Е.М. Управление эколого-экономическими процессами накопления и ассимиляции загрязнений в прибрежной морской среде // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 1. С. 72-88. doi.org/10.22449/0233-7584-2017-1-72-88.

МОНИТОРИНГ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

Селиверстова А.М.

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

201219941315ann@gmail.com

Ключевые слова: Иссык-Куль, биогенные элементы, гидрохимия, мониторинг.

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^3) и вторым после Аральского моря по площади зеркала (6 236 км^2).

Так как ни одна река не уносит своих вод их 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 - 2018 годах были проведены экспедиции на озеро Иссык-Куль. В 4 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 судовую 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 годов были в величине и характере вертикального распределения величины pH. Во время работ 2016 года величина pH была почти

на 0.4 ед. ниже, чем в 2015 году и с глубиной наблюдалось снижение этой величины (в отличие от повышения pH с глубиной в 2016 году). 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 году, по сравнению с предыдущими съемками (в июне 2015 года и октябре 2016 года), ярче проявлялось увеличение концентрации биогенных элементов в глубоких водах озера, что затронуло не только содержание биогенных элементов, но и величину pH и содержание неорганического углерода. В то же время сохранялись все черты пространственного распределения гидрохимических параметров, присущие и предыдущим съемкам. Ярко 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 четырех 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.

Работа выполнена при поддержке РГО-а № 17-05-41043 «Особенности водообмена в глубоких озерах на примере озер Иссык-Куль и Байкал».

Список литературы

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 гидробиологические 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. 2.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРА ^{18}O В КАЧЕСТВЕ ТРАССЕРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСТАВА ВОДНЫХ МАСС БЕРЕНЦЕВА МОРЯ И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Семерюк И.А.[1], **Пастухов И.А.**[2], **Намятов А.А.**[1,2], **Махотин М.С.**[3]

[1]*ООО "Фертоинг", г. Санкт-Петербург*

[2]*Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск*

[3]*Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт*

i.semeryuk@fertoing.ru

Ключевые слова: Изотоп кислорода, трассер водных масс, Баренцево море, море Лаптевых

Применение параметра δ^{18}O в качестве трассера формирования вводных масс в последнее время использовалось в нескольких работах [2, 3, 5]. Модель, рассматриваемая в этих работах, предполагает, что в вышеперечисленных морях присутствует всего две «реликтовые» или базовые водные массы - «чисто» атлантические и «чисто» речные воды, а все остальные водные массы являются результатом смешивания и трансформации этих двух водных масс. Величины относительных объемов атлантических (fa), речных (fr) и талых вод или объемов образовавшегося морского льда (fi), приведенного к плотности воды (трансформированные воды), можно рассчитать по трехкомпонентной системе уравнений. Такая трехкомпонентная система для морей Карского и Лаптевых уже представлена в вышеперечисленных работах.

$fa \times Sa + fr \times Sr + fi \times Si = Smean$

$fa \times Oa + fr \times Or + fi \times Oi = Omean$

$fa + fr + fi = 1$

где: S - соленость (psu) атлантических (a), речных (r) и трансформированных вод (i); O - величина δ^{18}O - для вышеперечисленных вод (‰); f - объем вышеперечисленных вод (%).

Изучение изотопного состава снега, льда, фирна, инея, дождя, воды горных рек и озер показало, что содержание тяжелых изотопов в метеорных водах имеет более низкое значение, чем в океанических и морских, тогда как воды, подвергшиеся испарению, имеют тенденцию к повышению концентрации тяжелых изотопов [1]. В тоже время мировой океан характеризуется постоянством изотопного состава. Такое состояние гидросферы сохраняется до тех пор, пока поддерживается общий тепловой баланс Земли в целом [4].Таким образом разделение изотопов в процессе формирования атмосферных осадков или ледообразования / ледотояния характеризуется направленностью и имеет связь с климатическими характеристиками [1].

В вышеперечисленных работах показано, что существует устойчивая связь между солёностью и параметром δ^{18}O [4]. Подобные зависимости в настоящей работе построены на основе базы данных NASA [6]. Целью настоящей работы является оценка возможности использования полученных зависимостей между солёностью и величиной δ^{18}O для исследования климатической изменчивости состава водных масс.

Более детально оценка использования данных зависимостей для моря Лаптевых уже исследовалась в работе [2]. При этом предполагалось, что величина δ^{18}O в атмосферных осадках за последние 100 лет не претерпела изменений.

Распространяя полученные зависимости на весь ряд наблюдений солености с начала 20-го века, возможно сгенерировать аналогичный ряд δ^{18}O, а затем, по выше представленной системе уравнений, рассчитать величины содержания в данной пробе чисто атлантических

и речных вод, а также вод, участвующих в процессе ледообразования или ледотаяния (fa, fr, fi). В конечном итоге, наряду с величинами солености были получены фактически 100 летние ряды изменения этих параметров. за период с 1930 по 2015 гг. в поверхностном слое (0-10 м) южной части моря Лаптевых. Выборка сделана только за июль-сентябрь, так как в этот период проведено около 99 % всех исследований.

Хорошо прослеживается 70-и летний цикл изменения солености при максимумах в 1936-1940 гг. и 2006-2010 гг. и минимуме в 1971-1975 гг., амплитуда которого составляет около 6 PSU. Данное изменение солености сопровождается синхронным циклом изменения содержания более соленых атлантических вод, с амплитудой 16 % и антисинхронным циклом содержания речных вод с амплитудой 12 %. Амплитуда колебаний средних пятилетних значений трансформированных вод (fi) составляет 0,5 %, а сам цикл синхронен циклу изменения содержания речных вод. Данная синхронность, очевидно, связана с увеличением стока теплых речных вод в летний период, приводящая к увеличению интенсивности таяния морских льдов. Тем не менее, средние пятилетние значения в поверхностном слое этого района имеют отрицательные значения и не превышают минус 8,3 %, что говорит о сохранности зимних, трансформированных в результате ледообразования вод даже в летний период. Более подробно изменение величины fi и связанных с этим процессом изменение солености морских вод рассмотрено в работе [3].

Список литературы

1) Ветштейн В.Е. Изотопы кислорода и водорода природных вод СССР // Ленинград. - Недра. - 1982. — С. 216.
2) Намятов А.А., Семерюк И.А. Применение параметра δ18O для анализа водных масс на примере моря Лаптевых // Проблемы Арктики и Антарктики №4(98). 2013. С. 35-42.
3) Намятов А.А., Семерюк И.А. Применение параметра δ18O в качестве трассера формирования водных масс моря Лаптевых. Часть 1. Количественная оценка процессов ледообразования и ледотаяния // Метеорология и гидрология, №9, 2018. С. 49–60.
4) Ферронский В.И., Дубинчук В.Т. Природные изотопы гидросферы // Недра, 1975.
5) Craig H., Gordon L. I. Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures // CNR-Laboratorio di Geologia Nucleare, Pisa, 1965. P. 9–130.
6) NASA. On line version. URL: http://data.giss.nasa.gov/o18data/ref.html [дата обращения 29.04. 2013].

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИЗОТОПОВ РАДИЯ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ

Довгий И.И.[1], Товарчий Я.Ю.[2], Шибецкая Ю.Г.[2], Бежин Н.А.[2], Кременчуцкий Д.А.[1]

[1]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

[2]*Севастопольский государственный университет, г. Севастополь*

yanapapina1998@gmail.com

Ключевые слова: субмаринная разгрузка подземных вод, изотопы радия, мыс Айя.

Изотопы радия - радиевый квартет ^{223}Ra ($T_{1/2}$ = 11,4 дн., тип распада - альфа), ^{224}Ra ($T_{1/2}$ = 3,66 дн., тип распада - альфа), ^{226}Ra ($T_{1/2}$ = 1600 лет, тип распада - альфа), ^{228}Ra ($T_{1/2}$ = 5,75 лет, тип распада - бета) находят широкое применение для количественной оценки потока субмаринной разгрузки подземных вод (СРПВ) [1]. Данные исследования проводятся во многих регионах - Атлантическом побережье Северной и Южной Америки, Средиземном море, Южно-Китайском море. Количество работ с использованием радиотрассерного метода для изучения СРПВ в России ограничено. В Азово-Черноморском регионе данные исследования не проводились [2].

Для сорбционного извлечения изотопов радия и тория из морской воды используется волокно, импрегнированное диоксидом марганца(IV) MnO_2. Цель данной работы - отработка методик получения волокна для извлечения изотопов радия из морской воды, включая выбор скорости элюирования морской воды, количества волокна и объем пробы морской воды. Основной сложностью проведения исследования является то, что для анализа короткоживущих изотопов ^{223}Ra и ^{224}Ra необходима малодоступная измерительная система RaDeCC (США), а анализ долгоживущих изотопов ^{226}Ra и ^{228}Ra проводится через 6-8 недель после установления равновесия с дочерними продуктами распада. Изотоп ^{228}Ra измеряется по фотопику дочернего изотопа ^{228}Ac, ^{226}Ra по дочернему ^{214}Pb. Поэтому для отработки методики определяли суммарную альфа- и бета-активность полученных счетных образцов.

Сорбент получали по методу Мура [3], нагреванием акрилатного волокна (толщина нитей 19 мкм) в 0,5 М растворе перманганата калия $KMnO_4$ в течении 10 мин при 70-80°С. Образующийся MnO_2 химически закрепляется на волокне. Содержание MnO_2 в готовом сорбенте 20-25%.

Пробы морской воды (30 л) пропускали через две последовательно соединенные колонки, содержащие 400 мг волокна (объем - 3 мл). Далее волокно озоляли и измеряли золу на низкофоновом альфа-, бета-радиометре УМФ-2000 в течении 9000 с, отдельно измеряли фон.

Эффективность извлечения альфа- и бета-нуклидов определяли по формуле:
E = 1 - B / A, где A - активность (альфа- или бета-нуклидов) на первой колонке, B - активность на второй колонке.

Полученные результаты показали, что эффективность сорбции уменьшается с 86 до 36% для альфа-нуклидов и с 61 до 52% для бета-нуклидов при увеличении скорости элюирования с 8 до 60 мл/мин.

Планируется спектрометрическое измерение счетных образцов для определения эффективности извлечения отдельных радионуклидов.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта №18-33-50001 (конкурс «Наставник»), а также в рамках государственного задания ФАНО Российской Федерации (тема «Прибрежные исследования» № 10827-2018-0004).

Список литературы

1) Rodellas V. Using the radium quartet to quantify submarine groundwater discharge and porewater exchange / V. Rodellas, J. Garcia-Orellana , G. Trezzi , P. Masqué , T.C. Stieglitz , H. Bokuniewicz, J.K. Cochran, E. Berdalet // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2017. – Vol. 196. – P. 58–73.

2) Rodellas V. Submarine groundwater discharge as a major source of nutrients to the Mediterranean Sea / V. Rodellas , J. Garcia-Orellana, P. Masqué , M. Feldman , Y. Weinstein // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. - Vol. 112 (13). - P. 3926–3930.

3) Moore W.S. Sampling 228Ra in the deep ocean / W.S. Moore // Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts. - 1976. - Vol. 23 (7). - P. 647–651.

БИОИНДИКАТОРЫ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЯХ РОССИИ

Цыганков В.Ю., Лукьянова О.Н., Боярова М.Д., Мазур М.А., Полянский Д.А., Гумовский А.Н., Журавель Е.В.

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

tsig_ 90@mail.ru

Ключевые слова: СОЗ, биоиндикаторы, аккумуляция, биотрансформация, дальневосточные моря России.

Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) - это группа высокотоксичных химических веществ, отличающихся высокой устойчивостью и способностью накапливаться в пищевых цепях. Эти поллютанты перемещаются на большие расстояния и обладают широким диапазоном вредных воздействий на здоровье человека и окружающую среду. Основу СОЗ составляют хлорорганические соединения.

В соответствии со Стокгольмской конвенцией СОЗ подлежат глобальному сокращению и ликвидации. Конвенция вступила в силу 17 мая 2004 года, к 23 июля 2005 г. соглашение ратифицировали 103 страны. Российская Федерация Постановлением Правительства РФ № 320 от 18.05.2002 г. подписала Стокгольмскую конвенцию о СОЗ и спустя 9 лет, 27 июля 2011 г. ратифицировала ее. В 2017 г. вышел Приказ №529 «Об утверждении Плана выполнения Российской Федерацией обязательств, предусмотренных Стокгольмской конвенцией о СОЗ».

Хлорорганические соединения за счет своей липофильности способны к биомагнификации и накапливаются от низших трофических уровней к высшим в большей концентрации. Попадая в водную среду, большая часть СОЗ связываются с частицами взвеси и оседают на дно, тем самым накапливаясь в донных отложениях. В реках, как правило, содержание СОЗ выше, чем в море. Это связано с тем, что токсиканты смываются с полей в реки, и только потом в море.

Хлорорганические соединения захватываются организмами различных трофических уровней, например, моллюсками. Двустворчатые моллюски успешно и широко применяются в качестве биоиндикаторов для мониторинга СОЗ в природных водах. По Азиатско-Тихоокеанской программе наблюдения за моллюсками (APMW) в течение 1997-2000 гг. осуществлялся мониторинг загрязнения морской среды. Для определения состояния прибрежных морских вод проводился мониторинг с использованием в качестве биоиндикаторов мидий и устриц. Хлорорганические соединения были обнаружены во всех образцах мидий в странах, участвующих в программе (Камбоджа, Китай, Гонконг, Индия, Индонезия, Япония, Корея, Малайзия, Филиппины, Дальний Восток России, Сингапур, Вьетнам)

Рыбы, являясь частью трофической цепи, также накапливают в своих органах и тканях СОЗ в процессе биомагнификации. Рыбы распространены повсеместно и в большинстве случаев отражают современные уровни содержания поллютантов в среде, которое зависит от многих факторов. Японские ученые провели ряд исследований мигрирующих и немигрирующих видов, и выявили более низкие концентрации СОЗ в первых. Тихоокеанские лососи - одни из самых массовых мигрирующих промысловых рыб дальневосточных морей. Содержание хлорорганических поллютантов в них распределяется таким образом, что у более жирных видов (например, чавыча и нерка) концентрации выше, чем у более «постных» (кета, горбуша). Донные немигрирующие рыбы показывают локальное загрязнение и могут использоваться в качестве фона для сравнения с мигрирующими видами. Также, мигрирующие рыбы могут выступать как векторы, переносящие органические пол-

лютанты в процессе биотранспорта от субтропических и южнобореальных к бореальным и субарктическим экосистемам.

Птицы могут быть как промежуточным, так и завершающим звеном трофической цепи. Питаясь живыми организмами, в процессе биомагнификации, накапливают в своих органах токсичные поллютаны. За счет типа питания (травоядные, насекомоядные, рыбоядные) и характера миграций (перелетные и локальные) зависят и содержания СОЗ в органах и тканях.

Млекопитающие по сравнению с большинством других морских организмов живут дольше, следовательно, подвергаются более длительному воздействию ксенобиотиков. Морских млекопитающих можно считать важными видами для мониторинга долгосрочных проявлений СОЗ в морской среде и можно использовать как индикатор глобального загрязнения, так как многие из них мигрируют и о локальном загрязнении говорить сложно.

Проведенные исследования биотрансформации стойких органических загрязняющих веществ в морских организмах дальневосточных морей России указывают на сходную ситуацию в разных регионах этих морей. Как правило в организмах присутствует обнаруживаются в основном α-, β-ГХЦГ, ДДЕ, ДДД, и высокохлорированные ПХБ (101, 118, 153 ПХБ). В морских организмах преобладают метаболиты исходных соединений ГХЦГ и ДДТ. В свою очередь, эти метаболиты указывают на давнее загрязнение. Но точно сказать, где произошел распад исходных соединений не представляется возможным, так как поведение этих поллютантов в среде и организме непредсказуемо. Вещество могло попасть в организм как несколько лет назад, так и несколько недель назад, а также этот факт может указывать на локальное, региональное или глобальное загрязнение. Для этого существует технология мониторинга локального загрязнения донными рыбами и моллюсками. Моллюски являются индикаторами локального загрязнения, и зная общие закономерности их биологии, можно рассчитать реальную аккумуляцию и трансформацию. Однако, также используются и лососевые рыбы для сравнительного анализа с донными для выявления разницы, так как лососи - пелагические и мигрирующие виды.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 18-14-00120).

СУБМАРИННАЯ РАЗГРУЗКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНЕ МЫСА АЙЯ

Чайкин Д.Ю.[1], Вертерич А.В.[2], Козловская О.Н.[3], Хлыстов В.А.[3], Довгий И.И.[3]

[1]*Образовательный центр Севастопольский политехнический лицей, г. Севастополь*

[2]*Средняя образовательная школа №15, г. Севастополь*

[3]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

chajkin.danil.02@inbox.ru

Ключевые слова: субмаринная разгрузка подземных вод, изотопы радия, биогенные элементы, мыс Айя.

О важности изучения субмаринной разгрузки подземных вод (далее СРПВ) свидетельствует ряд международных документов. Одним из них является совместный проект ЮНЕСКО и МАГАТЭ [1].

Эта важность обуславливается тем, что с одной стороны субмаринные подземные воды (далее СПВ) являются источником питательных веществ для бентосных организмов и используются в ряде стран для добычи питьевой воды, с другой стороны в случае антропогенного воздействия СПВ являются путем переноса в море тяжелых металлов, пестицидов, радионуклидов [2].

Данные, ранее полученные в Морском гидрофизическом институте позволяют оценить возможный годовой расход питьевой воды только от карстовых субмаринных источников у м. Айя в 10-50 тыс. м3 в сутки [3]. Их разработка позволила бы улучшить ситуацию с водоснабжением Балаклавы и г. Севастополя.

Изучение высокодебитных субмаринных источников карстового происхождения перспективно на побережьях, испытывающих недостаток пресной воды, с целью их каптажа. Опыт подобных работ имеется в ряде стран (Франция, Греция, Италия) и свидетельствует об их экономической целесообразности [4].

В данной работе представлены результаты экспедиционных исследований, проведенных в декабре 2018 г. Район проведения работ предполагаемые места СРПВ - гроты в районе мыса Айя. Отобраны пробы на 8 станциях: в 4 гротах и на 4 станциях находящихся на удалении 50-600 м от берега. Для измерения концентраций биогенных элементов использовались "классические" фотометрические методы: по образованию "молибденовой сини" для определения растворенного неорганического фосфора, сжигание с персульфатом калия и последующим определением фосфат-ионов по образованию "молибденовой сини" для определения общего растворенного неорганического фосфора, образованию голубого кремнемолибденового комплекса для определения кремниевой кислоты [5].

В результате полученных натурных данных показано, что значения концентрации растворенной кремнеевой кислоты в поверхностном слое изменяются в пределах 1,6-2,0 мкмоль/л, общего растворенного неорганического фосфора - 0,105-0,126 мкмоль/л, аммония - 0-0,46 мкмоль/л. Повышенные значения концентрации характерны для станций, находящихся в непосредственной близости от гротов, карстовых полостей. В дальнейшем планируется изучение сезонной изменчивости концентрации биогенных элементов.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ г. Севастополя в рамках научного проекта №18-33-50001 (конкурс «Наставник»), а также в рамках государственного задания ФАНО Российской Федерации (тема «Прибрежные исследования») № 0827-2018-0004).

Список литературы

1) UNESCO; IOC; SCOR; IAEA: Submarine groundwater discharge: management implications, measurements and effects; IOC. Manuals and guides; Vol.:44; 2004.

2) Knee K.L., Paytan A. Submarine Groundwater Discharge: A Source of Nutrients, Metals, and Pollutants to the Coastal Ocean. DOI: 10.1016/B978-0-12-374711-2.00410-1

3) Кондратьев С.И. Наблюдения субмаринной разгрузки подземных вод (Южный берег Крыма) / С.И. Кондратьев, А.В. Прусов, Ю.Г. Юровский // Морской гидрофизический журнал. - 2010. - №1. - С. 32-45.

4) MejÃas M. Methodological study of submarine groundwater discharge from a karstic aquifer in the Western Mediterranean Sea / M. MejÃas, B.J. Ballesteros, C. Antón-Pacheco, J.A. Domínguez, J. Garcia-Orellana, Ester Garcia-Solsona, Pere Masqué // Journal of Hydrology. - 2012. - Vol. 464-465. - P. 28-40.

5) Методы гидрохимических исследований океана. / Под ред. Бордовского О.К., Иваненкова В.Н. – М.: Наука, 1978. – 272 с.

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ DHC-ЗОНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНКТОНА И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Давыдова А.Ю., Дёмин В.В., Половцев И.Г., Ольшуков А.С.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

starinshikova@mail.ru

Ключевые слова: планктон, цифровая голография.

Мониторинг свойств океана с помощью различных датчиков (морская сенсорика) является актуальной задачей. Большое значение приобретают невозмущающие средства измерений, позволяющие осуществлять точный оперативный анализ гидрофизических и гидробиологических свойств воды, в том числе исследование планктона и других взвешенных частиц без их изъятия из среды обитания. Планктон в естественной среде обитания может использоваться в качестве биоиндикатора и может позволять определять устойчивость окружающей среды к различным факторам, например, связанным с деятельностью человека. Такая биоиндикация может обеспечить прогнозирование развития неблагоприятных экологических ситуаций на ранних стадиях. Поэтому задача получения, оцифровки и обмена данными о планктоне в океанологии и океанографии так же важна, как задача оцифровки гидрофизических свойств.

В данной работе представлен гидробиологический DHC-зонд [1, 2] для исследования планктона в среде обитания (DHC - digital holographic camera, цифровая голографическая камера). Технические характеристики гидробиологического DHC-зонда:

- размеры - 1204 мм x Ø 470 мм;
- вес - 65 кг;
- допустимое гидростатическое давление - 100 атмосфер;
- 3 канала для соединения с гидрофизическими датчиками (RS485 и RS232);
- каналы связи (опционально и/или): оптоволокно (для передачи голограмм на компьютер корабля), Wi-Fi (резервный канал для запуска и настройки зонда для автономной работы), 1 Гб Ethernet (для передачи данных о планктоне), RS-485 (для отправки данных о планктоне; для подключения датчика DHC к глобальной сети датчиков);
- минимальный размер исследуемых частиц - 200 мкм;
- объем, голографируемый за одну экспозицию - около 1 л.

DHC-зонд может быть дополнен или объединен с гидрофизическими датчиками, например, датчиками давления, температуры и солености. Такое объединение позволит установить корреляционные связи между разнородными данными с одной географической точки и обеспечит комплексное исследование свойств акватории.

Использование DHC-технологии позволяет получить данные о планктоне без отбора проб. При этом отсутствует рутинная и трудоемкая стадия, включающая отлов, фиксацию, хранение, обработку проб с планктоном или другими частицами в лабораторных условиях.

Представляемая DHC-технология включает *in situ* регистрацию цифровой голограммы среды с последующей автоматической реконструкцией голографических изображений особей планктона и других частиц, определением их размеров, формы, концентрации, их распознаванием и классификацией [3].

В работе представлены примеры использования DHC-зонда в натурных условиях в составе аппаратно-программного комплекса. На фактическом материале натурных морских

работ в различных акваториях [2] произведена оценка технических возможностей разработанного устройства. В реальных условиях измерений всегда есть причины (посторонние взвешенные частицы, турбулентные потоки, аппаратные ограничения), искажающие результаты натурного голографического эксперимента. При этом главной задачей для распознавания и дальнейшей классификации частиц является различение формы частицы, поэтому предложена специальная реализация тест-объекта, а также критерии различительной способности.

Результаты оценки позволяют оценить допустимый объем, регистрируемый за одну экспозицию, в зависимости от схемной реализации DHC, минимального размера регистрируемых частиц и заданной степени различимости. Для определения количества голограмм, которые необходимо зарегистрировать для получения репрезентативной информации о планктоне, произведена оценка данных, полученных во время испытаний DHC-зонда в Черном море на стационарной платформе в поселке Кацивели.

Список литературы

1) Dyomin, V.V., Polovtsev, I.G., Davydova A.Yu. Marine particles investigation by underwater digital holography // Proc. SPIE 10677. 2018. 1067725.
2) Дёмин В.В., Оленин А.Л., Половцев И.Г., Каменев Д.В., Козлова А.С., Ольшуков А.С Морские испытания цифрового голографического модуля с использованием измерительно-технологической платформы // Океанология № 58(5). 2018. С. 817-828.
3) Dyomin, V.V., Olshukov, A.S., Davydova, A.Yu. Data acquisition from digital holograms of particles // Proc. SPIE 10677. 2018. 106773B.
4) Dyomin, V.V., Polovtsev, I.G., Davydova A.Yu. Fast recognition of marine particles inunderwater digital holography // Proc. SPIE 10466. 2017. 1046627.

СИСТЕМА ПАНОРАМНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ВИЗУАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анисимов И.М., Белевитнев Я.И., Краснова В.В., Кузьмин В.Ю., Марин В.М.

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

oceanbreak@gmail.com

Ключевые слова: панорамное видео, подводные визуальные исследования, система подводного видеонаблюдения.

За последние два десятилетия получило развитие так называемое панорамное (объемное, сферическое, иммерсивное) видео. Эта технология активно используется как в развлекательной индустрии (прямые трансляции с музыкальных фестивалей, видео туры по достопримечательностям и т.п.), так и в технической сфере (картирование, видеонаблюдение, нахождение препятствий) [1]. Устройство для записи панорамного видео представляет собой систему видеокамер, одновременно получающих видеоизображение с различных направлений таким образом, что в сумме угол обзора составляет полную сферу (либо некоторый сегмент сферы, больший, чем полусфера). Полученные изображения сшиваются в единую видеозапись с помощью специализированного программного обеспечения. Воспроизведение такой видеозаписи может осуществляться с использованием специальных интерфейсов, позволяющих менять направление и угол обзора по желанию зрителя. Таким образом, при воспроизведении, зритель получает возможность наблюдать за происходящим под любым углом зрения.

Поскольку угол обзора системы записи панорамного видео может охватывать полную сферу, видеоизображения такого формата представляют интерес для областей науки, требующих присутствия наблюдателя в среде, нахождение в которой затруднено, либо опасно для человека, но есть необходимость получить максимальный визуальный охват. К таким средам можно отнести космическое пространство, подводное пространство, места обитания диких животных. Показала свою эффективность установка систем панорамного видеонаблюдения на телеуправляемые и автономные аппараты, использующиеся для решения различных задач в космических и подводных исследованиях [2, 3]. В случае наблюдения за морскими животными использование телеуправляемых и автономных аппаратов затруднено, т.к. большинство из них создает существенный шум и турбулентный поток вследствие работы двигателей, что пугает подводных обитателей. Для осуществления визуального наблюдения в различных акваториях более целесообразно использовать донные или притопленные станции с установленными системами видеонаблюдения.

В Институте океанологии была разработана подводная система, производящая автономную панорамную видеосъемку. Система состоит из шести цифровых видеокамер Xiaomi YI, суммарный телесный угол обзора которых составляет 250° на 180°. Электропитание камеры получают от встроенных литий-ионных аккумуляторов, рассчитанных на час непрерывной видеосъемки. Запись осуществляется на флэш-карты, установленные отдельно в каждой камере. Каждая камера заключена в герметичный корпус, рассчитанный на глубину погружения до 40 м. Видеокамеры крепятся на ложемент, представляющий собой пенопласт высокого давления с положительной плавучестью с технологическими углублениями для размещения видеокамер. Система обладает положительной плавучестью, что позволяет осуществлять постановку на любом требуемом горизонте с использованием мягкого фала, что значительно удобнее использования жесткого длинного крепления. Внизу к ложементу крепится якорь, опускаемый на дно и удерживающий систему. Вверху расположен фал, конец которого закреплен на плавучем буе, что позволяет быстро обнаружить и поднять на поверхность установленную систему.

Система панорамного наблюдения прошла испытание в ходе экспедиции 2017 года на Белое море, где был осуществлен ряд пробных постановок для наблюдения за белухами. Полученные данные показали, что животные не боялись установленной системы, а, напротив, проявляли любопытство и подплывали достаточно близко. Постановка была осуществлена днем, при естественном освещении. Для ночных, либо глубоководных постановок требуется установка источников искусственного заливающего света (ИЗС). Кроме того, для глубоководных постановок требуется изготовление более прочного герметичного корпуса видеокамер.

Полученные видеоизображения были сшиты в сферическое изображение с помощью программного обеспечения Kolor Autopano Video. Сшитое изображение обладает рядом недостатков, таких как дисторсия и «слепые зоны», на стыке отдельных сегментов. Возможным решением этой проблемы является установка дополнительных камер, либо использование сферических иллюминаторов, которые не искажают угол обзора видеокамер под водой.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2019-0011) при поддержке РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект №18-05-60070 «Арктика»).

Список литературы

1) T.E. Boult, R.J. Micheals, M. Eckmann, X. Gao, C. Power, S. Sablak. Omnidirectional video applications // Proceedings of the 8th International Symposium on Intelligent Robotic Systems. 2000.

2) J.F. Bell III, S.W. Squyres, K.E. Herkenhoff, J.N. Maki, H.M. Arneson, D. Brown, S.A. Collins, A. Dingizian, S.T. Elliot, E.C. Hagerott, A.G. Hayes, M.J. Johnson, J.R. Johnson, J. Joseph, K. Kinch, M.T. Lemmon, R.V. Morris, L. Scherr, M. Schwochert, M.K. Shepard, G.H. Smith, J.N. Sohl-Dickstein, R.J. Sullivan, W.T. Sullivan, M. Wadsworth. Mars exploration rover Athena panoramic camera (Pancam) investigation // Journal of Geophysical Research: Planets. 2003. Vol. 108. No. E12.

3) L. Meng, T. Hirayama, S. Oyanagi. The Development of Underwater-Drone equipped with 360-degree Panorama Camera in Opensource Hardware // Procedia Computer Science. 2018. Vol. 129. pp. 438-442.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОНОМНОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ АРКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Воликов М.С., Лунев Е.Г., Быков Е.М.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

meiq@mail.ru

Ключевые слова: метеостанция, морская метеорология, Арктика, оперативная океанография.

В настоящее время работы научно-технической направленности в Арктике приобретают все большее значение согласно государственной стратегии освоения этого региона. Очевидно, что устойчивое развитие столь сложного в климатическом отношении региона невозможно без создания и внедрения комплексных наблюдательных систем, обеспечивающих оперативный мониторинг гидрологической и метеорологической обстановки арктических акваторий. Одним из прообразов таких систем является информационно-измерительная система на основе дрифтеров, ставшая в настоящее время неотъемлемым компонентом глобальной системы наблюдений Арктики и Мирового океана в целом [1].

Специалистами МГИ совместно с индустриальным партнером ООО «Марлин-Юг» разработан и изготовлен прибор, который представляет собой автономную метеостанцию, конструктивно адаптированную к применению в арктических условиях. Метеостанция предназначена для сезонного ограниченного во времени дистанционного мониторинга метеорологической обстановки покрытых льдом акваторий. Ограничения во времени функционирования связаны с условиями перехода арктических водоемов от фазы ледостава в фазу разрушения ледового покрова в весенне-летнем периоде. Эти условия предполагают безвозвратную потерю оборудования, что, в свою очередь, накладывает ограничения на стоимостные показатели метеостанции.

Измерительные каналы метеостанции включают в себя систему датчиков, позволяющих производить измерения с периодичностью 10 мин следующих параметров: средние скорость и направление ветра, максимальная скорость ветра, температура воздуха, атмосферное давление. Местоположение метеостанции определяется по данным встроенного приемника глобальной системы позиционирования *GPS*/ГЛОНАСС. Передача результатов измерений производится в оперативном режиме через спутниковую систему *Iridium*. Расчетное время автономной работы - не менее 4 мес.

Метеостанция состоит из мачты-треноги и выносного блока. На мачте-треноге установлены датчики параметров ветра и температуры воздуха. Выносной блок представляет собой стеклопластиковую сферу, внутри которой размещены терминал спутниковой связи *Iridium*, приемник *GPS*/ГЛОНАСС, контроллер, блок питания. Снаружи корпуса размещены барометрический порт канала измерения атмосферного давления, выключатель и герметизированный разъем для подключения кабеля, обеспечивающего электропитание и связь с установленными на мачте-треноге датчиками. Мачта-тренога и выносной блок снабжены элементами фиксации во льду (штанги, колья, растяжки с талрепами). Поскольку для удешевления конструкции метеостанция не имеет встроенного компаса, при установке на местности блок датчиков параметров ветра необходимо ориентировать по направлению на север по специальному указателю. Мачта-тренога снабжена пузырьковым измерителем уровня для ориентирования по вертикали.

В качестве датчика параметров ветра используется чашечный анемометр с флюгером *Davis* 6410 (*Davis Instruments*). Алгоритм обработки сигналов датчика реализует методику векторного осреднения [2] мгновенных значений компонент скорости и направления ветра на интервале времени 10 мин.

Максимальная скорость ветра (порывы) определяется как максимальное значение из множества мгновенных скалярных значений скорости ветра на интервале времени 10 мин.

Действующий образец метеостанции был установлен 22 апреля 2018 г. на ледовом припае в устье Обской губы в рамках программы по обеспечению безопасности сезонной навигации порта Сабетта. Работа прибора прекращена 28 июня 2018 г. в связи с началом летнего таяния и разрушением ледового припая. Продолжительность работы метеостанции составила 67 суток, за это время по спутниковому каналу Iridium станцией были переданы данные 9426 измерений. Объем переданной информации составил 221 Кбайт, уровень потерь информации - 2,5 %. Корреляция с данными сторонних наблюдений (метеопосты Мыс Каменный, Сеяха, Новый Порт) подтвердила достоверность выполненных измерений.

Таким образом, разработанная автономная метеостанция зарекомендовала себя как эффективный инструмент для комплексного оперативного контроля метеорологической обстановки арктических акваторий. В дальнейшем предполагается совершенствование конструкции метеостанции путем дооснащения датчиками ориентации в пространстве и расширение номенклатуры измеряемых метеопараметров.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0827-2018-0002 «Оперативная океанология»).

Список литературы

1) Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П., Быков Е.М. Опыт применения термопрофилирующих дрифтеров для исследований арктического региона Мирового океана // Журнал «Арктика: экология и экономика» №1(21). 2016. С. 38-45.

2) Papadopoulos, K.H.,C.G. Helmis, and G.T. Amanatidis, 1992: An Analysis of Wind Direction and Horizontal Wind Component Fluctuations over Complex Terrain. J. Appl. Meteor., 31, 1033–1040.

БУКСИРУЕМЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ АВТОНОМНЫЙ «БИТА»

Воронцов К.В., Шаповалов Р.О.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

panasonicrpht@mail.ru

Ключевые слова: измерения, температура, преобразование сигналов, измеритель автономный, датчики.

Для проведения непрерывных попутных измерений температуры морской среды, во время экспедиционных работ Морского гидрофизического института на научно-исследовательских судах, был разработан Буксируемый измеритель температуры автономный «БИТА». БИТА позволяет измерять температуру водной среды методом зондирования и буксирования. Диапазон измерения температуры моря составляет от -2 до +45°C.

Измеритель температуры «БИТА» состоит из бортового устройства (БУ), погружных устройств (ПУ) и блока аккумуляторных батарей. Схема БУ помещена в компактный корпус, где на лицевой панели расположены разъемы для подключения ПУ (токовый и частотный датчики температуры), тумблер включения записи данных, два светодиода индицирующие работу GPS (красный), режим записи (зеленый). С противоположной стороны корпуса расположен разъем для связи с ПК по протоколу интерфейса RS-232, тумблер включения измерителя, светодиод индицирующий подачу питания (зеленый), разъем для подключения аккумуляторных батарей или внешнего сетевого блока питания на 12В.

Для точного измерения средних и пульсационных характеристик среды в измерителе было предусмотрено два канала измерения. Основной принцип измерения первого канала - преобразование напряжения в частоту. Чувствительный элемент (ЧЭ) первичного преобразователя выполнен из медной проволоки бифилярной намотки. Это позволяет измерять температуру водной поверхности в режиме реального времени благодаря малой постоянной времени ∼50мс. Еще одно преимущество термометров сопротивления - высокая стабильность, близость характеристики к линейной зависимости, высокая взаимозаменяемость. Датчик второго канала построен на прецизионной интегральной микросхеме (ИМС) AD592, которая имеет выходной ток, пропорциональный её температуре (1мкА/$^{\circ}$C). Заводская лазерная подгонка ИМС обеспечивает постоянство выходного тока в 298.2 мкА, что позволяет с точностью до 0.3°C измерять температуру.

Условно схему можно разделить на две части: аналоговую и цифровую. Аналоговая часть состоит из преобразователей напряжения и стабилизаторов опорного напряжения. Данные элементы поддерживают стабильную работу датчиков температуры, что позволяет свести к минимуму погрешность измерений. Так же в аналоговую часть входят: входные цепи датчиков, компаратор, инструментальный операционный усилитель (ОУ) для преобразования тока в напряжение с последующим усилением сигнала со второго канала датчика.

Цифровая часть схемы состоит из аналого-цифрового преобразователя (АЦП), Микроконтроллера (МК) и таймера реального времени. АЦП преобразует напряжение с выхода ОУ второго канала датчика температуры в код, который обрабатывается программным обспечением микроконтроллера. МК Atmega-8A отвечает за обработку данных и их передачу по интерфейсу RS-232. Микросхема DS1307 ещё называют RTC (Real Time Clock) один из необходимых элементов для снятия показаний с датчиков в режиме реального времени. Её преимущество в том что она работает, при выключенном основном питании, от резервного источника питания в 3 вольта (например, от батарейки типа CR3022). Запись данных также может, осуществляется во внутреннюю флэш-память с последовательным

интерфейсом. Для определения координат местоположения измерений к схеме подключён GPS-модуль, данные которого поступают на МК и так же записываются на интегрированную флэш-память.

В 103-м рейсе (28.08-20.09.2018 г.) на научно-исследовательском судне «Профессор Водяницкий» в Черном море были произведены измерения температуры поверхностного слоя воды на ходу судна. Предварительный сравнительный анализ измерений температуры воды в поверхностном слое на станциях с помощью «БИТА» и комплекса SeaBird показал совпадение (в пределах точности) определения температуры. На переходах сопоставления измерений температуры «БИТА» производился с комплексом гидрофизический попутных измерений (КГПИ).

Проведенные морские испытания «БИТА» показали надежное исполнение как корпуса измерителя, так и его электронной части.

Исследование выполнено при финансовой поддержке темы Государственного Задания №0827-2018-0004.

РЕГИСТРАЦИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН И НЕОДНОРОДНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЧЕРНОМ МОРЕ СУДОВЫМ ЛИДАРОМ ПЛД-1

Глухов В.А.[1,2], **Гольдин Ю.А.**[1], **Родионов М.А.**[1]

[1]*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва*

[2]*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

vl.glukhov@inbox.ru

Ключевые слова: морской поляризационный лидар, дистанционное зондирование, внутренние волны, гидрооптические характеристики.

Эффективность применения радиометрических лидаров для зондирования стратифицированной толщи морской воды с целью определения параметров стратификации первичных гидрооптических характеристик (ПГХ), обнаружения и определения параметров светорассеивающих слоев, регистрации внутренних волн и определения их характеристик, оценки значений ПГХ однородных участков водной толщи продемонстрирована в целом ряде натурных экспериментов [1-4]. Основным преимуществом лидарного зондирования является возможность проведения дистанционной непрерывной съёмки на ходу судна.

Судовой поляризационный лидар ПЛД-1 (совместная разработка лаборатории оптики океана и атмосферы СПбФ ИО РАН и лаборатории оптики океана ИО РАН) предназначен для дистанционной регистрации через поверхность воды различного рода неоднородностей пространственной структуры полей ПГХ. Особенностью лидара является использование лазера с диодной накачкой, что обеспечивает малогабаритность, высокую стабильность метрологических характеристик, значительно больший по сравнению с ламповой накачкой ресурс работы и более низкий уровень электромагнитных наводок. Это позволяет существенно повысить чувствительность лидара к разного рода неоднородностями в толще морской воды.

Лидар ПЛД-1 состоит из лазера, посылающего короткий световой импульс длительностью Δt и приемника (объектив и фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)), сигнал которого P в момент времени t пропорционален интенсивности излучения, приходящего с глубины $z_t = vt/2$ от слоя с толщиной $\Delta z = v\Delta t/2$ (v - скорость света в воде). Зависимость $P(t)$ отражает глубинное распределение ПГХ и определяется, главным образом, показателем обратного рассеяния b_b на глубине z и ослаблением во всём слое (0, z) [1-2].

Лидарным изображением называется пространственное распределение интенсивности эхо-сигнала $P(r,\ z_t)$ в зависимости от горизонтальных координат точки зондирования r и глубины z_t, с которой приходит сигнал. При фиксированном положении лидара он формирует одномерное изображение водной среды $P(z_t)$, которое несет информацию о вертикальной неоднородности распределения ПГХ. При горизонтальном перемещении лидара в направлении x и фиксированной ориентации его диаграммы направленности формируется двумерное изображение $P(x,\ z_t)$, позволяющее рассчитывать горизонтальную изменчивость профилей ПГХ. Таким образом, по пространственному распределению ПГХ можно судить о распределении пассивной примеси. Гидродинамические воздействия вызывают характерные возмущения пространственного распределения ПГХ, аналогичные возмущениям полей гидрофизических характеристик. Одним из таких примеров является возникновение периодических структур при прохождении внутренней волны.

В работе [5] представлены первые натурные эксперименты с лидаром ПЛД-1, показавшие эффективность поляризационного метода зондирования толщи воды при поиске

и регистрации погруженных в толще воды объектов. В июне 2016 года в прибрежных районах Черного моря (Феодосийский залив) был выполнен ряд совместных измерений лидаром ПЛД-1 и CTD-зондом SeaBird SBE-25 с прозрачномером. Синхронные измерения вертикальных профилей показателя ослабления света, гидрологических характеристик, измеряемых погружаемым CTD-зондом, и лидарное зондирование с борта судна через поверхность воды выполнено в разных районах залива с различными параметрами вертикальной стратификации. Глубины залегания пикноклина составляли от 14 до 18 метров. Представлены и проанализированы лидарные эхо-сигналы, зарегистрированные на станциях с различными типами вертикальной стратификации верхней толщи воды. С использованием математической модели лидарного эхо сигнала [6] на основе данных погружаемого CTD-зонда SeaBird SBE-25 рассчитана форма поляризованных компонент эхо-сигнала. Выполнено сопоставление экспериментальных результатов и результатов расчета. При проведении лидарной съёмки зарегистрированы периодические структуры в распределении оптических характеристик, характерные для короткопериодных внутренних волн.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме №0149-2019-0015 "Волновые процессы, явления переноса и биохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натурных экспериментальных работ".

Список литературы

1) Vasilkov A. P., Goldin Yu.A., Gureev B. A., Hoge F.E., Swift R.N., Wright C.W. Airborne polarized lidar detection of scattering layers in the ocean // Appl. Opt. 2001. V.40. P. 4353-4364.

2) Churnside J.H., Ostrovsky L.A. Lidar observation of a strongly nonlinear internal wave in the gulf of Alaska // Intern. Journal of Remote Sensing. 2005. V. 26. №1. P.167-177.

3) Churnside J.H., Donaghay P.L. Thin scattering layers observed by airborne lidar // ICES Journal of Marine Science. 2009. V. 66. P. 778-789.

4) Goldin Y.A., Vasilev A.N., Lisovskiy A.S., Chernook V.I. Results of Barents Sea airborne lidar survey // Proc. SPIE. Vol. 6615. 66150E (Apr.13, 2007).

5) Глухов В.А., Гольдин Ю.А., Родионов М.А. Экспериментальная оценка возможностей лидара ПЛД-1 по регистрации гидрооптических неоднородностей в толще морской среды // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2017. Т. 10. № 2. С. 41—48.

6) Goldin Yu.A., Rogozkin D.B., and Sheberstov S.V. Polarized Lidar Sounding of Stratified Seawater // Proceedings of IV International Conference “Current Problems in Optics of Natural Waters (ONW’2007)”. Nizhny Novgorod. 2007. P. 175-178.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ НА ОСНОВЕ АВТОНОМНОГО НАДВОДНОГО МИНИ-КОРАБЛЯ

Греков А.Н.[1], Шишкин Ю.Е.[1], Никишин В.В.[2]

[1]*Институт природно-технических систем, г. Севастополь*

[2]*Севастопольской государственный университет, г. Севастополь*

grekov@protonmail.com

Ключевые слова: экологический мониторинг, выявление аномалий, мобильные роботы

На сегодняшний день эффективное решение задачи осуществления мониторинга водной среды с использованием автономных мобильных роботов представляет большой интерес для различных областей науки и техники. Особенно это актуально для средств, решающих задачи экологического мониторинга, к которым предъявляются повышенные требования оперативности и надежности [1]. Для г. Севастополя эта задача является крайне актуальной по причине обширной акватории, продолжительной береговой линии, большого числа бухт: 20 внутренних, входящих в состав Севастопольской бухты и 17 внешних, часть из них используется для судоходства и часть в рекреационных целях.

На практике обработка данных мониторинга часто осложняется вследствие их физической природы: неполные, искаженные, несистематичные, не привязанные к сетке факторного пространства измерений, сложно выделить пространственно-временную изменчивость [2]. Для решения данной проблемы предложено использовать автономный надводный мини-корабль, позволяющий осуществлять продолжительные, систематичные наблюдения за показателями морской среды, выявлять аномальности в этих показаниях и в соответствии с ними корректировать шаг проведения замеров и осуществлять расширенный ряд измерений [3].

Макетный образец автономного мини-корабля изготовлен по однокорпусной схеме, корпус из композитных материалов, длинной 1 м и шириной 0,3 м и оснащен водометным движителем с поворотным соплом, который обеспечивает высокую маневренность позволяет развивать скорость до 2-3 м/с.

В рамках задачи требуется определить механизм обнаружения аномалий с использованием пороговых, статистических или экспертных оценок, а с другой, расположить станции таким образом, чтобы обнаружение осуществлялось наиболее качественно. Для наиболее информативного мониторинга необходимо согласовать шаг проведения станций с изменчивостью показателей водной среды и разрешающей способностью измерителей. Классическая задача патрулирования сводится к поиску такого набора точек маршрута, которые гарантируют эффективное решение задачи мониторинга. Результирующие карты оптимальной плотности проведения станций будут применяться как входные управляющие массивы в системе управления маршрутом, которые учитывают характеристики скорости ветра и течения. По данному полю можно найти такое непротиворечивое множество координат станций, которое покрывает зоной видимости всю область мониторинга и при этом отвечает критериям минимума числа станций, энергопотребления и других интегральных характеристик. В рамках реализации работы на макетный образец автономного мини-корабля была установлена мини лебёдка, предназначенная для крепления погружаемого зонда для осуществления подводного мониторинга прибрежной и шельфовой зоны.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-48-920018

Список литературы

1) Минаев Д.Д. Принципы построения региональной автоматизированной информационной системы экологического мониторинга морских акваторий с применением автономных технических средств и робототехнических комплексов // Подводные исследования и робототехника. 2011. № 2 (12). С. 64–68.

2) Shishkin Y.E. Big Data visualization in decision making // Science in Progress: тез. Всерос. науч.-практ. конф. магистрантов и аспирантов. Новосибирск 20 октября 2016 г. Новосибирск: НГТУ, 2016. С. 203-205. ISBN 978-5-7782-3094-1

3) Шишкин Ю.Е., Греков А.Н. Концепция интеллектуальной системы автоматизированного экологического мониторинга севастопольской бухты на базе малогабаритных автономных роботов // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 14 (34). С. 63–69. DOI: 10.33075/2220-5861-2018-4-63-69.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ПРИБОРА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ИЗМЕНЧИВОСТИ РЕЛЬЕФА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ

Кудинов О.Б., Удовик В.Ф

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

obk91@mail.ru

Ключевые слова: береговая зона, мониторинг, цифровой прибор, профиль пляжа, трехкомпонентный акселерометр, GPS-модуль, береговой профилемер-инклинометр.

Рельеф поверхности пляжа является одним из основных индикаторов состояния и динамики изменчивости береговой зоны (БЗ) [1]. Существующие методики и рекомендации по проведению мониторинговых наблюдений для исследования морфо- и литодинамических процессов в береговой зоне моря в качестве наиболее информативных характеристик выделяют повторные измерения профилей пляжа на опорных створах [2].

Традиционными методами получения натурных данных о планово-высотных отметках поверхности пляжей являются нивелирная или теодолитная съемка с использованием приборов различной конструкции и класса точности. В настоящее время для оперативного обследования протяженных участков БЗ успешно применяются методы наземно-космической съемки с использованием GNSS-приемников геодезического класса, а также методы фотограмметрической аэрофотосъемки и лазерного сканирования, которые позволяют создавать цифровые модели рельефа.

Однако указанные методы имеют ряд ограничений по условиям эксплуатации приборов и оборудования, требуют высокой квалификации персонала и в большинстве случаев имеют высокую стоимость комплекта оборудования и непосредственно проведения работ. Подобного рода показатели существенно ограничивают в первую очередь возможность оперативного проведения мониторинговых наблюдений, что особенно важно при решении задач измерения экстремальных деформаций рельефа БЗ.

В свою очередь, опыт организации и проведения полевых работ показывает настоятельную необходимость создания специализированных контактных методов и средств, предназначенных для измерения профилей рельефа БЗ, и не ставящих решение поставленных задач в зависимость от указанных выше позиций. В рамках решения данной задачи разработана методика оперативного измерения профиля пляжа с использованием показаний датчика акселерометра [3]. В основе данной технологии измерений заложен метод тригонометрического нивелирования, позволяющий определять превышения по углу наклона и расстоянию между точками. На поперечном створе от линии уреза воды до тыльной границы пляжа производится серия измерений углов наклона поверхности на смежных отрезках, длина которых так же фиксируется. В результате обработки исходных данных получаем кусочно-линейную аппроксимацию истиной кривой, соответствующей профилю поверхности пляжа.

После успешного тестирования и апробации данной методики в полевых условиях, производившихся с использованием показаний акселерометров, встроенных в бытовые приборы массового производства, авторами был разработан и изготовлен с привлечением собственных средств действующий прототип прибора с рабочим названием - "береговой профилемер-инклинометр". Для удобства обработки данных и возможности их прямого включения в геоинформационные системы в структуру аппаратно-программного комплекса был включен GPS-модуль.

Конструктивно прибор представляет собой монопод переменного сечения длиной 2 м. В его центральной части, имеющей наибольший диаметр (50 мм), встроен съемный блок

специальной конструкции, содержащий основную плату управления, батарею аккумуляторов и панель управления. В нижней части прибор имеет подвижное сочленение с жесткой планкой, устанавливаемой на измеряемую поверхность. На планке длиной 1 м и шириной 0.1 м размещён модуль акселерометра и нанесена шкала, позволяющая измерять расстояния менее 1 м при сложном распределении высотных отметок на профиле. С целью минимизации помех при приёме спутниковых сигналов блок с GPS-модулем установлен на верхнем конце монопода.

Прибор выполнен на базе 32-битного микроконтроллера STM32F103C8 производства STMicroelectronics с ядром ARM Cortex-M3. Микроконтроллер работает на тактовой частоте 72 МГц, имеет 128 Кб внутренней памяти и аппаратный USB-UART преобразователь. Инклинометр оснащён трехосевым акселерометром с высоким разрешением (13 бит) измерений. Вектор ускорения, действующего на датчик, вычисляется из проекций вектора на оси x, y, z. Исходя из величин проекций вектора силы тяжести на эти оси, вертикальный угол наклона датчика определяется с точностью 0.1-0.2°.

Установленный GPS-модуль, позволяет принимать сигналы навигационных систем ГЛОНАСС (Россия), GALILEO (Европа), NAVSTAR (США), Beidou (Китай), QZSS (Япония) и SBAS (Satellite Based Augmentation System - спутниковая система дифференциальной коррекции), теоретически позволяя добиться точности позиционирования в полевых условиях с погрешностью 1 м. В сочетании с методами статистической обработки теоретически можно добиться точности позиционирования в радиусе 0.2 м. Данный GPS модуль может производить одновременную обработку сигналов от шести спутников с частотой опроса 10 Гц. В энергонезависимую память модуля предзагружены "свежие" данные альманаха и эфемерид, что существенно уменьшает время "тёплого" старта (до 10 секунд).

В базовом варианте прибора данные измерений, поступающие с измерительных каналов, формируются в таблицу и записываются на SD карту памяти в формате файловой системы FAT32. В расширенной версии прибора возможна также передача данных по каналу связи GSM/GPRS и при необходимости подключение дополнительных измерительных каналов (компас, температура, давление, влажность и т. д.).

Работа выполнена в МГИ РАН в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 (шифр «Прибрежные исследования») и № 0827-2018-0002 (шифр "Оперативная океанология").

Список литературы

1) Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. – М.: Наука, 1962. 438 с.
2) Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях. – М.: Гидрометеоиздат, 1975. – 240 с.
3) Долотов В.В., Удовик В.Ф. Опыт использования современных технологий для мониторинга прибрежной зоны Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2017. вып. 4. С. 67–77.

АВТОНОМНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СПЕКТРА ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА

Кудинов О.Б.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

obk91@mail.ru

Ключевые слова: флюоресценция, фитопланктон, измеритель.

Исследования флюоресценции фитопланктона имеют большое практическое значение для изучения состояния водных экосистем, для оценки физиологического состояния фитопланктона и его жизнеспособности. Измерения флюоресценции позволяют получить информацию о вертикальной стратификации и изменчивости концентрации фитопланктона на различных пространственно-временных масштабах, необходимы для совершенствования методов решения обратных задач в оптике моря и валидации спутниковых методов определения видового состава фитопланктона.

В отделе оптики и биофизики моря МГИ РАН был разработан прибор для измерения спектра флюоресценции и рассеяния света в морской воде, который позволяет определять первичные гидрооптические характеристики естественных водоёмов, концентрацию и видовой состав фитопланктона, концентрацию растворённого органического вещества и рассеяние под углом 90°. Возбуждение флюоресценции осуществляется на следующих длинах волн: 365, 457, 532, 570 и 625 нм. Использование встроенного диска со скрещенными светофильтрами позволяет производить регистрацию сигнала на длинах волн 365, 460, 530, 570, 625 и 685 нм. Устройство и принцип работы данного прибора детально описаны в [1]. Также нами был разработан специальный модуль "ЛАКУНА", позволяющий оперативно переконструировать любой погружной зонд кабельного исполнения в автономно-погружаемый, в котором будет отсутствовать необходимость использовать кабель, бортовой блок питания и блок накопления данных. Функционально данный модуль обеспечивает автономное питание, записывает данные, поступающие от зонда по интерфейсу RS-232, на SD карту памяти в формате файловой системы FAT32, отображает необходимую информацию на встроенном дисплее и имеет ряд полезных функций, описанных в работе [2].

При разработке спектрального измерителя флюоресценции и рассеяния модуль "ЛАКУНА" конструктивно был включён в состав зонда, что позволило разместить всю необходимую электронику в одном корпусе. В приборе используются: поворотный диск со светофильтрами, установленный на валу шагового электродвигателя, габаритный высоковольтный источник питания, фотоэлектронный умножитель, который должен быть установлен на световой оси и другие блоки, которые также обладают повышенными требованиями к взаимной компоновке. Для расположения указанных блоков внутри корпуса с применением аддитивных технологий была изготовлена несущая деталь, что существенно сократило время ее изготовления и упростило дальнейшую работу с прибором.

Разработанный измеритель был испытан в лабораторных условиях. Было произведено измерение интенсивности флюоресценции различными концентрациями зелёных (tetraselmis suecica viridis), диатомовых (phaeoductylum tricornutum) и золотистых микроводорослей (isochrysis galbana). Измерения проводились в профильтрованной морской воде путем увеличением концентраций от низких до высоких. Полученный сигнал был нормирован относительно интенсивности комбинационного рассеяния на соответствующих длинах волн. Была выявлена нелинейная зависимость интенсивности флюоресценции от концентрации, а также отличие спектров возбуждения для различных культур микроводорослей.

Работа выполнена в МГИ РАН в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002 (шифр "Оперативная океанология").

Список литературы

1) Кудинов О.Б., Мартынов О.В., Ли М.Е. Спектральный измеритель флуоресценции и рассеяния // Труды IX Всероссийской конференции «Современные проблемы оптики естественных вод». – СПб., 2017. С. 217-222.

2) Кудинов О.Б., Латушкин А.А. Универсальный автономный накопитель для повышения оперативности гидрооптических исследований in situ // Процессы в геосредах. 2018. № 3 (17). С. 74-75.

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОРСКОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Кудинов О.Б., Латушкин А.А.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

obk91@mail.ru

Ключевые слова: 3D печать, аддитивные технологии, морское приборостроение.

В настоящее время в морском приборостроении при решении прикладных океанологических задач большое внимание уделяется разработкам измерительных средств, обеспечивающих комплексной информацией о состоянии водных сред. К таким средствам относятся подводные измерительные комплексы, имеющие в своем составе определенный набор измерителей. Особенностью таких комплексов является одновременное измерение параметров водной среды. Для получения оперативных и репрезентативных данных к подводной аппаратуре предъявляются высокие требования как к точностным характеристикам, так и к её габаритам. Высокую популярность получили мультипараметрические малогабаритные измерители, подходящие для работы как в различных погодных условиях, так и на различных масштабах (от мелководных районов до открытых глубоководных районов). При разработке и создании таких измерителей особое внимание уделяется корпусной части. Нередко мультипараметрические измерители имеют сложное конструктивное исполнение, поэтому изготовление их корпусов и деталей конструкции часто связано с существенными финансовыми и временными затратами. Активно развивающиеся в настоящее время аддитивные технологии позволяют существенно упростить процесс создания таких деталей, а также дают возможность создавать детали, которые невозможно исполнить традиционными способами.

Аддитивные технологии (Additive Manufacturing - от слова аддитивность - прибавляемый) - это технологии послойного наращивания и синтеза объекта на основе компьютерной 3D модели, в отличие от вычитающих (субтрактивных - "традиционных") технологий производства. Основные понятия сформированы в стандарте ASTM F 2792.1549323 - 1. Первопроходцем отрасли стал Чарльз Халл (Charles W.Hull) - главный директор по технологиям компании 3D Systems, в 1986 году сконструировавший первый в своём роде 3D-принтер, основанный на технологии стереолиторгафии [1]. Однако стремительный рост технология 3D печати получила только с 2008 года, что связано с распространением проекта RepRap (Replicating Rapid Prototyper), нацеленного на создание устройства способного к воспроизведению собственных деталей и быстрого прототипирования, работающего по методу послойного наплавления - FFF (Fused Filament Fabrication). В настоящее время аддитивное производство охватывает различные отрасли промышленности (машиностроение, строительство, медицину, электронику, приборостроение, кулинарию, косметологию) [2] и варьируется в зависимости от задач как по виду применяемых материалов, так и по технологии производства. Наиболее распространены следующие технологии: метод послойного наплавления (FDM, FFF), выборочное лазерное спекание (SLS), метод отверждения жидких фотополимерных смол - стереолиторгафия (SLA). Среди применяемых материалов наиболее дешёвыми и доступными являются термопластики (филаменты): полилактид (PLA) и акрилонитрилбутадиенстирол (ABS), а также композитные термопластики, содержащие различные добавки. Их широкому применению способствует низкая температура плавления (180-250°C) и низкая температура стеклования (50-100°C), быстрое застывание, минимальная усадка и неплохие прочностные характеристики.

Описанная технология была активно использована авторами в ряде работ при создании гидрооптической аппаратуры:

- В процессе разработки зондирующего измерителя флюоресценции возникла сложность при создании отдельных узлов. Компоновка внутренней части корпуса имела сложную конструкцию и традиционно выточенные детали не позволяли разместить их внутри корпуса должным образом. Сложная конструкция проточной кюветы и устройства светозащиты также не могли быть выполнены традиционно. В итоге эти детали были напечатаны на 3D-принтере и полностью удовлетворили предъявляемым к ним требованиям.

- При создании погружной фермы для имитации процесса естественного обрастания оптических деталей в кратчайшие сроки были напечатаны все необходимые детали.

- Было создано большое количество деталей для оптического стола, лазерного микроскопа, поршневого и перистальтического насосов, произведён оперативный ремонт кассеты батометров SeaBird 911.

Также авторами была предпринята попытка создания погружного герметичного корпуса из наиболее доступных дешёвых видов филамента (PLA и ABS). Были произведены математические расчёты и стендовые испытания различных конструктивных решений стенок корпуса (в том числе, которые невозможно создать иным способом) на давление вплоть до 25 МПа.

В результате были получены следующие результаты:

- для PLA-филамента при стенках корпуса толщиной 2.5 мм и сплошным заполнением разрыв корпуса происходил на давлениях больше 7-8 МПа;

- для PLA-филамента по результатам математического моделирования при толщине стенок 10мм корпус выдерживает давление до 20 МПа;

- ABS-филамент при аналогичных параметрах внешнего давления, но при различных толщинах стенок, постепенно набирал воду из-за капиллярного эффекта через микропоры в стенках корпуса.

Таким образом, было установлено, что данные виды термопластиков хорошо подходят для влагозащищённых решений, PLA-пластик при большой толщине стенок корпуса может быть использован для создания герметичных погружных корпусов для глубин 100-150 м.

В целом благодаря использованию аддитивных технологий в проведённых работах было существенно сокращено время на изготовление деталей, что ускорило процесс создания и ремонта подводной аппаратуры.

Работа выполнена в МГИ РАН в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002 (шифр "Оперативная океанология").

Список литературы

1) Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении [Текст]: пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш.– М.:ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.

2) Attaran M.The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing [Text] // Business Horizons, 2017. Vol. 60. Iss. 5. P. 677-688.

АВТОНОМНЫЙ ЗОНДИРУЮЩИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ

Латушкин А.А., Кудинов О.Б.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

sevsalat@gmail.com

Ключевые слова: фотосинтетически активная радиация, Черное море.

С целью исследования фотического режима различных акваторий Чёрного моря (от мелководных до глубоководных) и других водоемов сотрудниками Морского гидрофизического института был создан автономный малогабаритный зондирующий измеритель фотосинтетически активной радиации (ФАР). Измеритель состоит из двух цилиндрических корпусов постоянного сечения диаметром 42 мм и длиной 200 мм, расположенных параллельно друг к другу и жестко соединенных между собой. В одном корпусе расположено два датчика ФАР, усилители сигналов, обеспечивающие широкий динамический диапазон, и элемент питания. Второй корпус содержит аналогово-цифровой модуль и модуль "ЛАКУНА" [1], обеспечивающий накопление, индикацию и передачу данных, а также датчики температуры и гидростатического давления.

Аналогово-цифровой модуль измерителя выполнен на основе 32-битного микроконтроллера STM32F103C8 производства STMicroelectronics с ядром ARM Cortex-M3, работающего на тактовой частоте 72 МГц. В качестве аналого-цифрового преобразователя (АЦП) выбран 24-битный АЦП с дельта-сигма модулятором четвертого порядка, имеющий собственный коэффициент усиления и цифровой фильтр. Измеряемый сигнал от датчиков сначала поступает на вход аналогово-цифрового модуля, далее оцифрованный сигнал передаётся на модуль "ЛАКУНА", где записывается на SD карту памяти в формате файловой системы FAT32.

Измерения солнечной радиации в диапазоне ФАР обеспечиваются датчиками фирмы LI-COR подводного исполнения. Датчик состоит из фотоприемного устройства, представляющего собой высокостабильный кремниевый фотодиод, набора светофильтров и молочного ламбертовского коллектора, помещенного в латунный корпус. Подробные технические характеристики датчиков приведены в [2].

Использование этих датчиков в составе измерителя стало возможным благодаря изменению части конструкции их корпусов. Датчики расположены параллельно оси измерителя и направлены в противоположные стороны друг относительно друга, что позволяет одновременно производить измерения нисходящей и восходящей ФАР. Измерения производится в надир и зенит соответственно.

В 2018 измеритель регулярно использовался при проведении гидрооптических исследований в различных районах северной части Чёрного моря. По результатам измерений ФАР в глубоководной части Чёрного моря, выполненных в рейсах на НИС «Профессор Водяницкий», изучены особенности пространственного (вертикального и горизонтального) распределения ФАР в различные сезоны года. Также проводились исследования в прибрежных акваториях - в местах наличия обильных растительных пологов. Установлены корреляционные связи вертикальной структуры растительных пологов (в частности, фитомассы) и распределения ФАР.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002 (шифр «Оперативная океанология»), а также при поддержке РФФИ (проект р_а № 18-45-920044).

Список литературы

1) Кудинов О.Б., Латушкин А.А. Универсальный автономный накопитель для повышения оперативности гидрооптических исследований in-situ// Процессы в геосредах № 3(17). 2018. С. 74-75.

2) LI-COR [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL: https://www.licor.com/env/products/light/quantum_underwater.html (06.02.2019).

РАЗРАБОТКА МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ПЕРСПЕКТИВОЙ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ РЕЗИДЕНТНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ, НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТНОЙ РАБОТЫ ПО РАЗРАБОТКЕ ЛИНЕЙКИ АНПА «ГЛАЙДЕР-ГИБРИДНЫЙ ГЛАЙДЕР- I-AUV».

Маевский А.М.[1,2], **Гайкович Б.А.**[1]

[1]*АО "НПП ПТ "Океанос" , г. Санкт-Петербург*

[2]*Южный Федеральный Университет, г. Ростов-на-Дону*

maevskiy_ andrey@mail.ru

Ключевые слова: АНПА, ТПА, ГАПНА, резидентная робототехника, подводный глайдер.

По данным аналитического отчета компании Westwood Global Energy Group [1], до 2022 года будет наблюдаться постоянный рост спроса на автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА). В значительной мере, как описывается в отчете, это будет происходить из-за того, что промышленность начинает все активнее внедрять АНПА в практику полевых инспекций. Связано это с развитием добывающей промышленности, которая постепенно смещается в сторону глубоководных исследований, в виду чего использование телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) становится все более сложными и дорогостоящими. Также постоянному развитию подвергаются структуры морского флота, с каждым годом увеличивается число государственных стратегических задач, направленных в частности на исследования морской среды (поиск месторождений залежей углеводородов), в том числе в Арктическом регионе [2, 3].

Из выше перечисленного следует, что для выполнения таких задач обычного ТНПА может быть недостаточно, в виду его конструктивных и технологических ограничений и очевидно применение АНПА, как основной платформы для выполнения подводных операций. Применение автономных подводных аппаратов позволит существенно сократить расходы на проведение исследований.

Основной задачей подводных робототехнических комплексов является проведение оперативных работ в определенном секторе акватории. Основной проблемой, с которой сталкиваются разработчики АНПА является проблема связи. С целью решения данной проблемы, сегодня ведутся интенсивные исследования и разработки в сфере резидентной робототехники и связанной с ними разработке «местных» или резидентных АНПА (R-AUV).

Резидентный АНПА - это работающий от встроенной батареи аппарат с нулевой плавучестью, который работает под водой либо в автономном режиме, либо беспроводно управляется с использованием транспондеров, устанавливаемых, как правило, на подводных элементах производственной системы или при помощи систем, установленных на докстанции. Резидентный АНПА может подолгу оставаться под водой, что позволяет задействовать его для осмотров и ремонта практически в любой желаемый момент времени с минимумом затрат. Управлять таким устройством можно как с платформы, так и из специального центра управления, который может обеспечивать управление несколькими АНПА на различных сайтах.

Таким образом основной задачей данного проекта, является разработка гибридного подводного аппарата, способного работать в единой резидентной системе, собранной из гетерогенной системы морских робототехнических комплексов (МРТК).

Начиная с 2011 года и по настоящее время в АО «НПП ПТ «ОКЕАНОС» ведется разработка и доработка первого отечественного опытного образца подводного глайдера-

АНПА на основе гидродинамических принципов движения. С целью расширения

функциональности глайдера, была предложена идея модернизации его движения, с учетом использования внешних движительных механизмов.

Развитие подобных технологий значительно расширяет спектр выполняемых подводных работ. Так текущая разработка, ведущаяся в АО «НПП ПТ «ОКЕАНОС» АНПА «глайдер-гибридный глайдер- I-AUV», направлена на создание такого аппарата, который был бы способен перемещаться как в режиме типового АНПА, так и глайдера. Комбинирование двух режимов позволит достичь наименьших энергетических затрат на перемещение АНПА, а при непосредственном нахождении в районе выполнения манипуляционных работ стабилизировать его в пространстве. Наличие установленного манипулятора, позволит выполнять такие задачи как: проведения поисковых работ, к примеру поисков черных ящиков, периодическое обслуживание, которое включает в себя такие задачи, как загрузка больших объемов данных, подключение / отключение кабелей связи и питания, замена батарей, устранение дефектов аппаратуры, а также размещение и восстановление пакетов датчиков, проведение подводных археологических работ.

Параллельно с разработкой физического прототипа объекта, ведется разработка необходимого программного обеспечения и комбинированной системы управления, которая позволит управлять не только разновидным движением аппарата, но и стабилизацией его положения. Также данная система должна иметь возможность обеспечить автономную работу манипуляторного комплекса. На данный момент реализоваано следующее программное обеспечение позволяющее: задавать базовые режимы работы аппарата; собирать необходимую информацию, получаемую на борт подводного аппарата; визуализировать и анализировать полученные результаты.

Базовые характеристики демонстратора технологий ЛИ АНПА «Резидент»: тип - Легкий Интервенционный Автономный Необитаемый Подводный Аппарат; количество движителей - 4; скорость хода - до 4-х узлов; манипуляторный комплекс - электрический, 5-ти степенной; силовой параметр манипуляций на полном вылете - 16-20 кН.

В рамках дальнейших исследований планируется разработка системы группового управления МРТК, проведение испытаний макетного образца ГАНПА, разработка системы технического зрения, разработка наземного пункта управления и интерфейса системы управления, имеющей возможность задавать и менять параметры миссии в режиме реального времени.

На данный момент разработками в данной области занимается множество зарубежных компаний [4,5]. Что также подтверждает актуальность данной разработки и необходимость в создании отечественного образца ГАНПА.

Список литературы

1) Offshore wind propels subsea cable demand [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL: https://www.westwoodenergy.com/product/subsea-cable-tracker-2018-2022/
2) Мартынова Л.А. Инструментарий для исследований эффективности ведения сейсморазведки с использованием автономных необитаемых подводных аппаратов. Информационно-управляющие системы. 2017;(2):77-87. https://doi.org/10.15217/issn1684-8853.2017.2.77
3) Машонин А.И., Пашкевич И.В. Облик подводного робототехнического комплекса для сейсморазведки на морском шельфе. Перспективные системы и задачи управления 2018; 46-51.
4) Kaiser, C., A., B., Camilli, R., Yoerger, D., and Jakuba, M. F. N. (2013). Hybrid AUV inspection, monitoring, and intervention of seafloor and sub-seafloor pipelines.

5) X. Jinyu, Z. Tiedong, H. Hai, Z. Zexing and T. Qirong, "The development on a streamlined underwater vehicle for autonomous manipulation," OCEANS 2017 - Aberdeen, Aberdeen, 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/OCEANSE.2017.8084612

ПОГРУЖНОЙ СПЕКТРОГИДРОНЕФЕЛОМЕТР: ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Мольков А.А.[1], **Лещев Г.В.**[1], **Кудинов О.Б.**[2]

[1]*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород,*

[2]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

a.molkov@inbox.ru

Ключевые слова: спектрогидронефелометр, индикатриса рассеяния, Горьковское водохранилище.

Новый спектрогидронефелометр, конструктивно схожий с известным СГН-57 [1], но смонтированный на современной инструментальной и программно-аппаратной базах, разработан в ИПФ РАН. Прибор разработан для in situ измерений индикатрисы рассеяния на трех длинах волн 405 нм, 532 нм и 650 нм в неглубоких водоемах (до 10 м). Он состоит из двух частей - надводной и подводной, соединенных кабелем питания и передачи данных, а также страховочным тросом. В надводной части расположена управляющая электроника (микроконтроллер, АЦП и блок питания), а подводная часть содержит блоки излучения и приема, размещенные в одной горизонтальной плоскости на расстоянии 300 мм друг от друга. Защиту от внешнего света и механических повреждений обеспечивает стальной корпус конической формы. Выбор материала корпуса связан с необходимостью утяжеления конструкции для лучшего погружения, а его форма обусловлена возможностью вывода переотраженного стенками излучения в толщу воды через большие прорези в дне нефелометра. Дополнительно на внутренние стенки корпуса нанесено светопоглощающее покрытие. Блок приема жестко закреплен на корпусе нефелометра, а блок излучения зафиксирован на Г-образном рычаге, обеспечивающем вращение вокруг приемника с помощью шагового двигателя LDO Motors, расположенного в вершине корпуса. Его скорость вращения (в воздухе) ограничена 20 оборотами в секунду и может меняться в меньшую сторону с помощью программного обеспечения, при этом дискретность по углу составляет 1.8 градуса. В блоке излучения размещены три компактных лазера непрерывного действия третьего класса безопасности и мощностью излучения от 40 мВт до 200 мВт. В стартовом положении блок излучения отводится в сторону от оси приемника на угол 165 градусов, оставшиеся 15 градусов “съедаются” геометрией блока приема. После включения первого лазера осуществляется вращение блока излучения на 330 градусов до его остановки с другой стороны от блока приема, после чего происходит обратный ход. Таким образом, за прямой и обратный проходы получаются сразу 4 индикатрисы рассеяния, которые могут быть усреднены между собой для повышения точности. Недостающий интервал углов измеренной индикатрисы рассеяния достраивается методом интерполяции. Согласно сделанным оценкам нефелометр позволяет измерять индикатрису рассеяния в диапазоне углов от 3 до 165 градусов. После первого лазера включается следующий и действия повторяются. Измеряемый сигнал обратного рассеяния поступает на фотокатод ФЭУ 58, обладающего спектральным диапазоном 300-650 нм и имеющего высокую чувствительность фотокатода ($\geqslant$15 мкА/лм) и низкий уровень темнового тока ($\leqslant 6\times10^{-8}$А), что обеспечивает большой динамический диапазон. Для работы ФЭУ используется постоянное напряжение от -700 до -1200В, которое создаётся специальным импульсным блоком питания. Сигнал с анода ФЭУ поступает на вход трансимпедансного преобразователя, выполненного на основе операционного усилителя (ОУ) и далее на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП). В качестве последнего выбран 16-битный АЦП, имеющий собственный коэффициент усиления и позволяющий, регулируя диапазон входных напряжений, добиться уменьшения

дискретности сигнала на выходе. Оцифрованный сигнал поступает на вход МК, формируется в кадры и передаётся на ПК, где записывается в выходной файл xls Применение ФЭУ, как правило, сопровождается использованием громоздких источников питания высокого напряжения (что в рамках работ на воде не может быть безопасно), поэтому в настоящем приборе были приложены усилия для ухода от этого недостатка путем установки блока питания Hamamatsu C4900.

Управление прибором осуществляется посредством передачи команд по интерфейсу RS-232 от персонального компьютера (ПК) к 32-битному микроконтроллеру (МК) производства STMicroelectronics с ядром ARM Cortex-M3 в форм-факторе "bluepill" с помощью специально разработанного программного обеспечение под ОС Windows.

Тестирование спектрогидронефелометра происходило на бассейне ИПФ РАН. По его результатам было установлено, что прибор пригоден для работ в режиме зондирования, затрачивая на одно измерение на каждом горизонте порядка 30 секунд. Летом 2018 года было выполнено несколько экспедиций с его использованием на Горьковском водохранилище, где впервые были измерены индикатрисы рассеяния вод этого водоема при различной интенсивности цветения сине-зеленых водорослей. Измерения проводились с борта маломерного судна в разных участках водоема с глубины 1м. Одновременно с этим с помощью погружного флуорометра Fluoroprobe III BBE Moldaenke осуществлялся контроль концентраций оптически активных примесей - хлорофилла а и растворенного органического вещества (РОВ), калиброванного по общему органическому углероду, а также первичных гидрооптических характеристик воды, а именно показателя ослабления и рассеяния вперед для 532 нм, с помощью мутномера Турбидо-1М [2]. Концентрация взвеси (минеральной и органической) определялась в лабораторных условиях путем оценки спектрального поглощения каждого компонента и пересчета в концентрацию по формулам из работы [3]. Всего с июля по ноябрь было измерено около 10 индикатрис, охватывающих широкий диапазон интенсивности цветения доминантных в водоеме сине-зеленых водорослей (в пересчете на концентрацию хлорофилла а - от 5 до 80 мкг/л) при вариациях РОВ 13+-3 мг/л. Полученные данные были использованы при разработке регионального алгоритма оценки оптических свойств воды Горьковского водохранилища по спутниковым данным.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 17-77-10120.

Список литературы

1) Очаковский Ю.Е., Копелевич О.В., Войтов В.И. Свет в море // М: Наука. 1970. 179 с.

2) Мольков А.А., Капустин И.А., Щегольков Ю.Б., Воденеева Е.Л., Калашников И.Н. Взаимосвязь первичных гидрооптических характеристик на 650 нм с глубиной видимости диска Секки и концентрацией сине-зеленых водорослей в Горьковском водохранилище // Фундаментальная и прикладная гидрофизика №3(11). 2018. С. 26-33

3) Коновалов Б. В., Кравчишина М. Д., Беляев Н. А., Новигатский А. Н. Определение концентрации минеральной взвеси и взвешенного органического вещества по их спектральному поглощению // Океанология №4(54). 2014. С. 1-9

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛН В ГОЛУБОЙ БУХТЕ (ГЕЛЕНДЖИК) ПРИ ПОМОЩИ ВИДЕОКАМЕРЫ И РЕЙКИ

Мысленков С.А., Михайлов В.А.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва

stassas@yandex.ru

Ключевые слова: уровень моря, измерение уровня моря, видеосъемка, измерение ветровых волн, Черное море.

Уровень моря и характеристики волнения относятся к числу важнейших гидрометеорологических параметров, влияющих на безопасность и эффективность работ в море [1]. Измерению этих параметров всегда уделялось много внимания, приборы для измерения уровня постоянно совершенствовались, разрабатывались новые технологии и принципы измерения. В настоящее время чаще всего для измерения уровня используются следующие приборы: рейка водомерная, датчик гидростатического давления, лазерный или ультразвуковой измеритель, акустические датчики, поплавковые мареографы и др. [2]. Если измерения уровня производятся с частотой более 4-5 Гц, то по этим данным можно успешно восстанавливать параметры ветровых волн, например, при помощи ультразвукового волнографа [3]. Данные приборы имеют различную точность, разрешение и ограничения использования. Однако все эти приборы являются дорогостоящим специализированным гидрометеорологическим оборудованием.

В последнее время интенсивно развиваются цифровые технологии, связанные с распознаванием лиц, расшифровкой изображений для определения государственных номеров автомобилей по данным уличных видеокамер и др. Эту технологию также можно применять и для измерения уровня воды. В работах [4, 5] описывается похожая технология распознавания уровня на реках по данным видеокамеры. В основном эта технология предназначена для автоматического оповещения при достижении водой критических отметок уровня и имеет грубое разрешение по частоте и уровню. Интерес к подобным технологиям вызван в первую очередь доступностью камер для видеонаблюдения и развитием персональных компьютеров, которые уже в наши дни позволяют обрабатывать большие массивы фото и видеоизображений.

В данной работе предлагается метод измерения уровня моря и параметров волнения при помощи видеокамеры и уровенной рейки. Видеосъемка производится со скоростью 30 кадров в секунду, рейка имеет контрастные черно-белые полосы толщиной 2 см, что позволяет восстанавливать уровень моря с частотой 30 Гц и точностью до 2 см.

Испытания данной технологии производились летом 2018 года в Геленджике на базе ЮО ИО РАН. На пирсе в Голубой бухте была закреплена железная рейка длиной 6 м, размеченная контрастными полосами толщиной 2 см. При помощи фотоаппарата Canon PowerShot SX10 IS производилась видеосъемка рейки в качестве 640x480 с низкого пирса (1.5 м над водой). Расстояние до рейки составило всего 6 м, поэтому использовался только двукратный оптический зум. Видеосъемка производилась в светлое время суток при различных волновых условиях сериями длительностью по 10 минут.

Полученные видеозаписи расшифровывались при помощи скрипта в среде MATLAB. Сначала видеозапись покадрово преобразовывалась в изображения. Далее изображения конвертировались в числовые матрицы цветов RGB и из каждой матрицы извлекался вертикальный срез шириной 1 пиксел, советующий положению рейки в кадре. Часть рейки, которая находится на воздухе, при анализе данных на срезе хорошо выделяется по разной насыщенности цвета черных и белых полос. На той части рейки, что погружена в

воду, контрастных полос дешифрировать нельзя, поэтому граница раздела определяется однозначно. На следующем этапе при помощи алгоритма граница раздела вода-воздух определялась для каждого кадра видеозаписи длиной 10 минут. В результате был получен ряд значений относительного уровня моря с частотой 30 Гц для нескольких записей.

Полученные данные уровня были обработаны и проанализированы. Были построены частотные спектры ветрового волнения, рассчитаны такие характеристики как высота значительных волн и средний период.

В целом, испытания метода измерения уровня моря и параметров волнения при помощи видеокамеры и уровенной рейки можно признать успешными, так как уровень моря с частотой 30 Гц и хорошей точностью был определен. Однако существует ряд технических проблем, которые необходимо разрешить для дальнейшего использования предлагаемого метода: измерения в темное время суток, в плохую погоду, с расстояния 50-100 м.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80088.

Список литературы

1) Абузяров З.К., Думанская И.О., Нестеров Е.С. Оперативное океанографическое обслуживание. – М. 2009. 287 с.

2) Грузинов В.М. Прикладная океанография / В.М. Грузинов, Е.В. Борисов, А.В. Григорьев. - Обнинск: Изд-во "Артефакс". 2012. 384 с.

3) Медведева А.Ю., Мысленков С.А., Медведев И.П., Архипкин В.С., Кречик В.А., Добролюбов С.А. Моделирование ветрового волнения в Балтийском море на прямоугольной и неструктурной сетках на основе реанализа NCEP/CFSR//Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 362. С. 37-54.

4) Chapman K. W. Camera based water level detection. US Geological Survey (USGS) and US Forest Service. 2011.

5) Iwahashi M., Udomsiri S., Imai Y., Muramatsu S. Water level detection for functionally layered video coding. Proc. IEEE Int. Conf. Image Process. 2007. pp. 321-324.

ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНЫХ ВОДОЁМОВ ПРИ ПОМОЩИ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ЛИДАРА

Нурисламова К.Р.[1], **Пелевин В.В.**[2]

[1]*Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный*

[2]*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Москва*

nkr1997@inbox.ru

Ключевые слова: флуоресцентный лидар, УФЛ, минеральная взвесь, органическое вещество, хлорофилл фитопланктона, флуоресценция.

Исследования различных биооптических составляющих толщи воды играют важную роль для мониторинга и оценки изменений качества вод в природных водоёмах. Одним из динамично развивающихся и удобных в использовании приборов для научных исследований и оперативного экологического мониторинга верхнего слоя моря является флуоресцентный ультрафиолетовый лидар, производящий дистанционное зондирование водоёма с борта движущегося судна и позволяющий получать данные о пространственном распределении таких важных параметров верхнего квазиоднородного слоя (ВКС), как хлорофилл «а», общая взвесь и окрашенное органическое вещество (ООВ), или иначе “желтое вещество” [1].

Измерения концентрации хлорофилла “а” и ООВ производятся на основе анализа сигналов флуоресценции водной среды, для определения количества взвеси используется сигнал обратного упругого (релеевского) рассеяния лазерного импульса на частицах взвеси. Все данные нормируются на сигнал комбинационного (рамановского) рассеяния воды. В ходе каждого рейса производится синхронный с лидарным зондированием отбор проб воды для последующего анализа в лаборатории на хлорофилл, ООВ и взвесь для калибровки лидарных измерений путем определения регрессионных зависимостей между измерениями в лидарных (рамановских) единицах и абсолютных весовых единицах на пробах [2]. При этом коэффициенты детерминации, как правило, лежат в диапазоне 0,7 - 0,95, исходя из практического опыта нескольких десятков экспедиций, что является вполне удовлетворительным для дистанционного метода измерений. Необходимость проводить калибровку лидара для каждого района работ, сезона и даже конкретного судна обусловлена тем, что на лидарные отсчеты влияет большое количество факторов, как то: видовой состав фитопланктона и фаза его сукцессии, состав ООВ, гранулометрический состав взвеси и пропорция между ее органической/неорганической составляющими, геометрия лазерного зондирования, а также ряд других.

Нельзя не отметить очевидные преимущества активных зондирующих методов перед пассивными (к примеру, радиометрами надводного или спутникового базирования) в части более высокой чувствительности и точности получаемых данных о водной среде, а также возможности работать в любое время суток и всепогодности, то есть независимости от солнечной освещенности и от наличия/отсутствия облачности. Более того, стоит отметить высокую производительность измерений и возможность работать на большой площади за короткое время, например, синхронно со спутниковым снимком, что дает возможность оперативно собрать большой массив подспутниковых измерений [3].

Работа выполнена в рамках соглашения Минобрнауки РФ 14.W03.31-0006.

Список литературы

1) Vodacek A. Synchronous fluorescence spectroscopy of dissolved organic matter in surface waters: Application to airborne remote sensing // Remote Sensing of Environment. 1989. Vol. 30. P. 239-247

2) Palmer S.C., Pelevin V.V., Goncharenko I.V., Kovács A., Zlinszky A., Présing M., Horváth H., Nicolás-Perea V., Balzter H., Tóth V. Ultraviolet Fluorescence LiDAR (UFL) as a Measurement Tool for Water Quality Parameters in Turbid Lake Conditions // Remote Sensing. 2013. Vol. 5 (9). P. 4405-4422

3) Pelevin V., Zlinszky A., Khimchenko E., Toth V. Ground truth data on chlorophyll-a, chromophoric dissolved organic matter and suspended sediment concentrations in the upper water layer as obtained by LIF lidar at high spatial resolution // International Journal of Remote Sensing. 2017. Vol. 38. No. 7. P. 1967-1982

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ РЕГИСТРАЦИОННОГО БЛОКА АКУСТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕЧЕНИЯ

Пасынков М.А., Рязанов В.А.

Институт природно-технических систем, г. Севастополь

sevmixa@mail.ru

Ключевые слова: автоматизация, мониторинг, измерения, скорость течения.

На сегодняшний день актуальной задачей океанологии является мониторинг пространственно-временной изменчивости таких параметров водной среды как направление и скорость течения. Цель исследования определена необходимостью мониторинга природных явлений, имеющих неоднородный, непостоянный характер в морях и океанах, реках и других водных акваториях. Наиболее значимыми параметрами считаются скорость и направление течения. Для достижения поставленной цели была сформулирована задача создания отечественного автономного автоматизированного измерителя скорости и направления течения для проведения длительного мониторинга. Разработанные и созданные ранее измерительные приборы не в полной мере выполняют предъявляемые им задачи с учетом ограничений, обусловленных предметной областью. Например, используемый переносной акустический измеритель скорости и направления течения ИСТ-1М, несмотря на высокие метрологические характеристики не предназначен для длительной постановки [1]. В стандартном исполнении ИСТ-1М оснащён бортовым блоком, содержащим в себе: дисплей, индикатор, аккумуляторную батарею, модуль памяти и канал приема-передачи данных. В данном исполнении невозможно проводить длительный мониторинг скорости и направления течения с постановкой на буйковой станции [2].

Поэтому было предложено оснастить прибор ИСТ-1М дополнительным блоком питания и регистрации данных. Применение такого рода комплексов эффективно решает задачу автоматизированного измерения скорости и направления течения, температуры и гидростатического давления. Корпус модуля питания и регистрации данных изготовлен из нержавеющей стали и способен выдерживать глубины до 1000 м, что соответствует характеристикам погружного блока прибора ИСТ-1М. Модуль оснащён аккумуляторной батареей типа AA NI-MH повышенной ёмкости, что позволяет использовать прибор ИСТ-1М при длительных постановках. Структурно модуль состоит из: контроллера заряда; цифровых часов с независимой батареей типа CR2032; звукового и светового индикаторов для информирования о текущем рабочем режиме или об его изменении; флэш-памяти для хранения измеренных данных; модема связи для получения данных с погружного блока ИСТ-1М и передачи их на персональный компьютер, а также для использования прибора в телеметрическом режиме.

Автономный модуль предназначен для осуществления мониторинга со стационарных объектов и плавучих буйков. Имеется возможность предварительно задать алгоритм записи через смартфон или персональный компьютер [3], что позволяет в интерактивном режиме осуществлять настройку и проверку ключевых параметров работы комплекса, таких как: интервал и время работы прибора; режим работы автономный или телеметрический, уровень заряда батареи, установка коэффициентов, а также проводить манипуляции с памятью устройства. Инициализация включения производится при помощи магнитного выключателя, что очень удобно в полевых условиях. Использование комплекса позволяет отказаться от дорогостоящего грузонесущего кабель-троса, используя при этом обычный стальной или капроновый трос. Крепление троса через карабин позволяет быстрее позиционироваться по потоку. Разработанный комплекс включает в себя блок регистрации и блок погружной ИСТ-1М. Система обладает следующими техническими характеристиками [4]:

по скорости течения - в диапазоне от 0,04 до 5,00 м/с с погрешностью ±1 %; по температуре воды - в диапазоне от минус 2 до плюс 35°С с погрешностью ±0,6°С; по глубине - в диапазоне от 0 до 10 м с погрешностью ±1,6 %, в диапазоне от 0 до 25 м с погрешностью ±2 %. Использование предложенного технического решения позволяет применять комплекс в новых условиях при автоматическом осуществлении мониторинга скорости и направления течения [5]. Внедрение комплекса обеспечит осуществление системного сбора данных, без необходимости постоянного участия оператора. Был произведен ряд суточных полевых испытаний, где производилась проверка работоспособности механических узлов и соединений, проверка на герметичность с электроникой и без, а также работоспособность электронных компонентов, и элементов индикации, инициализации включения, отладки программного обеспечения, и синхронизация с персональным компьютером [6]. Произведена суточная постановка комплекса в декабре 2018 г. в акватории Севастопольской бухты на устричной мидийой ферме, и успешно определена суточная изменчивость скорости и направления течения и температуры на выставленном горизонте.

Список литературы

1) Grekov N.A., Grekov A.N. IST-1 and IST-1M current-velocity meters under the sea and river conditions // Physical Oceanography. 2010. Т. 20. № 2. С. 149–156.
2) Пасынков М.А. Комплексная система интеграции баз данных мониторинга физических параметров и позиционирования в акваториях // Научный журнал. 2017. № 2 (15). С. 29-31.
3) Скатков А.В., Шишкин Ю.Е. Модель обнаружения аномалий в наблюдениях параметров полей окружающей среды с использованием систем мониторинга // Системы контроля окружающей среды. 2017. № 10 (30). С. 48–53.
4) Греков Н.А., Греков А.Н., Кузьмин К.А., Казанцев С.В., Пасынков М.А. Поиск субмаринных источников модернизированным прибором ИСТ-1М1 // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: МГИ НАНУ. 2014. Вып. 20. С. 68–73.
5) Греков А.Н., Шишкин Ю.Е. Моделирование трехкомпонентного акустического измерителя скорости течения // Системы контроля окружающей среды. 2016. № 6 (26). С. 33-40
6) Пасынков М.А., Рязанов В.А. Разработка погружного блока регистрации для автоматического измерителя скорости течения // Экобиологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами: сборник материалов V научно-практической молодежной конференции. 2018. С. 199-200.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ПОДВОДНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ В МЕЛКОМ МОРЕ В ОСЕННИХ УСЛОВИЯХ

Шатравин А.В.

Инситут океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

ashatravin@ocean.ru

Ключевые слова: акустика океана, звукоподводная связь, акустика мелкого моря, мелкомасштабная изменчивость.

Актуальность исследования зависимости эффективности различных методов звукоподводной связи (ЗПС) от параметров морской среды обусловлена, в первую очередь, прикладным значением этой технологии. Благодаря слабому (по сравнению с электромагнитными волнами) затуханию акустических волн в воде ЗПС часто оказывается наиболее эффективным или вообще единственным доступным способом передачи информации в океане. Методы ЗПС применяются для передачи управляющих команд необитаемым подводным аппаратам, обмена информацией между автономными роботами (например, глайдерами), подводной навигации, передачи данных измерений с зондирующих станций и широкого круга подобных задач. Основные подходы к кодированию и демодуляции сигнала при ЗПС унаследованы из области передачи информации по радиоканалу, однако некоторые особенности и высокая временная изменчивость передаточных функций подводного гидроакустического канала налагают ряд ограничений, которые делают его, возможно, наиболее сложной средой с точки зрения компенсации влияния канала на передаваемый аналоговый сигнал [1]. При прогнозировании (на основе моделирования распространения звукового сигнала) эффективности высокоскоростных когерентных методов ЗПС из-за малого характерного времени передачи цифрового символа необходимо учитывать не только опорные профили скорости звука, медленно меняющиеся со временем, но и влияние мелкомасштабных флуктуаций параметров среды. Прямое моделирование таких флуктуаций затруднительно ввиду вычислительной сложности, поэтому широкое распространение получил такой подход, при котором влияние изменчивости среды на малых временных масштабах (порядка 1 с и меньше) моделируется на основе экспериментальных оценок функций распределения ошибок демодуляции и амплитуд лучевых приходов [2]. Данная работа посвящена экспериментальному исследованию зависимости статистических свойств таких распределений от изменения параметров среды (профиль скорости звука и скорости течения) с характерным масштабом времени в десятки минут при передаче информации на мелком шельфе в осенних условиях.

Экспериментальные данные получены в октябре 2015 года на шельфе Черного моря в районе Геленджика. На расстоянии около 1 км друг от друга на глубине 36 метров были установлены две автономные станции, которые поочередно передавали и принимали зондирующий сигнал на несущей частоте 10 кГц, кодирующий м-последовательность длиной 2047 символов методом бинарного переключения фазы (BPSK). Скорость передачи составляла 2 кбит/с. Декодирование осуществлялось с применением эквалайзера с обратной связью DFE на основе критерия минимизации среднеквадратичной ошибки [3]. Продолжительность эксперимента составила ∼40 часов, за время которых каждая станция совершила ∼3000 сеансов передачи. Опорные профили скорости звука были измерены до начала и после завершения эксперимента. Волновод оказался практически изоскоростным со слабым придонным каналом, диапазон изменения скорости звука составил примерно 0.5 м/с. Скорость течения на протяжении всего эксперимента измерялась профилографом ADCP, установленным на расстоянии ∼600 м от трассы между станциями, диапазон

изменчивости составил ∼0.5 м/с. Средняя величина ошибки декодирования (BER) составила 0.0002. Во время эксперимента были зарегистрированы два события, по-видимому, связанные с прохождением субмезомасштабных вихрей, когда профиль скорости течения вдоль трассы становился существенно неоднородным. В эти промежутки времени отмечались максимальные значения BER до 0.07, а распределения среднеквадратичной ошибки декодирования отличаются не только высоким средним значением, но и большей дисперсией. Функции импульсного отклика канала на протяжении всего времени эксперимента имели сходную структуру с тремя основными максимумами амплитуды. Главный вклад в эффективность демодуляции вносит основной пик амплитуды, соответствующий группе лучей, однократно отраженных от поверхности. Уровень амплитуды основного пика во время прохождения гидрологических неоднородностей падал на ∼4 дБ, обеспечивая увеличение уровня ошибки демодуляции на ∼8 дБ. Таким образом, в нашем эксперименте показано существенное влияние изменчивости профиля скорости течения на эффективность когерентной ЗПС в мелком море.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема 0149-2019-0011).

Список литературы

1) Stojanovic M, Preisig J. Underwater acoustic communication channels: Propagation models and statistical characterization. IEEE communications magazine. 2009 Jan; 47(1):84-9.

2) Qarabaqi P, Stojanovic M. Statistical characterization and computationally efficient modeling of a class of underwater acoustic communication channels. IEEE Journal of Oceanic Engineering. 2013 Oct; 38(4):701-17.

3) Proakis J., Digital Communications, NY USA: McGraw-Hill, 2001.

МЕТОДЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВИДЕОРЕГИСТРАТОРА И АНАЛИЗАТОРА ПЛАНКТОНА

Шишкин Ю.Е., Греков А.Н.

Институт природно-технических систем, г. Севастополь

yourockpro@gmail.com

Ключевые слова: мониторинг, кластеризация данных, планктон, интеллектуальный анализ данных, машинное зрение, Большие Данные, интеллектуализация, выявление аномалий.

На сегодняшний день поиск эффективных подходов для решения задач обработки изображений, связанных с кластеризацией, сегментацией, выделением контуров, исправлением поврежденных пикселей, интеллектуальным анализом имеет важное прикладное значение для научной и практической деятельности: промысловой океанографии, экологии и морской биологии [1-3]. Активно изучается, улучшается и расширяется сфера использования современных методов обработки изображений: кластеризации, машинного зрения, интеллектуального анализа, которые имеют высокую эффективность при использовании в лабораторных условиях при наличии больших вычислительных мощностей [4-5]. Рассматриваются конкурирующие методы кластеризации изображений, имеющие невысокую вычислительную сложность: *k-means*, *k-medoids*, *EM-algorithm*, *C-means* и рекурсивной кластеризации. Следует отметить, что применимость этих методов в контексте использования *in situ* на базе автоматизированного видеорегистратора и анализатора планктона изучена недостаточно ввиду специфики вариантов использования такого класса оборудования и необходимости учета особенностей научно-технического характера: наличия оптических и цифровых шумов во входном сигнале, необходимости обработки видеопотока данных высокого разрешения в реальном времени, пропущенных данных и динамически изменяющихся условий работы. Исследуемое множество методов визуального анализа рассматривалось в контексте использования в автоматизированном видеорегистраторе и анализатора планктона, оснащенном камерой высокого разрешения с эффективной разрешающей способностью 3264x2448 пикс, высокой световой чувствительностью, обеспечивающей работу при минимальной освещенности от 0,01 лк и динамическим диапазоном 83,5 дБ и оптической системой с переменным фокусным расстоянием 5-50 мм.

При решении задачи осуществления кластеризации для представления изображений исторически сложилось два подхода - непрерывный и дискретный. Непрерывный подход связан с представлением графических изображений как функции или набора функций от двух переменных, для которых определены значения в узлах факторного пространства. В таком случае к изображению определенному функционально рационально применять численные методы анализа непрерывных функций с использованием конечных разностей, значительный вклад в развитие данного подхода внесли Дж. Кэнни, Л. Робертс, И. Собель и др. Следует отметить, что непрерывный подход имеет существенные ограничения относительно применения в реальных системах, когда изображения содержат импульсный шум, воспринимаемый как локальные максимумы функции и усиливающийся при рассмотрении градиентов полей этих изображений. Для снижения негативного влияния импульсного шума принято использовать методы предварительной обработки изображений, основанные на сглаживающих фильтрах. Отметим, что предобработка с использованием сглаживающих фильтров, устраняя точечные шумы, приводит к размытию контуров объектов интереса что ухудшает качество кластеризации, увеличивает неопределенность при

определении границ объектов что в свою очередь ухудшает качество распознавания. В контексте данной работы указанный недостаток является критическим.

Дискретный подход, активно развивающийся последнее время, связан с представлением изображения в виде дискретного набора данных и последующего интеллектуального анализа. Для анализа изображений, представленных в таком виде, применяются методы кластеризации, статистического анализа, таксономии и др. Такой подход позволяет анализировать данные в процессе обработки, использовать адаптивную пороговую фильтрацию, в результате чего качество обработки зашумлённых изображений значительно возрастает. Метод дискретной рекурсивной кластеризации в отличие от *k-means*, *k-medoids*, *EM-algorithm*, *C-means* не требует изначального задания числа кластеров. Получив на вход матричное представление изображения, выполнив его пороговую фильтрацию и отсечение динамического паттерна фонового изображения осуществляется маркировка каждого пикселя на предмет принадлежности i-му объекту интереса. Вследствие вышесказанного достигается увеличение скорости обработки изображений за счет повышения требований к объему оперативной памяти, что допустимо в рамках выбранных ограничений.

В результате сравнительного анализа проведенного с использованием методики планирования эксперимента и целенаправленного моделирования на множестве вручную отсортированных изображений исследована эффективность пула методов кластеризации: *k-means*, *k-medoids*, *EM-algorithm*, *C-means* и рекурсивной кластеризации. Был выбран и математически обоснован метод рекурсивной кластеризации изображения, как показавший наилучший показатель числа ошибок первого и второго рода в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Таким образом метод рекурсивной кластеризации изображений *in situ*, работающий на базе автоматизированного видеорегистратора и анализатора планктона, по сравнению с конкурирующими методами показал наибольшую эффективность.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-48-920018\18.

Список литературы

1) Marroquin R., Dubois J., Nicolle C. Know Beyond Seeing: Combining Computer Vision with Semantic Reasoning // 2018 IEEE 12th International Conference on Semantic Computing (ICSC). Laguna Hills, CA. 2018. pp. 310–311.

2) Шишкин Ю.Е., Греков А.Н. Концепция интеллектуальной системы автоматизированного экологического мониторинга севастопольской бухты на базе малогабаритных автономных роботов // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 14 (34). С. 63–69. DOI: 10.33075/2220-5861-2018-4-70-74

3) Kocak D.M., Lobo N.V., Widder E.A., Computer vision techniques for quantifying, tracking, and identifying bioluminescent plankton // IEEE Journal of Oceanic Engineering. 1999. vol. 24, no. 1. pp. 81–95.

4) Шишкин Ю.Е., Скатков А.В. Акторная модель мониторинга с использованием мобильных облачных микросервисов // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 14 (34). С. 56–62. DOI: 10.33075/2220-5861-2018-4-56-62

5) Shishkin Y.E. Big Data visualization in decision making // Science in Progress: тез. Всерос. науч.-практ. конф. магистрантов и аспирантов. Новосибирск 20 октября 2016 г. Новосибирск: НГТУ, 2016. С. 203-205. ISBN 978-5-7782-3094-1

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

Шоларь С.А.[1], **Крамарь В.А.**[2]

[1]*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь*

[2]*Севастопольский государственный университет, г. Севастополь*

sa.sholar@mail.ru

Ключевые слова: гравитационные волны, ударные волновые нагрузки, опытовый бассейн.

Для исследования трансформации волн в прибрежной зоне, измерения силы удара при их обрушении в береговой зоне, его фотофиксации и измерения параметров волны перед обрушением был создан комплекс оборудования для измерения ударных волновых нагрузок, образующихся при обрушении поверхностных гравитационных волн на наклонном дне опытового бассейна [1]. Данный комплекс оборудования состоит из специализированного опытового бассейна, волнопродуктора, волнографов, датчиков ударного давления [2], фото-видео аппаратуры, коммутирующего оборудования и оборудования для записи полученных данных.

Для исследования трансформации волн в опытовом бассейне происходит генерация волн пневматическим волнопродуктором, который состоит из воздушного компрессора и раструба с вращающейся заглушкой, направленного на поверхность воды. Период вращения заглушки изменяется в диапазоне от 0.5 до 2 с. За счет регулирования частоты вращения заглушки можно изменять период волны и соответственно ее длину и высоту. Характеристики волны на выходе из волнопродуктора проверяются двумя волнографами, оснащенными дифференциальными датчиками давления MPX2010DP. В случае несоответствия характеристик требуемым параметрам, происходит корректировка управляющего сигнала, подаваемого на волнопродуктор.

На наклонном дне, установленном на противоположной от волнопродуктора стороне бассейна, происходит обрушение волн. Для исследования набегания волн под различными углами атаки предусмотрена возможность поворота наклонного дна в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Измерение силы удара от обрушения волн осуществляется блоком мембранных пъзоэлектрических датчиков [2]. Датчики жестко фиксированы на наклонном дне в зоне обрушения волн. Сигналы от датчиков подаются в блок фильтров, где происходит их усиление и подавление посторонних шумов. Преобразованный в блоке фильтров сигнал подается в аналого-цифровой преобразователь NI-USB 6008. После аналого-цифрового преобразователя сигналы передаются на компьютер, где происходит их обработка и последующая запись. Обрушение волн фиксируется через смотровое окно фото-видеоаппаратурой (с частотой записи 30 кадров/с) подключенной к персональному компьютеру. Все данные, получаемые с измерительной аппаратуры (характеристики волн с волнографов, сила удара волн с датчиков и форма гребня в момент обрушения, записанные с фото-видеоаппаратуры) синхронизированы на компьютере. При обрушении часть волн гаситься о наклонное дно, образуя отраженные волны, а часть - о волногаситель. Для исключения влияния отраженных волн в автоматическом режиме происходит постоянная корректировка сигнала, подаваемого на волнопродуктор. Зона генерации волн и волногашения соединена трубопроводом, на который при необходимости может быть установлен насос для откачки воды из зоны гашения.

Таким образом, данное оборудование позволяет производить синхронную запись всех необходимых для исследования данных, а именно: профиль волн в момент обрушения, силу удара волн и характеристики волн перед обрушением.

Работа выполнена в МГИ РАН в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002 (шифр "Оперативная океанология").

Список литературы

1) Кушнир В.М., Шоларь С.А., Душко В.Р. Экспериментальные исследования динамических нагрузок при разрушении поверхностных волн на наклонном дне // Приборы и техника эксперимента. 2016. № 3. С. 123-129.

2) Датчик для измерения ударного волнового давления на базе пьезоэлектрического элемента / С.А. Шоларь, О.А. Иванова, В.Р. Душко [и др.] // Системы контроля окружающей среды. 2016. Вып. 3. С. 33-37.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА

материалы IV Всероссийской научной конференции

Текстовое электронное издание

Программное обеспечение:
Acrobat Reader, Foxit Reader либо любой другой их аналог

В авторской редакции

Компьютерная верстка
Е.А. Кубрякова

Разработка оригинального макета обложки
К.А. Михайлов
(Санкт-Петербургский государственный университет)

Подписано к использованию 15.04.2019 г.
11,5 Мб

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Морской гидрофизический институт РАН»

299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2, Российская Федерация
http://mhi-ras.ru

© ФГБУН МГИ, 2019